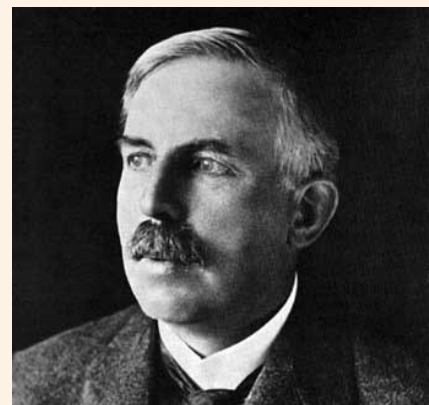
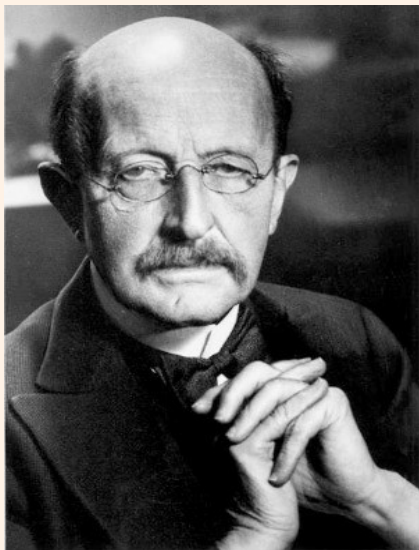
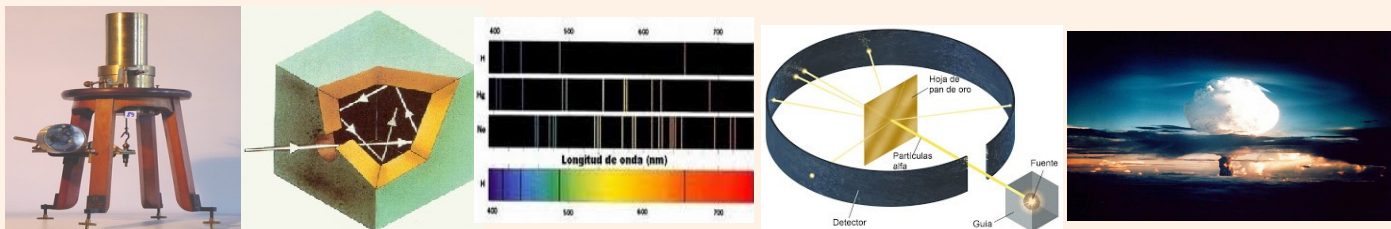


El siglo XX en la Física

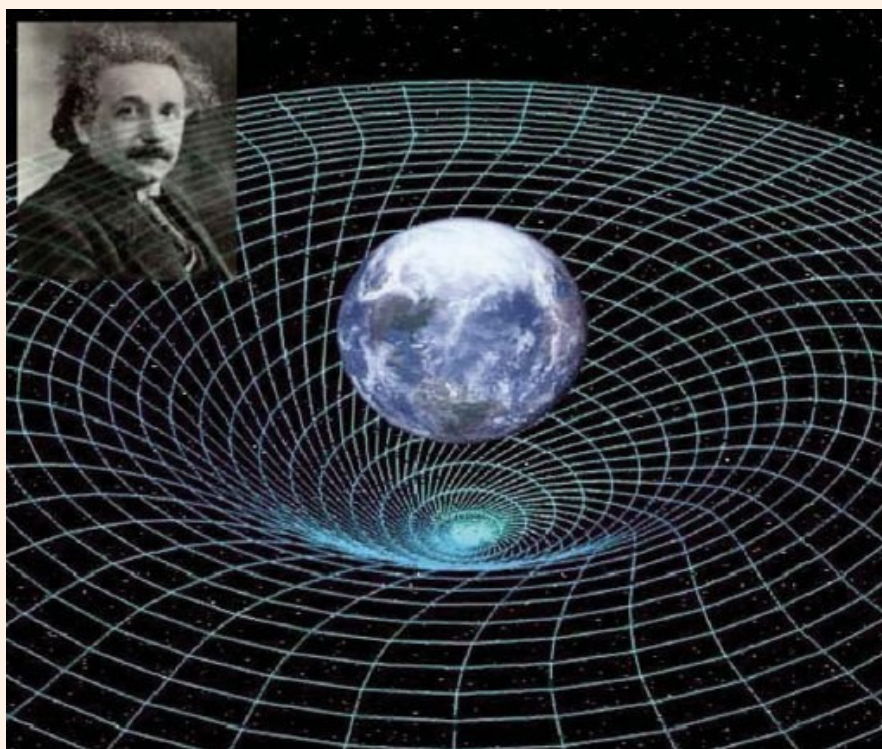


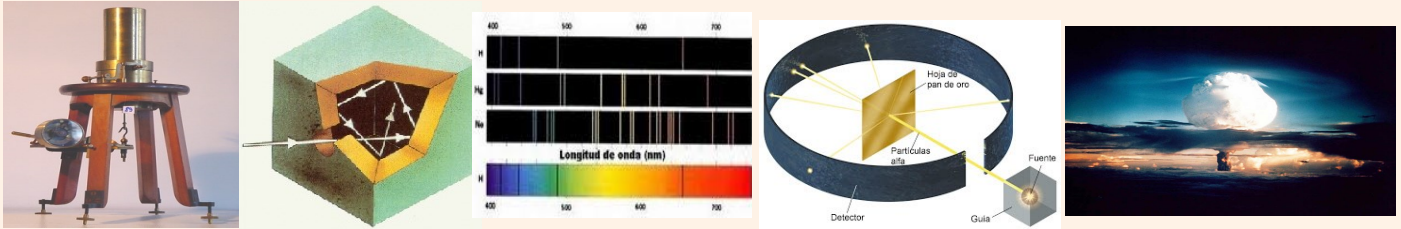
**MATERIAL DIDÁCTICO RECOPIADO Y
ELABORADO POR:
DULCE MARÍA DE ANDRÉS CABRERIZO**



ÍNDICE

Numeración	Epígrafe	Página
1	La crisis de la Física al llegar el siglo XX.	3
2	La obra relativista de Einstein.	8
3	Los primeros modelos atómicos.	11
4	Etapas de la Teoría Cuántica.	14
5	El inicio de la Física Nuclear.	25
6	El Universo en el siglo XX.	29
7	El desarrollo de la Física Experimental.	34
8	En busca de la elementalidad.	42
9	Actividades.	46





1. La crisis de la Física al llegar el siglo XX.

La Física como Ciencia Moderna surge en el siglo XVII dentro de la Revolución Científica gracias a Galileo y Newton, que estudian la naturaleza desde una nueva perspectiva, que busca la existencia de una serie de leyes físicas, que expliquen los fenómenos naturales que son objeto de observación y experimentación. Los siglos siguientes completan este campo de trabajo de forma que, al finalizar el siglo XIX, el desarrollo es tan grande, que la mayoría de los físicos llegan a pensar que se podía llegar, en breve, a completar el campo de conocimientos de la Física.

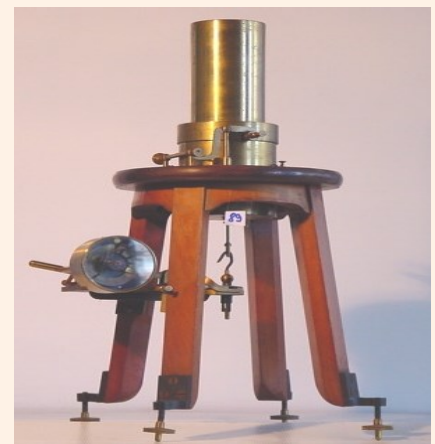
Este período entre los siglos XVII y XIX se encuadra en la Modernidad, que posee el método científico como instrumento de conocimiento y establece las ideas de mecanicismo, continuismo, determinismo e infinitismo y no sólo en Física sino que de ésta se trasladan estos conceptos a otras ramas de la Ciencia tras un largo proceso simplificador. Así, la Teoría Cinética de los gases reduce a términos mecánicos los fenómenos térmicos, mientras que la Óptica se incluye dentro del Electromagnetismo, gracias a Maxwell, que muestra que la teoría que describe los fenómenos eléctricos y magnéticos predice también ondas cuya velocidad es de 300.000 km/s en el vacío y que son identificadas con la luz. Este edificio entra en crisis a comienzos del siglo XX, de forma que el discretismo, el probabilismo y el finitismo inundan el saber y surge la Postmodernidad.

En la Física del siglo XX han tenido lugar dos grandes revoluciones conceptuales: la Revolución Cuántica y la Revolución Relativista. La belleza de los conceptos de las Físicas Cuántica y Relativista y la complejidad de sus teorías no han servido para explicar al mundo del siglo XX con la precisión y exactitud alcanzada en la Modernidad los fenómenos y los hechos que actualmente se conocen o se creen conocer.

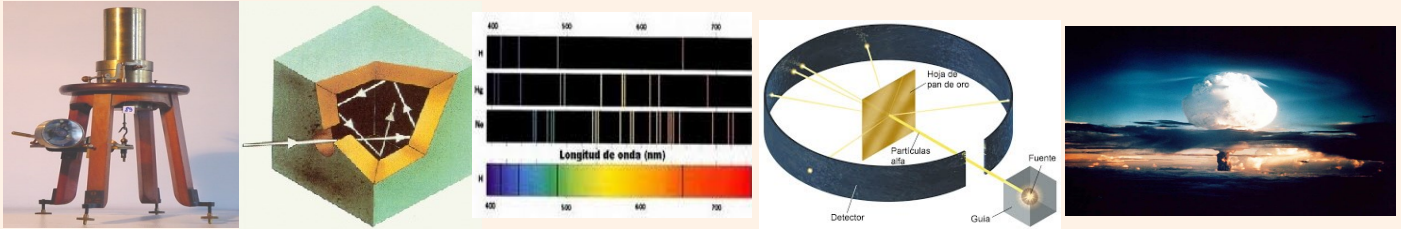
La Revolución Relativista se relaciona con el concepto de simultaneidad y el concepto del éter y la Revolución Cuántica contra la idea de la continuidad de la materia y de la energía. La primera línea de investigación da pie a la teoría de la relatividad y la segunda a la física cuántica. De esta forma se diferencian dos períodos en la historia de la Física: a) La Física Clásica que engloba el edificio iniciado por los padres de la Física: Galileo y Newton, y que se completa en el siglo XIX, gracias a los trabajos de Maxwell. b) La Física Actual o Física del Siglo XX, sustentada en la Teoría de la Relatividad de Einstein y en la Teoría Cuántica, en la que también intervino Einstein y otros científicos como Planck, Bohr o Heisenberg.

Tener en cuenta

A finales del siglo XIX, el desarrollo del Electromagnetismo, o mejor las dificultades que surgen para la interpretación de diferentes fenómenos de dicha disciplina producen un estado extraño en la Física, lo que conduce a una situación de crisis de teoría, pues los hechos no se explican con la teoría admitida y no concuerdan con los resultados de las deducciones matemáticas.



Prototipo de principios del siglo XX de Pierre Curie de un aparato generador piezoeléctrico para crear una corriente medible, que anule la producida por una sustancia radiactiva en una cámara de ionización.



1.1. El problema del éter cósmico y el de la simultaneidad de los sucesos.

Al concluir el siglo XIX, los trabajos de Maxwell en el mundo de la Física suministraron una elegante teoría que enlazaba los fenómenos de la luz, la electricidad y el magnetismo, utilizando el éter cósmico como medio y vehículo a través del cual se propagan dichos fenómenos. Pero a pesar de estos éxitos no se pudo describir las propiedades de este misterioso medio universal en los términos usados para la descripción de medios materiales como los gases, los líquidos o los sólidos.

El hecho de que el fenómeno de la polarización de la luz probaba sin duda alguna de que la luz se trataba de vibraciones transversales y la conclusión generalizada de que las vibraciones transversales únicamente podían existir en materias sólidas, de modo que el éter cósmico luminoso debía ser considerado como una materia sólida, produjo una evidente contradicción al final del siglo XIX y una manifiesta contrariedad conceptual. Lord Kelvin intentó resolver esta aparente contradicción atribuyendo al éter cósmico propiedades plásticas.

El error consistía en querer atribuir propiedades materiales y, por tanto, dependientes de su estructura molecular, al fluido cósmico en vez de propiedades totalmente diferentes de las de los cuerpos materiales. Parece ser que Mendeléiev intuyó algo al atribuir al éter cósmico el valor cero en su sistema periódico de los elementos químicos.

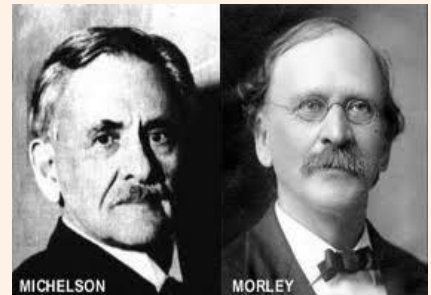
Por otro lado, los alemanes Weber, Kirchoff y Clausius consideraban la electricidad en términos de partículas cargadas, mientras que los británicos Faraday, Kelvin y Maxwell consideraban los fenómenos eléctricos como consecuencia de la tensión en un éter continuo.

El análisis de las propiedades del éter puso en primera línea de investigación las determinaciones de la velocidad de la luz. Así, en 1849, el francés Hippolyte Fizeau tuvo la idea de ver como la velocidad de la luz, c , era influida por el movimiento del medio a través del cual se propaga, e ideó su método de la interferencia de los rayos de luz para la medida de la velocidad de éstos.

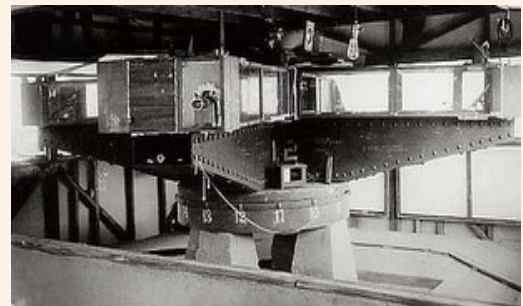
En 1887 los norteamericanos Albert Abraham Michelson (1852-1931) y Edward Williams Morley (1838-1923), siguiendo el mismo principio de Fizeau, en su famoso experimento del interferómetro compararon la velocidad de la luz en distintas direcciones y no pudieron confirmar el desplazamiento de la Tierra respecto al éter (éter cósmico).



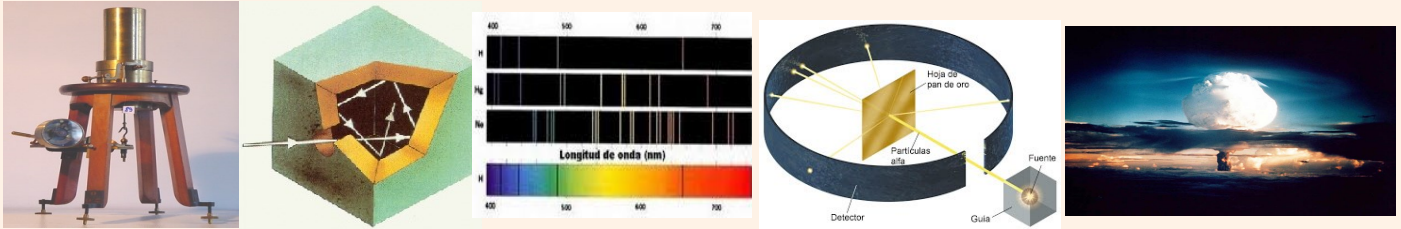
El problema de encontrar una respuesta a la pregunta de cuál es la naturaleza del supuesto éter cósmico fue algo crucial al comienzo del siglo XX.



Michelson y Morley.



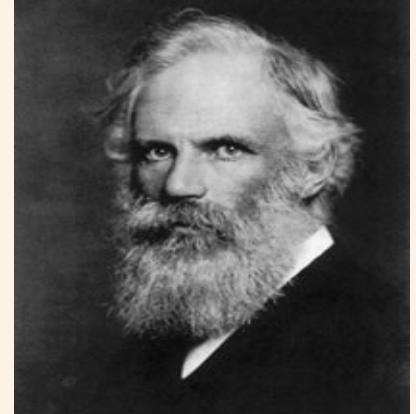
Interferómetro del experimento de Michelson y Morley.



En 1889 el irlandés George Francis Fitzgerald (1851-1901) dio una respuesta revolucionaria al sugerir que todos los objetos que se mueven con velocidad v a través del éter cósmico se contraen en la dirección del movimiento en la cantidad:

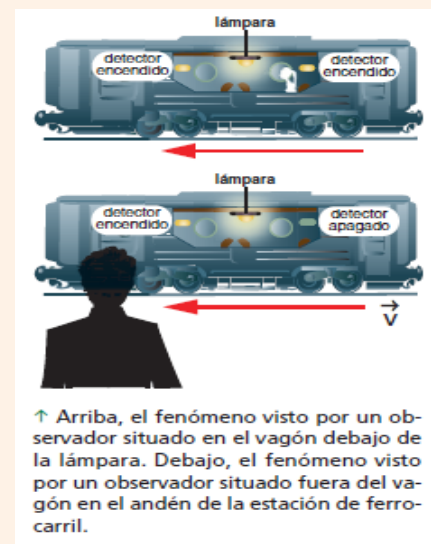
$$\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

Dicha cantidad es precisamente la adecuada para eliminar las desviaciones que aparecían en las franjas de interferencia de los experimentos de Michelson y Morley. Se hicieron numerosos intentos para explicar la hipotética contracción de Fitzgerald mediante fuerzas eléctricas y magnéticas entre los átomos que forman los cuerpos, pero todo fue inútil.



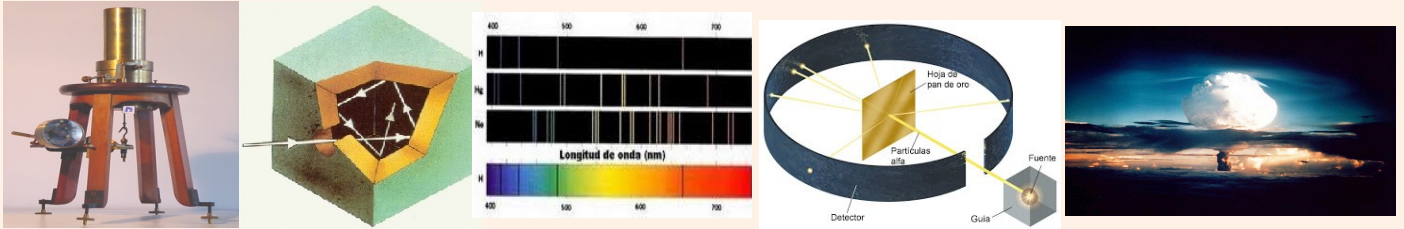
George Francis Fitzgerald.

También el holandés Hendrik Antoon Lorentz se ocupó de los resultados negativos del experimento de Michelson-Morley y llegó a la misma conclusión que Fitzgerald, al parecer de forma independiente pues la publicación de Fitzgerald no era ampliamente conocida. Lorentz, en conexión con su teoría de la electrodinámica que mantiene la existencia de un sistema absoluto de referencia fijo en el éter, dedujo las denominadas relaciones de transformación de Lorentz. En dichas relaciones además de derivar una contracción de la longitud, también aparece una dilatación del tiempo en el factor numérico inverso a la cantidad referida a la contracción de la longitud. Dichas relaciones fueron consideradas por su autor y otros físicos de aquel tiempo como un curioso juego matemático, y fue Einstein quien primero se dio cuenta de que las transformaciones de Lorentz corresponden a la realidad física y obligan, por tanto, a un cambio radical en las viejas ideas del sentido común de Galileo referidas al espacio, el tiempo y el movimiento y la ocurrencia de los sucesos.



↑ Arriba, el fenómeno visto por un observador situado en el vagón debajo de la lámpara. Debajo, el fenómeno visto por un observador situado fuera del vagón en el andén de la estación de ferrocarril.

Un suceso es algo que ocurre en un determinado tiempo y lugar, y dos sucesos son simultáneos si ocurren al mismo tiempo. Pero analicemos el siguiente ejemplo: Supongamos que en un vagón de un tren hay dos detectores de luz, uno a cada extremo del vagón, y una lámpara en el centro. Se enciende la lámpara y se observa los detectores suponiendo que el tren se mueve hacia la izquierda a la velocidad v . Un observador que esté dentro del vagón debajo de la lámpara ve que los dos receptores de luz se encienden de forma simultánea, pero si el observador está en el andén de la estación observa que el receptor de luz de la izquierda se enciende antes que el de la derecha y para él los sucesos no son simultáneos. El ejemplo conduce a afirmar que la simultaneidad es relativa y que el intervalo de tiempo entre dos sucesos depende del sistema de referencia que se adopte, de modo que es igual para dos observadores estacionarios uno con respecto al otro si los sucesos ocurren en el mismo lugar, pero es distinto para dos observadores que estén entre sí en movimiento relativo.



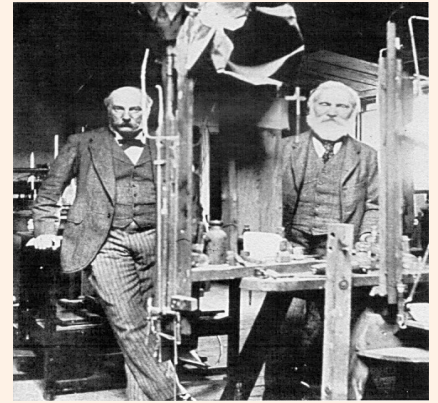
1.2. La insuficiencia de la Física clásica.

En el siglo XIX, la teoría ondulatoria de la Física, que es una teoría de corte continuo, explicó los fenómenos ópticos. Sin embargo, al final de dicho siglo surgen problemas en la explicación de fenómenos tales como la emisión de luz o de radiación por un objeto, el efecto fotoeléctrico y la interpretación de los espectros de los átomos. Ello supuso la ruptura con los planteamientos anteriores y la aparición de lo que se ha denominado la Teoría Cuántica.

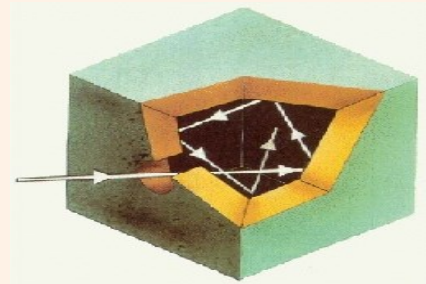
a) Las relaciones energéticas que envuelven la emisión del cuerpo negro fueron estudiadas por vía termodinámica. Así, en 1879 se publicó la ley del austriaco Josef Stefan (1835-1893) y en 1884, el también austriaco Ludwig Boltzmann (1884-1906) estableció que la ley de Stefan es sólo válida para el cuerpo negro y la dedujo teóricamente utilizando un modelo cinético para la radiación del cuerpo negro, por lo que se la suele denominar ley de Stefan-Boltzmann.

Posteriormente, el alemán Wilhelm Wien (1864-1928) descompuso espectralmente la radiación emitida por un cuerpo negro, obteniendo la llamada ley de distribución de Wien en 1893, deduciendo teóricamente que en los procesos de expansión o compresión adiabáticos de la cavidad que contenga la radiación, cambiará la longitud de onda de cualquier componente de la radiación como resultado del efecto Doppler.

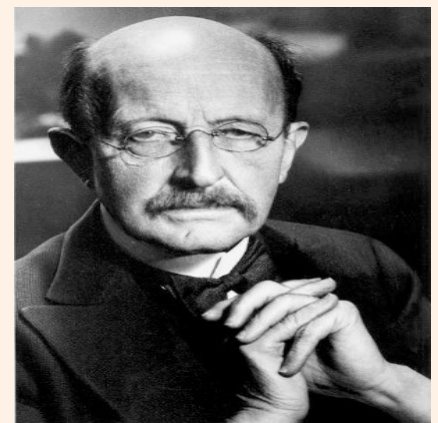
En junio de 1900, Lord Rayleigh (1842-1919) aplica a la radiación cavitaria la idea de que la distribución de la energía respecto a la frecuencia, para una temperatura dada, sigue la misma ley que la distribución de modos de vibración respecto a la frecuencia en una cavidad resonante (variación continua), pero la curva de distribución obtenida se apartaba estrepitosamente para longitudes de onda cortas de los valores experimentales conocidos, lo que se denominó catástrofe del ultravioleta por el físico austriaco Paul Ehrenfest (1880-1933). En diciembre de 1900, el alemán Max Planck (1858-1947) sugiere que la solución al problema se obtiene por una vía heterodoxa al admitir que la energía de la radiación es un múltiplo entero de la cantidad de un valor elemental, llamado cuanto de energía, lo que equivale a afirmar que las ondas electromagnéticas sufren el mismo proceso de cuantización y que la emisión de radiación es discontinua en forma de cuantos, de tal manera que la energía de un cuanto es proporcional a la frecuencia de la radiación.



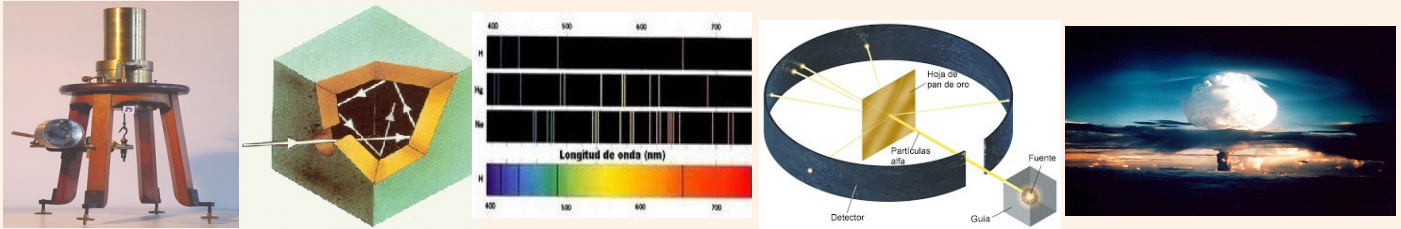
Lord Rayleigh con Lord Kelvin.



Modelo de cavidad que sirvió para explicar el cuerpo negro.



Max Planck.



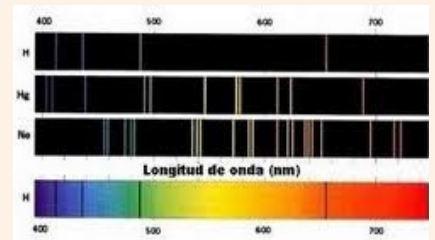
Esta teoría era tan revolucionaria que los físicos de la época no la aceptaron inmediatamente, incluso el mismo Planck no creía en ella completamente, pues sospechaba que podría ser una trampa matemática, sin ninguna relación con algo real.

b) El efecto fotoeléctrico, descubierto en 1887 por el alemán Heinrich Hertz, no encontró en su momento una explicación satisfactoria y hubo que esperar al año 1905, cuando Albert Einstein afirmó que si se admite que la radiación electromagnética en su interacción con los electrones de la materia se comporta en la forma propuesta por Planck, a través de fotones, dicho efecto se puede explicar correctamente.

c) Otro problema que produjo una gran inquietud era la explicación de los espectros atómicos. El espectro de la luz solar es un espectro continuo de los diferentes colores que integran la luz blanca, pero el espectro de emisión de los átomos de un elemento químico es discontinuo y está formado por un conjunto de líneas de colores sobre un fondo oscuro y están situadas a unas longitudes de onda determinadas.

El espectro del átomo de hidrógeno es el más sencillo de todos los elementos químicos. En 1885, el suizo Johann Balmer descubre de forma empírica, tras laboriosos cálculos, que las longitudes de onda, λ de la región del visible del espectro del hidrógeno, responden a la fórmula:

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ donde } n \text{ es un número entero mayor que } 2 \text{ y } R \text{ una constante.}$$

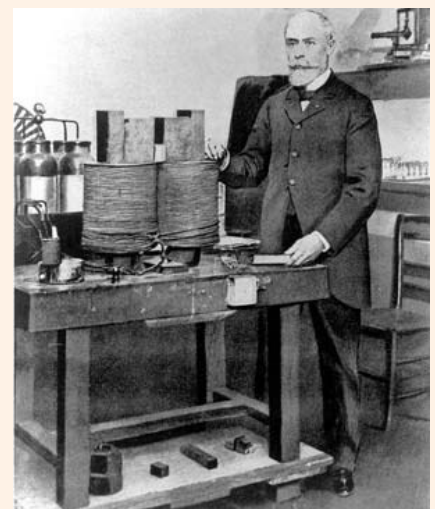


Espectros de líneas de distintos elementos químicos.

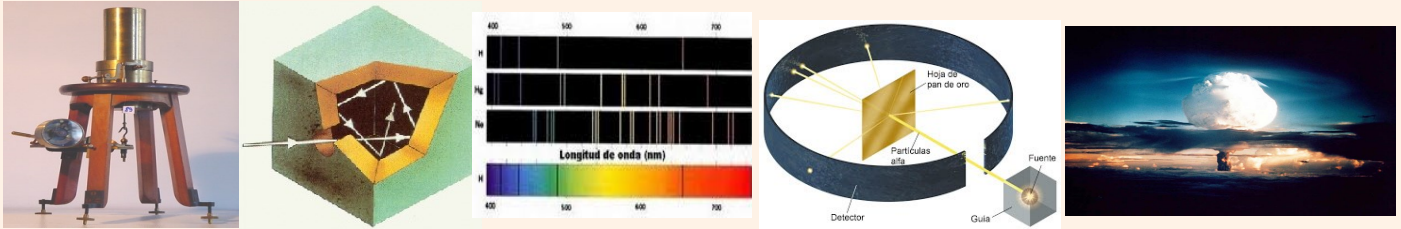
Todos los intentos efectuados para encontrar una explicación de la fórmula de Balmer fracasaron, hasta que en 1913 el danés Niels Bohr interpretó la misma dentro del marco de su modelo atómico.

El desarrollo de la Teoría Cuántica está ligado al conocimiento del átomo y ello no hubiera podido tener lugar sin el descubrimiento anterior del fenómeno de la radiactividad, realizado en 1896 por el francés Henri Becquerel en los compuestos químicos de uranio.

La radiactividad es una fuente de radiación muy energética, mucho mayor que la de las reacciones químicas exotérmicas. Con ella, el británico Ernest Rutherford pudo demostrar en 1911 que el átomo no es una partícula indiferenciada sino un complejo formado por un núcleo central que contiene casi toda la masa y un conjunto de electrones que rodean al núcleo, y a partir de aquí se produce un gran desarrollo de la Física Atómica y de la Física Nuclear a través de la Física Cuántica, con las aportaciones de eminentes físicos como el citado Niels Bohr, los alemanes Arnold Sommerfeld, Werner Heisenberg, Max Born, el austriaco Erwin Schrödinger o el francés Louis de Broglie, que son, entre otros, los padres de la Teoría Cuántica.



Becquerel en su laboratorio.



2. La obra relativista de Einstein.

El genial alemán nacionalizado norteamericano Albert Einstein (1879-1955) publica en 1905 en la revista alemana “Annalen der Physik” tres trabajos que conmueven al mundo científico: a) El primero contiene la teoría del movimiento browniano. b) El segundo explica el efecto fotoeléctrico. -c) El tercero, publicado bajo el título más bien insulso de: “Sobre la Electrodinámica de los Cuerpos en Movimiento”, está dedicado al análisis de las paradojas de las mediciones de la velocidad de la luz, y es el primer trabajo sobre la Teoría de la Relatividad Especial o Restringida.

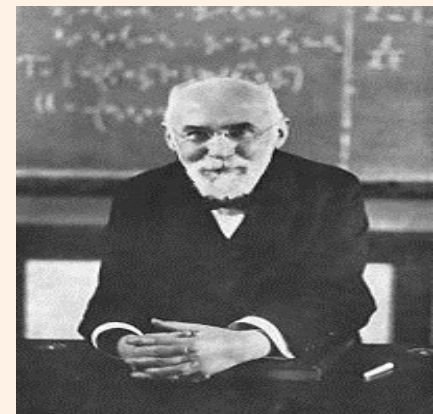
Einstein rompe con la ortodoxia física de entonces al descartar la existencia de los conceptos de espacio y tiempo absolutos y, por tanto, la de los sistemas absolutos de referencia de espacio y tiempo. En sus dos postulados de la Teoría de la Relatividad Especial niega la ausencia de un marco universal de referencia y afirma que la velocidad de la luz es una invariante física que tiene el mismo valor para todos los observadores.

La consecuencia de todo ello es la abolición de la teoría del éter cósmico, por resultar algo superfluo según el razonamiento de Einstein, y, además, sus dos postulados bastan para conseguir una teoría simple y coherente de la Electrodinámica de los cuerpos móviles basada en la teoría de Maxwell de los cuerpos estacionarios, pues en caso contrario se llegaría a una asimetría que sería incoherente con los fenómenos estudiados.

En el siguiente paso resucita las ecuaciones de transformación de Lorentz, que son consistentes con los postulados de Einstein y deduce dos claras consecuencias de la Teoría de la Relatividad de Einstein, que son la contracción de la longitud y la dilatación del tiempo, que se pueden derivar de forma matemática de las ecuaciones de Lorentz. Otra consecuencia es que la masa ponderable o tangible de una partícula, cargada o no, crece con la velocidad de acuerdo con su famosa expresión: $E = m \cdot c^2$ que constituye otro aspecto básico de la Teoría de la Relatividad Especial, al quedar perfectamente establecido que ningún objeto material puede moverse más rápidamente que la luz, de forma que Einstein reformula el principio de conservación de la energía, al fundir en uno sólo los conceptos de masa y energía y tratar, por tanto, a la masa y la energía como dos aspectos de una misma realidad física.



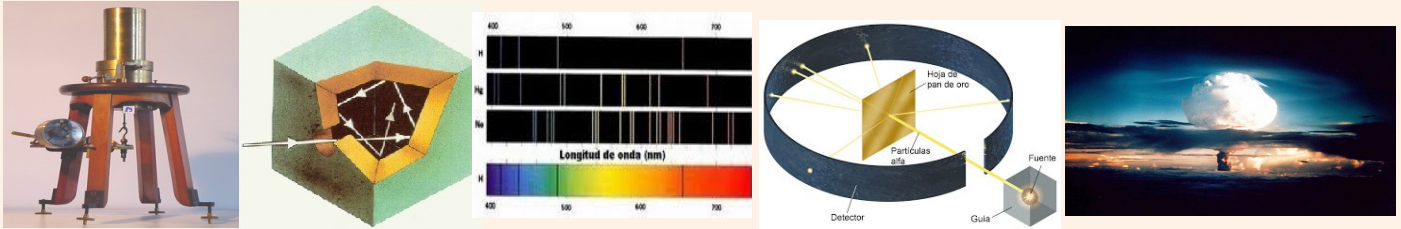
Einstein de joven.



Hendrik Antoon Lorentz.

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = \frac{t - \frac{v \cdot x}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Las ecuaciones de transformación de Lorentz permiten traducir la información obtenida en un sistema inercial de referencia en información válida para otro sistema inercial de referencia.



La equivalencia masa energía permite dar una explicación coherente del campo electromagnético, rechazando la idea de que el éter cósmico está distribuido uniformemente a través del espacio, y al considerar ahora que los campos eléctricos y magnéticos son únicamente los lugares del espacio donde actúan las fuerzas eléctricas y magnéticas, por lo que abandona la idea de campo como transportador de fuerza y la reemplaza por la idea de campo como fuerza materializada.



Minkowski y Riemann.

Después de la publicación de Einstein, el matemático alemán Hermann Minkowski (1864-1909) llegó a la conclusión en 1907 de que el tiempo puede ser considerado, en cierto modo, como la cuarta coordenada complementaria de las tres coordenadas espaciales, formulando que las coordenadas de un punto en el espacio viene dado por cuatro valores, lo que constituye el denominado espacio tetradimensional.

En 1916 Einstein desarrolla la forma básica de una teoría más amplia que se conoce con el nombre de Teoría General de la Relatividad. Dicha teoría es la generalización de su anterior teoría al caso del movimiento no uniforme y en ella hace equivalente la acción de un movimiento acelerado y un cuerpo en un campo gravitatorio. Para ello y a fin de conectar los campos gravitatorios con las aceleraciones relativas, Einstein sugirió que ello se podría explicar geométricamente si se admitiese que el espacio-tiempo tetradimensional de Minkowski fuese curvo y se abandonase la geometría tradicional de Euclides.

Einstein recogió en cuatro postulados su Teoría General de la Relatividad y escogió como geometría no euclidiana la del matemático alemán Georg Friedrich Riemann (1826-1866).

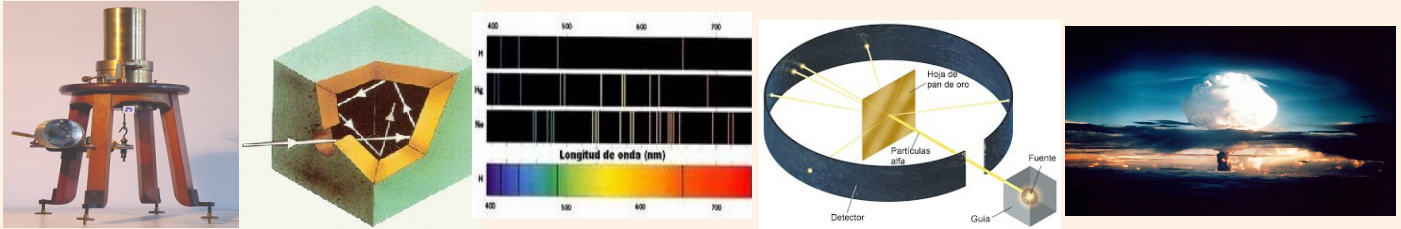
De acuerdo con la Teoría General de la Relatividad, el empleo de un sistema de referencia en movimiento uniformemente acelerado es equivalente a la creación de un campo gravitatorio en el cual se puede considerar el sistema en reposo, y por ello, según Einstein, es imposible resolver si en una región del espacio existe un estado de movimiento acelerado sin campo gravitatorio o si, por el contrario, el sistema de referencia se encuentra en reposo en un campo gravitatorio, lo cual es conocido como el principio de equivalencia. De esta forma la gravitación y la inercia parecen no ser dos propiedades diferentes de la materia, sino sólo dos aspectos distintos de una característica común y universal de toda la materia.

Qué es un sistema inercial de referencia

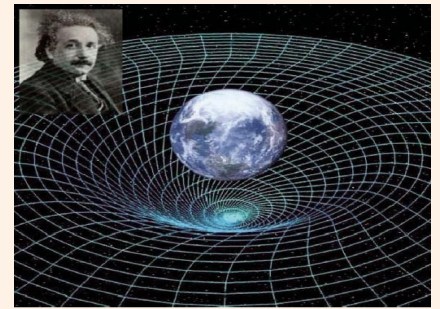
Un sistema inercial es aquel en el que un objeto no experimenta ninguna aceleración cuando no hay ninguna fuerza actuando sobre él (consecuencia de la primera ley de Newton de la Dinámica).

Cualquier sistema que se mueve con velocidad constante con respecto a un sistema inercial es también un sistema inercial. Por ello las leyes que predicen los resultados de un experimento realizado en un vehículo que se esté moviendo con velocidad uniforme son idénticas para el conductor del vehículo y para un peatón que esté parado al borde de la carretera. El enunciado formal de este hecho se conoce como el principio de relatividad newtoniana: Las leyes de la Mecánica son las mismas en todos los sistemas de referencia inerciales.

El desarrollo completo de estas ideas conduce a una teoría de la gravitación según la cual el campo gravitatorio de un cuerpo no es más que la consecuencia de la modificación que la presencia de éste produce en las propiedades del espacio.



La obra de toda la vida de Einstein se puede decir que resultó ser la geometrización de una gran parte de la Física, interpretando la fuerza de la gravedad como debida a la curvatura del mundo tetradimensional. No obstante, las fuerzas eléctricas y magnéticas quedaban fuera de esta conquista geométrica, por lo que decidió dedicar sus casi cuarenta últimos años de su vida al estudio de la hipotética propiedad geométrica del espacio tetradimensional capaz de explicar las interacciones electromagnéticas dentro de una Teoría del Campo Unificado, que reuniese los campos gravitatorios y electromagnéticos sobre una sencilla base geométrica.



Espacio curvo de Einstein.

No lo consiguió, pues si se daba al campo electromagnético una interpretación puramente geométrica también había que interpretar dentro de dicha teoría los campos de las partículas elementales como los mesones o los hiperiones, lo cual como es evidente ha abierto un amplio campo de investigación no cerrado aún en el inicio del siglo XXI.

Para finalizar, la obra relativista de Einstein no es antagónica en los aspectos básicos de la teoría de Newton imperante en los siglos anteriores. Sólo es parcialmente antagónica y en concreto la teoría de la relatividad:

- a) Es una teoría determinista y por consiguiente congruente con la Física de la Modernidad.
- b) Es una teoría del continuo y por consiguiente también congruente con los principios básicos de la Física de la Modernidad.
- c) No es formalmente una teoría de lo infinito, pues en ella la velocidad de la luz es finita y el universo finito aunque ilimitado.
- d) El espacio es no euclídeo y tetradimensional.

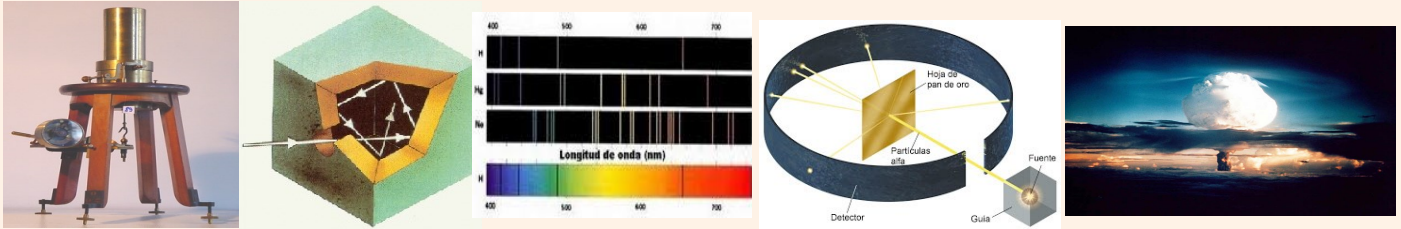
No obstante como éxitos en el campo filosófico-científico cabe destacar que la teoría de la relatividad:

- a) Detecta algo revolucionariamente nuevo.
- b) Capta el cambio profundo que se produce en el Mundo a principio del siglo XX y Einstein lo sitúa en la Física, aunque no lo interpreta adecuadamente.

En el contexto de Macrofísica y Microfísica se entiende bien los enfrentamientos entre Einstein y Heisenberg.

Einstein nunca pudo creer que el universo estuviese abandonado en manos del azar, siendo famosas sus frases relativas a Dios y el juego de los dados o a la que Dios puede ser perspicaz pero no malicioso. Einstein no renunció a las ideas del continuismo y la existencia de la causalidad en su Teoría de la Relatividad, por ello al ser la Teoría Cuántica una teoría del discontinuismo y de renuncia del determinismo y del principio de la causalidad, es evidente que surgiese la polémica entre los dos representantes de ambas teorías.

La Teoría de la Relatividad se refiere a los fenómenos del Cosmos, no a los fenómenos de la materia, por ello dicha teoría no es una tendencia general de la Física del siglo XX, convirtiéndose esta área del conocimiento en plural y múltiple y cada una de sus parcelas relativa al estudio de un determinado número de fenómenos. En este contexto se entiende muy bien la diferencia entre las dos teorías básicas de la Física del siglo XX, la de la Relatividad referida al mundo de la Macrofísica y la Cuántica referida a la Microfísica.



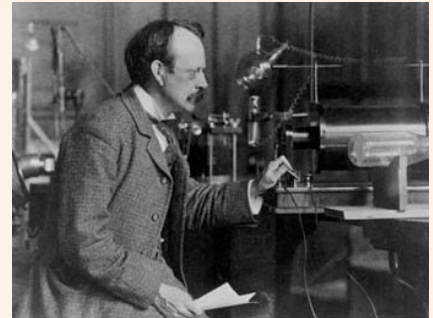
3. Los primeros modelos atómicos.

El conocimiento del átomo está ligado al desarrollo de las investigaciones en los tubos de descarga y al descubrimiento de la radiactividad, lo que conduce a la sustitución del átomo como partícula elemental más pequeña a la consideración del átomo como un sistema material formado por partículas subatómicas.

En 1857 el alemán Heinrich Geissler (1814-1879) idea su tubo de descarga o tubo de rayos catódicos y evidencia de un nuevo fenómeno: la electricidad libre sin soporte material y en 1894 el inglés Joseph John Thomson (1856-1940) mide la velocidad del flujo catódico. En 1897 J.J. Thomson mide el valor del cociente carga/masa y en 1898, después de contemplar al electrón como el componente universal de la materia, lanza su hipótesis de que el átomo está formado por electrones con carga negativa distribuidos en una esfera de carga positiva, en cantidad suficiente para neutralizar la carga eléctrica. Este modelo atómico fue el primero después de que John Dalton publicase en 1808 su obra "Nuevo sistema de la filosofía química" en la que admite que los elementos químicos están formados por una gran variedad de átomos.

En 1903 el alemán Philipp Lenard (1862-1947), después de estudiar el efecto fotoeléctrico y tener en cuenta sus experimentos, iniciados en 1895, sobre la transmisión de los rayos catódicos a través de láminas delgadas, sugiere su modelo atómico que incorpora la idea de la porosidad del átomo y el concepto de que su masa no está uniformemente distribuida dentro del átomo. Lenard es el primero en suponer que el átomo está vacío en su mayor parte, suposición que consolida unos años más tarde Rutherford.

En 1904 Thomson modificó su modelo de 1898, al suponer que los electrones se mueven en órbitas circulares según un esquema algo parecido al sistema planetario. El problema era demostrar la estabilidad del sistema y Thomson consideró que el sistema sería estable si se suponía que los electrones estaban dispuestos en anillos con dos electrones en el más interno, hasta once electrones en un segundo anillo, y así sucesivamente. El modelo explicaba la presencia de los fenómenos de las corrientes eléctricas, la ionización, la fotoelectricidad, la neutralidad del átomo ordinario y la difusión de rayos X, pero solamente de forma cualitativa, y se mostraba totalmente desafortunado en cualquier intento de explicación de los espectros atómicos de emisión de líneas. Hay que esperar a 1911 para que Rutherford mediante sus experimentos de dispersión de partículas alfa realice nuevas contribuciones en el estudio del átomo, pero para ello hay que introducirse antes en el campo de la radiactividad.

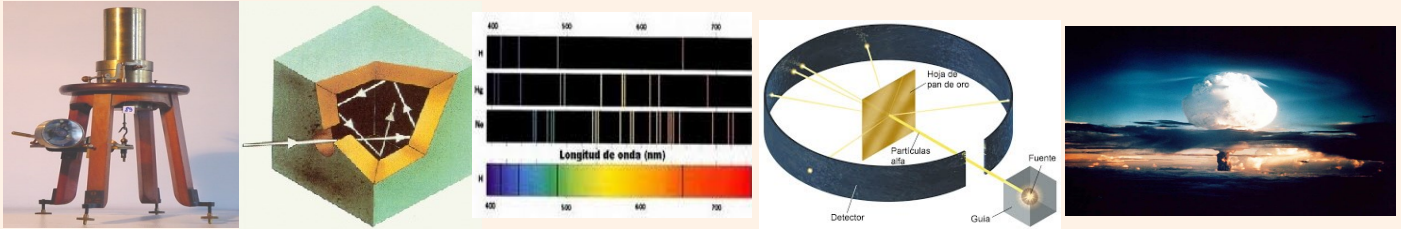


J. J. Thomson.

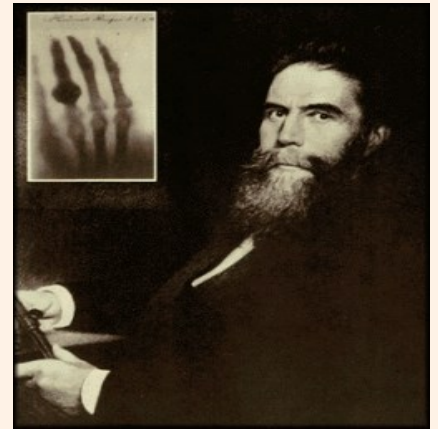
Los **rayos catódicos** son corrientes de electrones observados en tubos de vacío, es decir los tubos de cristal que se equipan con dos electrodos, un cátodo (electrodo negativo) y un ánodo (electrodo positivo).



Philipp Lenard.



Llegado a este punto hay que citar el descubrimiento de los rayos X por el alemán Wilhelm Konrad Roentgen (1845-1923) en el otoño de 1895, mientras repetía algunas experiencias de Lenard, lo que causó sensación y pronto se vio sus grandes posibilidades en el campo de la medicina. Unos meses después del descubrimiento de Roentgen, el francés Henri Becquerel (1852-1908), ya en 1896, revela en París la existencia de rayos naturales emitidos por sales de uranio y se abre así un nuevo campo de estudio, el del fenómeno de la radiactividad. Durante los años siguientes un gran número de químicos y físicos estudian la radiactividad, entre los que destacan Marie Sklodowska Curie (1867-1934), nacida en Polonia y esposa del físico francés Pierre Curie (1859-1906).



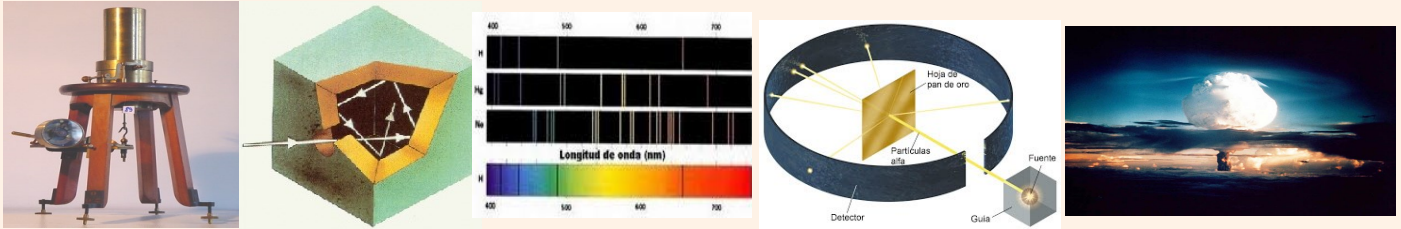
Primera radiografía de Roentgen de la mano de su esposa.

En 1898, Marie Curie demuestra que la radiactividad es proporcional a la cantidad de uranio existente en la muestra analizada e identifica la fuente de la radiación con los átomos de dicho elemento químico. En dicho mismo año de 1898, los esposos Curie descubren los elementos químicos polonio y radio, y para ello utilizan el descubrimiento de 1880 de Pierre Curie de la piezoelectricidad para la medida de la radiactividad. Las detalladas investigaciones realizadas por los Curie e independientemente por Becquerel y Paul Ulrich Villard (1860-1934), también en París, y por J. J. Thomson en el Cavendish Laboratory de Cambridge en torno a la naturaleza de los rayos emitidos por las sustancias radiactivas, revelan la existencia de tres tipos distintos de radiactividad. Antes de que pueda comprenderse su naturaleza exacta, son llamados rayos alfa, beta y gamma. En 1900, Becquerel muestra que los rayos beta son electrones rápidos y en este mismo año es cuando Villard descubre la existencia de los rayos gamma. Respecto de los rayos alfa, el primer método utilizado para su medición se basaba en la propiedad que poseían de ionizar fuertemente el aire. El aparato de Marie Curie para medir la radiactividad lo que medía era realmente la radiactividad alfa.

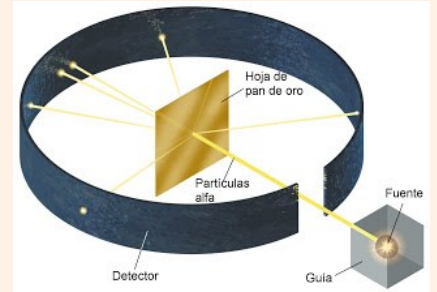


Marie Curie es quien da el nombre de radiactividad al fenómeno descubierto por Bec-

En 1904 el físico británico Ernest Rutherford, nacido en Nueva Zelanda, formula la radiactividad sustancialmente como la conocemos hoy en día. Encuentra que la ley del decaimiento radiactivo se cumple en todos los casos e introduce el concepto de vida media. Anteriormente, en 1903, Rutherford sugiere que las partículas alfa son iones de helio moviéndose rápidamente y en 1909 encuentra la evidencia experimental de que las partículas alfa son átomos de helio cargados eléctricamente. A partir de 1906, Rutherford, mientras medía la relación carga/masa para las partículas alfa, inicia sus experimentos de dispersión de las partículas alfa, lo que le conduce en 1911 a elaborar su modelo atómico basado en un núcleo diminuto con carga positiva y con la mayor parte de la masa del átomo, y un espacio exterior en donde se mueven los electrones en forma orbital.



Este modelo permite explicar la dispersión de las partículas alfa en grandes y pequeños ángulos, pero: ¿cuál es la naturaleza de la carga eléctrica del núcleo central? La investigación llevada a cabo por el inglés Henry Moseley (1887-1915) sobre los espectros de rayos X en 1913 proporciona una indicación del valor numérico de la carga nuclear al demostrar que la dispersión de rayos X por átomos de diferentes elementos químicos depende de la carga del núcleo del átomo y halla que la carga del núcleo de los sucesivos elementos químicos aumenta cada vez en una unidad de carga positiva al ir avanzando en la tabla periódica, concluyendo que el lugar que un átomo de un elemento químico ocupa en la tabla periódica está determinado por la carga positiva de su núcleo.



Experimento de dispersión de partículas alfa de Rutherford.

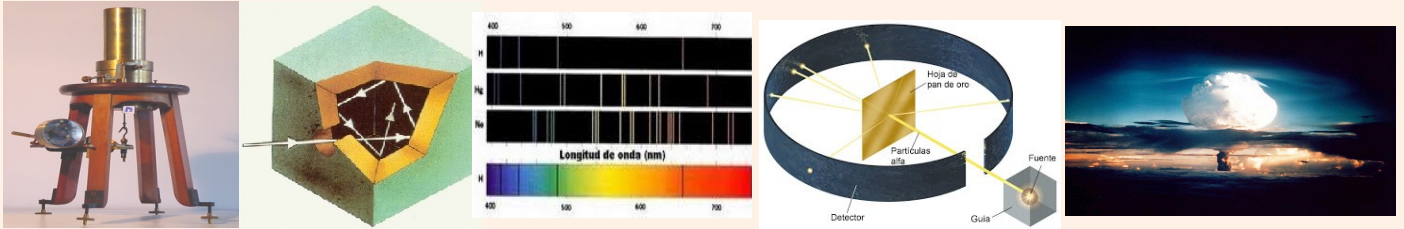
Pero ¿qué ocurre con la masa? Mientras la carga aumenta en una unidad, la masa por término medio crece en dos unidades. Se pensó que el núcleo contenía electrones además de cargas positivas, de forma que la combinación electrón-partícula positiva suministraba al núcleo una masa adicional sin aumento de la carga. Al llegar el año 1914 se llega fácilmente a la conclusión de que las partículas de carga positiva más simples deben ser aquellas que se obtienen a partir del hidrógeno y reciben el nombre de protón, del griego protos que significa primero.



Henry Moseley en su laboratorio.

En 1919 el inglés Francis William Aston (1877-1945) confirma la teoría del inglés Frederick Soddy (1877-1956), entrevista cinco años antes, sobre los isótopos y de esta forma Aston pudo demostrar que la mayor parte de los elementos químicos son mezclas de isótopos.

También en 1919, Rutherford publica el resultado de su experimento sobre la desintegración del nitrógeno por bombardeo con partículas alfa, que constituye la primera reacción nuclear artificial. En 1920, al hipotético par protón-electrón le comienza a denominar neutrón y aunque se hacen numerosos experimentos encaminados a detectar la existencia de dicha partícula, la situación permanece estancada hasta 1930 cuando el alemán Walter Bothe (1891-1957) puntualiza que el berilio expuesto al bombardeo con partículas alfa emite extrañas radiaciones, sin embargo, no interpreta adecuadamente el significado de sus resultados, pues supuso que se trataba de radiaciones gamma. En 1931, el matrimonio Frédéric Joliot (1900-1958) e Irène Joliot Curie (1897-1956) demuestran que esta radiación puede expulsar protones de la cera de parafina (muy rica en hidrógeno) con velocidades enormes. ¿Qué tipo de radiación era ésta, capaz de impartir tales velocidades a unas partículas tan pesadas como el protón? En 1932, el inglés James Chadwick (1891-1970) encuentra la respuesta al señalar que debían ser neutrones. Con el descubrimiento del neutrón, es el físico alemán Werner Heisenberg el que puntualiza que desde el punto de vista teórico un núcleo que consistiera en protones y neutrones es mucho más satisfactorio que un modelo nuclear del átomo formado por protones y electrones.



4. Etapas de la Teoría Cuántica.

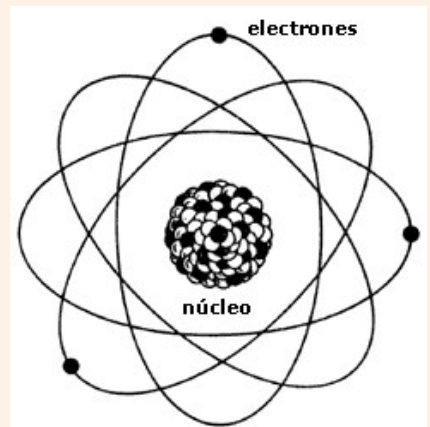
El campo en el que la Teoría Cuántica encuentra sus aplicaciones más importantes es el de la investigación de la estructura del átomo. A finales del siglo XIX las investigaciones llevadas a cabo en tubos de descarga y la radiactividad natural demuestran que átomos y moléculas están formados por partículas cargadas.

En 1911, Ernest Rutherford (1871-1937) formula su modelo atómico planetario con los electrones girando en órbitas circulares en torno a un núcleo cargado positivamente y con la mayor parte de la masa del átomo. Según la teoría clásica, este modelo tiene un defecto inherente, pues un electrón acelerado irradia energía en forma de ondas electromagnéticas por lo que su trayectoria debería ser en espiral y no circular, por lo que acabaría colapsando con el núcleo.



Ernest Rutherford.

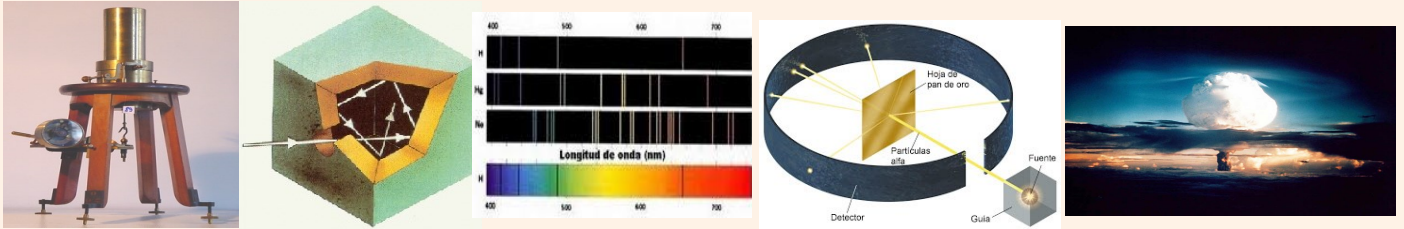
El danés Niels Bohr (1885-1962) durante su estancia en Cambridge, donde trabajó con Rutherford, señala en 1913 que el modelo de Rutherford puede salvarse mediante la nueva teoría cuántica de Planck, aplicando el concepto de la cuantización de la energía al átomo de hidrógeno y suponiendo la existencia de ciertas órbitas estables caracterizadas por determinados niveles de energía en las que pueden moverse el electrón sin pérdida de energía, emitiéndose radiación tan solo cuando el electrón salta de una órbita a otra de radio inferior. El gran éxito del modelo fue la explicación cuantitativa del espectro del átomo de hidrógeno, pero el modelo de Bohr no es totalmente satisfactorio, así, al tratar de aplicarlo a átomos con más de un electrón surgen graves dificultades. Además, si el átomo se coloca en un campo magnético las líneas espectrales sufren un desdoblamiento.



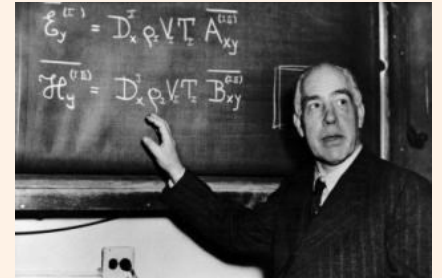
Átomo con su núcleo y electrones girando en órbitas alrededor del mismo.

En Munich, el alemán Arnold Sommerfeld (1868-1951) indica que más incorrecto, el modelo de Bohr es incompleto y en 1916 modifica el modelo de Bohr en el sentido de considerar que los electrones se mueven alrededor del núcleo, en órbitas circulares o elípticas. Para ello introduce de forma general y sistemática nuevas cuantizaciones a partir de las ecuaciones de movimiento de una partícula mediante el uso de las llamadas integrales de acción. También considera que el electrón es una corriente eléctrica minúscula y que a partir del segundo nivel energético electrónico existen dos o más subniveles en el mismo nivel.

La consecuencia de todo ello es que el modelo atómico de Sommerfeld pasa a ser una generalización del modelo atómico de Bohr y el cuerpo doctrinal que elabora Sommerfeld se ha llamado Teoría Cuántica Antigua por las grandes diferencias que presenta con la teoría que aparece en la década siguiente.



En 1916 Niels Bohr formula su principio de correspondencia, que es revisado y corregido por el austriaco, nacionalizado holandés, Paul Ehrenfest (1880-1933) en 1927; en dicho principio se afirma que en todos los problemas de la Física Cuántica se debe alcanzar en el límite los mismos resultados que la Física Clásica.



Niels Bohr.

En 1925 el austriaco-norteamericano, Wolfgang Pauli (1900-1958) formula su principio de exclusión. Sus profesores, Bohr y Sommerfeld, habían estudiado los niveles energéticos de los electrones del átomo y Pauli con su principio explica las restricciones que limitan y definen las posibles estructuras electrónicas del átomo. El principio de exclusión necesita de un cuarto número cuántico para describir completamente los electrones de cualquier átomo y éste fue introducido en 1925 por los físicos de origen holandés y nacionalizados norteamericanos George Uhlenbeck (1900-1988) y Samuel Goudsmit (1902-1978) con el nombre de espín.



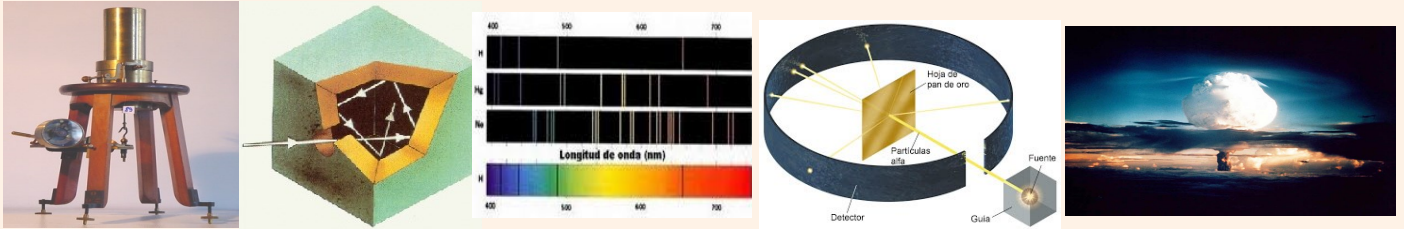
Wolfgang Pauli.

También en 1925 el alemán Werner Heisenberg (1901-1976) sugiere que todos los modelos atómicos mecánicos del tipo de Bohr deben abandonarse y adopta un enfoque en el que se insertan en ecuaciones matemáticas las magnitudes directamente medibles como las frecuencias y las intensidades de las líneas espectrales., y Heisenberg construye lo que se llama Mecánica de Matrices, en la que se acepta el principio de correspondencia de Bohr para realizar la unión entre el mundo microscópico y el fenomenológico. Heisenberg con su planteamiento explica el efecto Zeeman, descubierto en 1896, el cual planteaba dificultades a la teoría de Bohr.

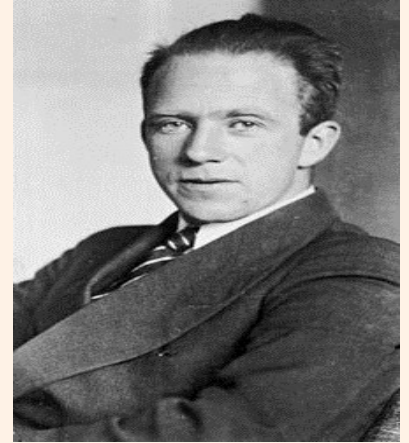
En 1923, el francés Louis De Broglie (1892-1987) enuncia su principio de la dualidad onda-corpúsculo y extiende la fórmula obtenida por Einstein al explicar el efecto fotoeléctrico a todos los sistemas materiales. En dicho principio queda claro que las ondas asociadas a los fotones son de naturaleza electromagnética, pero para las partículas materiales se admite que se trata de un modelo de paquete de ondas pero sin especificar su naturaleza. En 1927, los norteamericanos Clinton Davisson (1881-1958) y Lester Germer (1896-1971) realizan la confirmación experimental de la idea de De Broglie al difractar electrones. En 1926, el austriaco Erwin Schrödinger (1887-1961) parte del principio de De Broglie y enuncia su ecuación de onda que rige el comportamiento de las partículas materiales y permite describir no solo el comportamiento de un electrón, sino sobre todo reconstruir rigurosamente el espectro de cada átomo. También en 1926, el alemán, nacionalizado británico, Max Born (1882-1970) partiendo de la ecuación de Schrödinger, realiza la interpretación probabilística del electrón-onda.



Louis De Broglie.



Es el mismo Schrödinger quien demuestra en 1926 que, en realidad, la Mecánica de Matrices y su Mecánica Ondulatoria son equivalentes, pudiéndose pasar de una a otra mediante la llamada teoría de transformación, y en ese mismo año el norteamericano Carl Eckart (1902-1973) se da cuenta de que la formulación de la matriz y la formulación de onda de la Mecánica Cuántica son equivalentes, pero su ponencia es publicada en las Actas de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos el 31 de mayo de 1926, mientras que la comunicación de Schrödinger sobre la citada equivalencia es del 18 de marzo de 1926. Eckart también trabajó sobre el comportamiento mecánico-cuántico de los osciladores simples de la ecuación de Schrödinger y el operador de cálculo relacionado con la formulación de la matriz de la Mecánica Cuántica.



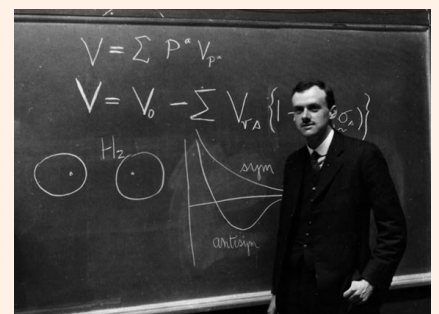
Werner Heisenberg.

En 1927 Heisenberg enuncia su principio de incertidumbre o indeterminación. Este último es un término más preciso, pues la imprecisión se debe más a la naturaleza misma de las partículas que a la imperfección del método de medición, por eso el filósofo y físico argentino Mario Bunge (nacido en 1919) propone en 1967 el término de cuantones en vez de partículas, pues la palabra partícula tiene para el público en general el mismo sentido que corpúsculo o punto material.

De 1927 es el principio de complementariedad de Niels Bohr, pues al estudiar el trabajo que condujo al principio de la dualidad onda-corpúsculo, afirma que es imposible reunir en una imagen única los resultados de los dos tipos de experimentos, que deben considerarse como complementarios en el sentido de que sólo la totalidad de los resultados supone la información completa sobre el sistema estudiado. En 1928, el inglés Paul Dirac (1902-1984) deduce una Mecánica Cuántica Relativista que incluye al espín del electrón, que no aparecía de forma explícita en la formulación de Schrödinger.

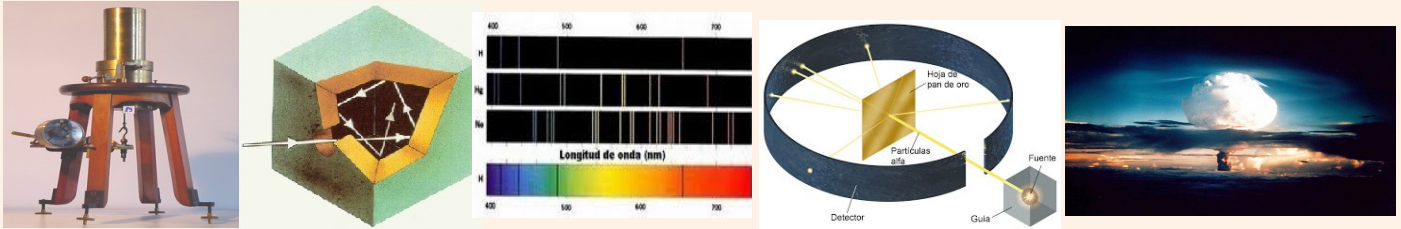
De esta forma, al terminar el curso académico 1927-1928, el edificio de la Física Cuántica está finalizado en lo esencial.

A partir de entonces se aplica la Mecánica Cuántica a los campos en vez de a partículas y el resultado es la Teoría Cuántica de Campos, cuyos fundamentos son desarrollados por Dirac y Pauli y culmina con la formulación de la Teoría Cuántica del Campo Electromagnético o Electrodinámica Cuántica por los norteamericanos Richard Feynman (1918-1988) y Julian Schwinger (1918-1994) y el japonés Sin-Itiro Tomonaga (1906-1979) durante la década de



Paul Dirac.

1940 y es una teoría cuántica de electrones, positrones y campo electromagnético que sirve de modelo para posteriores teorías de campo cuántico, como la teoría de la Cromodinámica Cuántica, formulada en 1975 por los norteamericanos Hugh David Politzer (nacido en 1949), David Jonathan Gross (nacido en 1941) y Frank Wilczek (nacido en 1951) y las teorías de las cuerdas y de las supercuerdas desarrolladas en el último cuarto del siglo XX.



4.1. Aspectos históricos del desarrollo de la Teoría Cuántica.

Al principio del siglo XX la Teoría Cuántica era en sí un motivo de inquietud, pues traía al sólido edificio de la Física Clásica ideas que en muchos puntos conducían a dificultades y contradicciones, y no eran muchas las Universidades las que querían ocuparse en serio de esta problemática. Fuera de Copenhague, la teoría de Bohr era enseñada y desarrollada sobre todo por Sommerfeld en Munich. En 1920, la Universidad de Gotinga contrata a los físicos alemanes James Franck (1882-1964) y Max Born y deciden adoptar la misma dirección científica que en Munich y Copenhague. Estos son los tres centros en los que se desarrolló la nueva Teoría Cuántica, pero con direcciones de trabajo diferentes:



Max Born.

- La escuela de Sommerfeld en Munich es de tendencia fenomenológica, que intenta relacionar los resultados observacionales y representarlos mediante fórmulas matemáticas.

- La escuela de Gotinga es de tendencia matemática, que se esfuerza por representar los procesos de la naturaleza mediante un formalismo matemático cuidadosamente elaborado.

- La escuela de Bohr y Heisenberg en Copenhague es de tendencia conceptual, pues aspira a aclarar los conceptos con los que en último término hay que describir los procesos naturales.

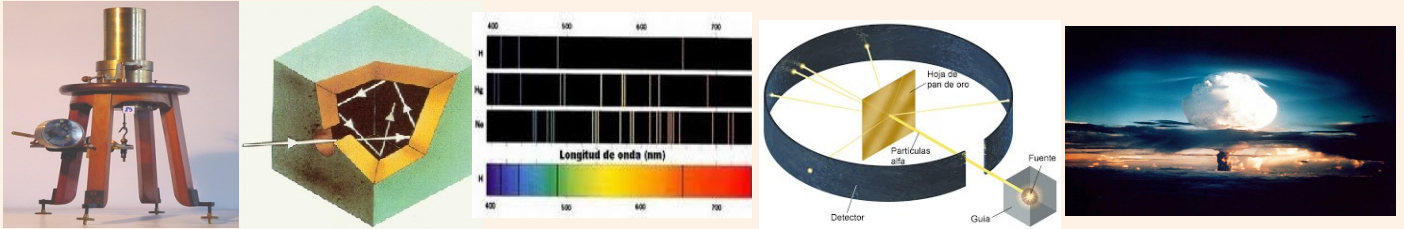


Universidad de Gotinga.

En la primavera de 1922, la Universidad de Gotinga invita a Bohr a dar una serie de conferencias, a las que asiste también como invitado Sommerfeld. En ellas Bohr expone su modelo con su idea del principio de correspondencia. De las conferencias se obtiene una gran inquietud que es decisiva para el ulterior desarrollo de la Física de Gotinga.

En el semestre de 1922-1923, Max Born organiza un seminario en el que participan colegas tales como Jordan, Hund, Fermi, Pauli, Heisenberg y el matemático Kerekjarto. Lo primero que hacen es adentrarse en la teoría general de perturbaciones de la mecánica de Hamilton-Jacobi, tal como era utilizada por los astrónomos y estudian los efectos de resonancia entre diversas órbitas planetarias y el resultado del trabajo es que reconocen que, aunque la Mecánica Clásica no es tal cual aplicable a los fenómenos microscópicos, posee muchos rasgos que reaparecen en la Teoría Cuántica en forma de leyes empíricas, y, por tanto, el principio de correspondencia constituye de algún modo el puente entre las dos representaciones.

En Munich se considera el cálculo exacto de diversos estados energéticos electrónicos como el éxito más importante de la Teoría Cuántica y catalogan al principio de correspondencia como un puente menos satisfactorio.



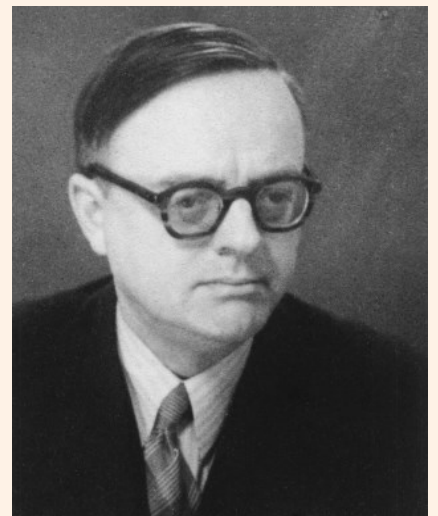
En 1924, en un trabajo de Max Born titulado “Sobre la Mecánica Cuántica” aparece por primera vez la expresión Mecánica Cuántica. En dicho trabajo, Born tiene la sensación de que la diferencia entre la Mecánica Clásica y la Cuántica estriba en sustituir las ecuaciones diferenciales de la Teoría Clásica por ecuaciones de diferencias en la Cuántica.

En el semestre del curso 1924-1925, Werner Heisenberg trabaja en Copenhague junto al holandés Hendrik Kramers (1894-1952), cuyo logro más importante es su teoría de la dispersión óptica, que influye en el desarrollo de la Mecánica de Matrices de Heisenberg. En 1925, a la vuelta de Heisenberg de Copenhague, Max Born le convence para que intente averiguar las amplitudes e intensidades correctas del espectro del átomo de hidrógeno. Heisenberg se da cuenta de que debe abandonar cualquier descripción en términos de órbitas electrónicas y a finales de mayo y principios de junio, Heisenberg pide permiso a Born para pasar dos semanas de reposo para recuperarse de unas fiebres y en la isla de Helgoland balbucea su teoría de matrices.



Universidad de Copenhague.

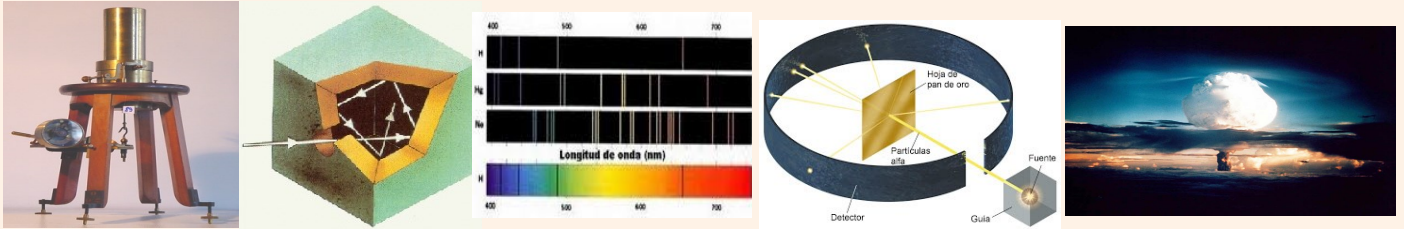
Heisenberg parte del principio de que no debe utilizarse magnitudes no observables y obtiene resultados esperanzadores para sistemas sencillos como osciladores lineales y no lineales. A su vuelta, Born manda publicar el trabajo, y el mismo Born junto con su ayudante el alemán Pascual Jordan (1902-1980) ahondan en las consecuencias matemáticas de dicho trabajo, dándose cuenta que el formalismo de Heisenberg es un procedimiento matricial. De esta forma se establece una fundamentación matemática convincente de la Mecánica Cuántica.



Pascual Jordan.

En Cambridge, Dirac recibe información del trabajo de Heisenberg y elabora su forma de la Mecánica Cuántica sin utilizar el cálculo de matrices, mediante un álgebra en el que toma un papel decisivo las relaciones de intercambio para el cálculo de magnitudes que no conmutan. La formulación de Dirac es equivalente a la desarrollada por Born y Jordan a partir de la idea de Heisenberg, lo cual hace pensar que se está pisando terreno relativamente seguro. De esta forma los tres, Born, Jordan y Heisenberg, profundizan en su trabajo. A mediados de noviembre entra en imprenta el trabajo de la teoría matricial de Heisenberg y antes de su publicación, Pauli, que residía en Hamburgo, demuestra que la nueva teoría calcula y explica de forma correcta el espectro del átomo de hidrógeno.

1926 comienza con el trabajo de Schrödinger sobre la Mecánica Ondulatoria, basado en la imagen de De Broglie. El concepto de órbita electrónica no está en Schrödinger ni en el trabajo de Heisenberg y la determinación de los valores de energía de los estados estacionarios se reduce en ambas teorías a un problema de obtención de valores propios de álgebra lineal y no se tarda tiempo en sugerir la equivalencia de ambas teorías.



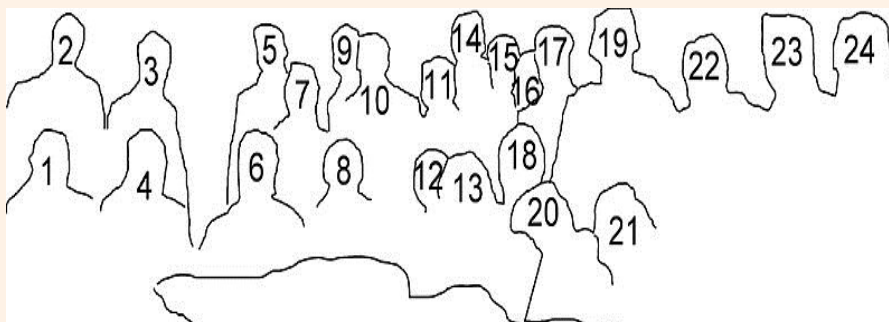
Schrödinger encuentra la prueba de la equivalencia de las dos Mecánicas Cuánticas y concibe sus ondas como auténticas ondas materiales tridimensionales y entabla una dura discusión con Bohr. Entretanto, Born, en Gotinga, siguiendo la prueba de equivalencia de Schrödinger aplicada a un espacio multidimensional, llega al supuesto de que el cuadrado de la función de onda es una medida de la probabilidad de la configuración correspondiente del sistema, con lo que queda claro que las ondas materiales no permiten describir suficientemente la naturaleza del sistema y que en la Teoría Cuántica existe una componente estadística.

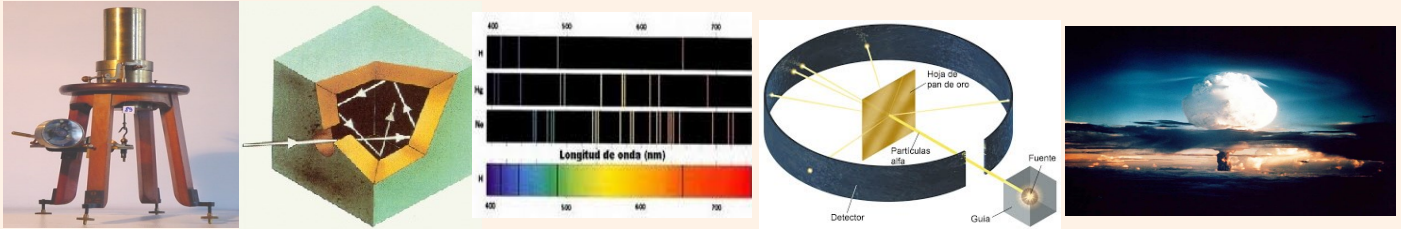
En el semestre del curso 1926-1927 se aborda el estudio de la trayectoria del electrón. En Gotinga, la tradición matemática hacía suponer a Heisenberg que la aplicación del formalismo mecánico-cuántico permitiría extraer también conclusiones acerca de los viejos conceptos que sobrevivían en el nuevo lenguaje. Bohr, por el contrario, quiere arrancar de las interpretaciones, en principio contradictorias, de la teoría ondulatoria y la teoría corpuscular la obtención de conceptos correctos. La respuesta queda formulada en la forma de las relaciones de incertidumbre de Heisenberg y en el principio de complementariedad de Bohr.



- Asistentes al primer Congreso Solvay de 1911: 1 Walter Nernst 2 Robert Goldschmidt 3 Max Planck 4 Léon Brillouin 5 Heinrich Rubens 6 Ernest Solvay 7 Arnold Sommerfeld 8 Hendrik Antoon Lorentz 9 Frederick Lindemann 10 De Broglie 11 Martin Knudsen 12 Emil Warburg 13 Jean-Baptiste Perrin 14 Friedrich Hasenöhr 15 Georges Hostelet 16 Edouard Herzen 17 James Hopwood Jeans 18 Wilhelm Wien 19 Ernest Rutherford 20 Marie Curie 21 Henri Poincaré 22 Heike Kamerlingh-Onnes 23 Albert Einstein 24 Paul Langevin.

En 1927 las controversias y diferencias se debaten en la quinta conferencia de Física del Instituto Solvay, celebrada en Bruselas en octubre de 1927.





El primer congreso Solvay tiene lugar en Bruselas en otoño de 1911, bajo la presidencia de Hendrik Lorentz y con el tema de “la teoría de la Radiación y los Cuantos” y enfrenta ya a la Física Clásica con la Teoría Cuántica. El tema de la quinta conferencia Solvay de Física fue “Electrones y Fotones”, y los mejores físicos discuten sobre la recientemente formulada Teoría Cuántica, y se dan cuenta que para describir y entender a la naturaleza se tiene que abandonar gran parte de las ideas preconcebidas por el ser humano a lo largo de toda su historia.

La anécdota más famosa que ha quedado de la quinta conferencia fue la protagonizada por Albert Einstein y Niels Bohr cuando discutían acerca del “Principio de Incertidumbre” de Heisenberg. Einstein comentó: “Usted cree en un Dios que juega a los dados”, a lo que Bohr le contestó “Einstein, deje de decirle a Dios lo que debe hacer con sus dados”.

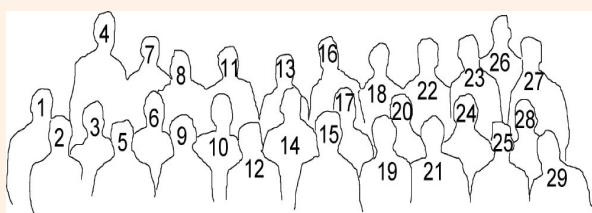
Congresos Solvay

Los Congresos Solvay (también llamados Conferencias Solvay) son una serie de conferencias científicas celebradas desde 1911. Al comienzo del siglo XX, estos congresos reunían a los más grandes científicos de la época. Pudieron ser organizados gracias al mecenazgo de Ernest Solvay, químico e industrial belga.

Después del éxito inicial de la primera conferencia, las Conferencias Solvay han sido dedicadas a problemas abiertos tanto en la Física como en la Química.



Para Einstein, el aspecto impreciso e indeterminado de la Física Cuántica no puede satisfacer a un científico y presente que debe existir algo por debajo de ese aspecto, por ser insuficientes los medios de observación. En aquella época, Einstein creía



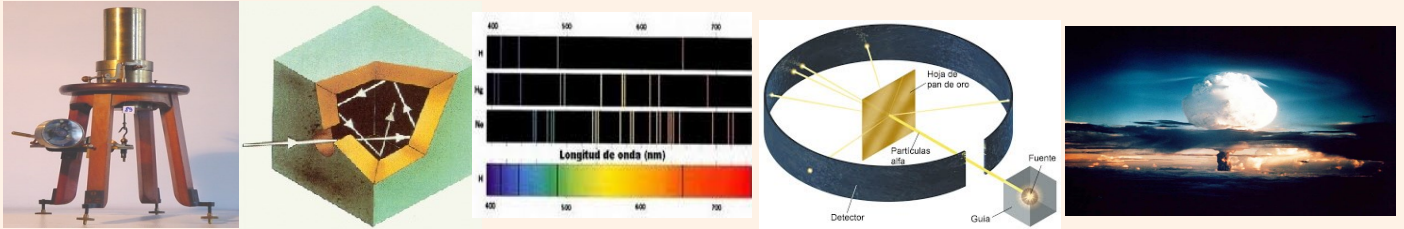
que la Física Cuántica era probabilística debido a la falta de conocimiento.

Pero para Bohr y Heisenberg, que constituyen la corriente ortodoxa, la Física Cuántica satisface el principal criterio de toda teoría, porque permite prever los resultados de las experiencias, por lo menos en términos de probabilidad, afirmando por tanto, que dicha teoría se trata de un instrumento adecuado de trabajo.

Participantes de la Conferencia Solvay de Física de 1927:

- 1 Peter Debye 2 Irving Langmuir 3 Martin Knudsen 4 Auguste Piccard 5 Max Planck 6 William Lawrence Bragg 7 Émile Henriot 8 Paul Ehrenfest 9 Marie Curie 10 Hendrik Kramers 11 Edouard Herzen 12 Hendrik Antoon Lorentz 13 Théophile de Donder 14 Paul Dirac 15 Albert Einstein 16 Erwin Schrödinger 17 Arthur Holly Compton 18 Jules Émile Verschaffelt 19 Paul Langevin 20 Louis-Victor de Broglie 21 Charles-Eugène Guye 22 Wolfgang Pauli 23 Werner Heisenberg 24 Max Born 25 Charles Thomson Rees Wilson 26 Ralph Howard Fowler 27 Léon Brillouin 28 Niels Bohr 29 Owen Willams Richardson.

En los años posteriores a 1927 se considera a la Física Cuántica como la última revolución de la Física o tesis del final del camino, pero a partir de 1932 empiezan a surgir dudas con la aparición de nuevas partículas subatómicas. Esto lleva a la paradoja del experimento de Einstein, Podolsky y Rosen (EPR) y a la réplica de Bohr que insiste en la completitud de la Teoría Cuántica, aunque Pauli abandona la tesis del final del camino.



La paradoja de Einstein-Podolsky-Rosen es un experimento mental propuesto en 1935 por Albert Einstein, el norteamericano de origen ruso Boris Podolsky (1896-1966) y el israelí Nathan Rosen (1909-1995). Es relevante porque pone de manifiesto un problema de la Teoría Cuántica, y en las décadas siguientes se dedican múltiples esfuerzos a resolverlo.

A Einstein la idea del entrelazamiento cuántico le era extremadamente perturbadora. Esta particular característica de la Mecánica Cuántica permite preparar estados de dos o más partículas en los cuales es imposible obtener información útil sobre el estado total del sistema haciendo sólo mediciones sobre una de las partículas. Por otro lado, en un estado entrelazado, manipulando una de las partículas, se puede modificar el estado total.

Es decir, operando sobre una de las partículas se puede modificar el estado de la otra a distancia de manera instantánea. Esto habla de una correlación entre las dos partículas que no tiene contrapartida en el mundo de las experiencias cotidianas de la Física Clásica.

Conferencia Solvay de 1927

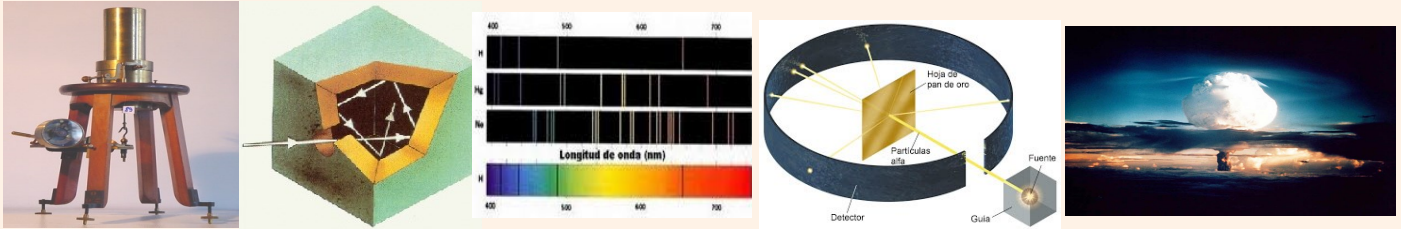
Los participantes en dicha Conferencia pertenecen a una generación de oro de la ciencia, pues diecisiete de los veintinueve asistentes eran o llegaron a ser ganadores del Premio Nobel, incluyendo a Marie Curie, que había ganado los premios Nobel en dos disciplinas científicas diferentes (Premios Nobel de Física y de Química).

El experimento EPR consiste en dos partículas microscópicas que interactúan en el pasado (partículas ligadas) y que luego se separan. Dos observadores reciben cada una de las partículas. Para la Física Cuántica las velocidades y posiciones de las partículas son indeterminadas antes de la medición y es la medición realizada en la primera lo que simultáneamente hace que se concreten las velocidades o las posiciones de las dos partículas, lo que contradice el sentido común, pues implica que la velocidad y la posición están determinadas por parámetros suplementarios que constituyen las variables ocultas que la Teoría Cuántica no tiene en cuenta. De hecho, en 1948, Einstein propone que la Física Cuántica entraña acción a distancia, aunque no permite hacer predicciones deterministas y, por tanto, para él la Mecánica Cuántica es una teoría incompleta.

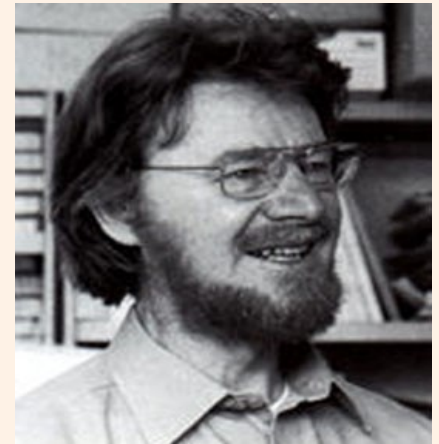
La paradoja EPR plantea dos conceptos cruciales: la no localidad de la Mecánica Cuántica (es decir, la posibilidad de acción a distancia) y el problema de la medición. En la Física Clásica, medir un sistema, es poner de manifiesto propiedades que se encuentran presentes en el mismo, es decir, que es una operación determinista, pero en Mecánica Cuántica constituye un error asumir esto último. El sistema va a cambiar de forma incontrolable durante el proceso de medición, y solamente se puede calcular las probabilidades de obtener un resultado u otro.



Hotel de las Conferencias Solvay



En 1951, el físico anglo-norteamericano David Bohm (1917-1992) reformula el experimento EPR, postula la existencia de una realidad profunda que trata de desentrañar y sugiere que debe abandonarse en el análisis las variables continuas como la velocidad o la posición para utilizar aquellas que sólo pueden tomar uno u otro de dos valores, como las relaciones con el espín. En 1964 el norirlandés John Bell (1928-1990) propone una forma matemática para poder verificar la paradoja EPR y hace entrar en juego las variables propuestas por Bohm en forma de un teorema, pasando de la discusión teórica a la experimentación y en última instancia a decidir entre la Física Clásica o Cuántica. El teorema de Bell o desigualdades de Bell afirma que ninguna teoría física de variables ocultas locales puede reproducir las predicciones de la Mecánica Cuántica, la cual describe el estado instantáneo de un sistema o estado cuántico con una función de ondas que codifica la distribución de probabilidad de todas las propiedades medibles, u observables. El admitir la existencia de variables ocultas como se considera en el experimentos EPR implica considerar a la Mecánica Cuántica como una descripción provisional del mundo físico y que los comportamientos probabilísticos de la Teoría Cuántica se corresponden con un comportamiento estadístico asociado a partes del sistema y parámetros que no son accesibles (variables ocultas) y conciben las probabilidades cuánticas como fruto del desconocimiento de estos parámetros. Por tanto, si Einstein tiene razón, las desigualdades de Bell deben verificarse siempre y la Teoría Cuántica es incompleta. Por el contrario, si la Teoría Cuántica es completa, estas desigualdades deben ser violadas.



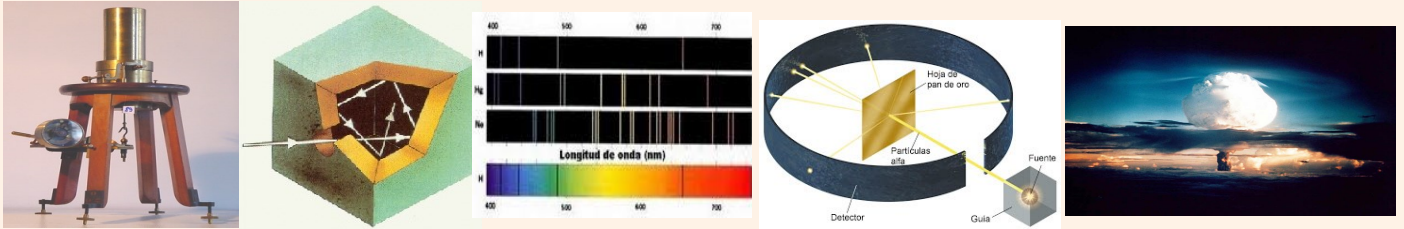
John Bell.

El teorema de Bell se aplica en Mecánica Cuántica para cuantificar matemáticamente las implicaciones planteadas teóricamente en la paradoja EPR y permitir así su demostración experimental.

Variables ocultas

En Física, se define como teorías de variables ocultas a formulaciones alternativas que suponen la existencia de ciertos parámetros desconocidos que son los responsables de las características estadísticas de la Mecánica Cuántica. Dichas formulaciones son una crítica a la naturaleza probabilística de la Mecánica Cuántica, la cual conciben como una descripción incompleta del mundo físico.

Diversos investigadores han realizado experimentos para verificar si las desigualdades de Bell pueden ser violadas. Entre ellos el francés Alain Aspect (nacido en 1947), propone en 1975 una experiencia que produce pares de protones o de fotones en condiciones tales que los dos protones que se alejan el uno del otro tienen, si se les mide siguiendo una misma orientación, espines opuestos; y en el caso de fotones se utiliza la propiedad de la polarización lineal. En 1981, Aspect comprueba la mayor violación jamás observada de las desigualdades de Bell y en 1982 modifica el posible lazo entre la fuente de las partículas y los aparatos de medición y también hay violación de las desigualdades de Bell. Esto es un gran triunfo de la Teoría Cuántica, que hasta ahora ha demostrado un grado altísimo de precisión en la descripción del mundo subatómico, incluso a pesar de sus predicciones reñidas con el sentido común y la experiencia cotidiana. El problema es que la realidad física en el nivel cuántico no puede definirse en los términos clásicos como intentaron hacerlo Einstein, Podolsky y Rosen y esto no hace del mundo cuántico algo menos real que el mundo clásico.



4.2. El cisma en la Física Cuántica.

El cisma en la Física Cuántica se debe a la existencia de una ortodoxia cuántica encabezada por Bohr, Heisenberg y Pauli y por simpatizantes menos activos como Born, Jordan y Dirac, y unos disidentes encabezados por Einstein, mientras que otros como De Broglie, después de proponer su nada ortodoxa teoría de las ondas piloto se une a la ortodoxia, pero luego volvió a disentir animado por el trabajo de David Bohm.

Uno de los problemas que ha llevado al cisma es la interpretación objetiva o subjetiva de la probabilidad. El cálculo de la probabilidad fue interpretado por sus fundadores como una teoría de la cual hay necesidad y para la cual hay una aplicación, y todas las aplicaciones de la probabilidad son estadísticas, que surgen de nuestro insuficiente conocimiento en lugar de surgir de falta de determinación en la naturaleza objetiva. Laplace excluye cualquier interpretación objetiva de la probabilidad para afirmar su carácter subjetivo. De esta forma, la tradición así establecida dominó la Física hasta la publicación de las relaciones de indeterminación de Heisenberg, e incluso ellas permitieron la supervivencia de una curiosa mezcla de subjetivismo-objetivismo, de forma que para el austriaco, nacionalizado británico, filósofo de la ciencia Karl Popper (1902-1994) las relaciones de indeterminación son relaciones de dispersión. Las cuestiones que han llevado al cisma en la Física son:

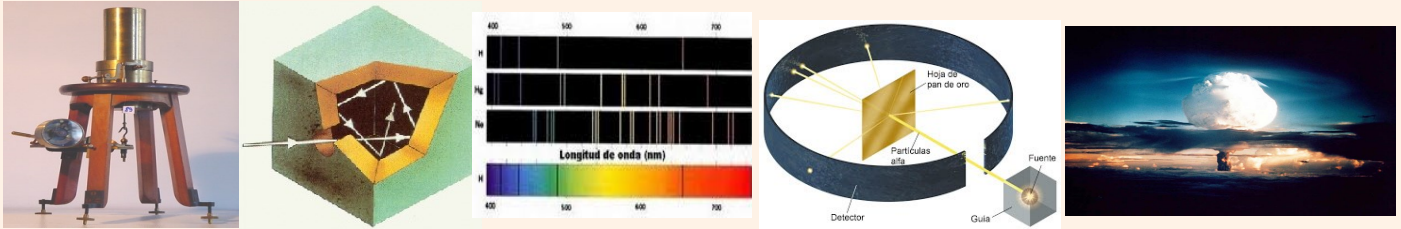


David Bohm.

1. Indeterminismo versus determinismo en relación con la existencia del azar. El determinismo supone que todas las leyes físicas son de obligado cumplimiento, es decir, son necesarias. Por tanto, si las leyes físicas se cumplen siempre se está determinado por una serie de causas y desde este punto de vista no existe el azar ni la casualidad. Por el contrario, se entiende por indeterminismo como aquella postura en la que el azar juega un papel influyente en las leyes físicas, como ocurre en la Mecánica Cuántica, donde las partículas se mueven aleatoriamente y sólo es posible su predicción de forma estadística.

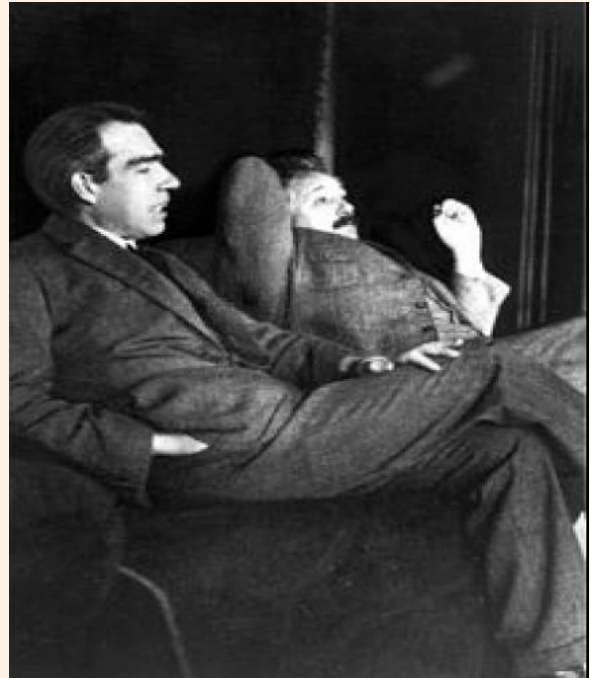
2. Realismo versus instrumentalismo. Dado que la naturaleza existe independientemente de nuestro conocimiento teórico sobre ella, resulta que las teorías verdaderas describen correctamente esa realidad, mientras que el instrumentalismo entiende las teorías y modelos científicos como instrumentos y no pretenden representar la realidad, sino que son o deben ser herramientas cuya finalidad es o bien heurística (útil para el avance del conocimiento) o bien predictiva (útil como base de pronósticos técnicos).

3. Objetivismo versus subjetivismo. El objetivismo admite que la realidad existe independiente del papel del observador, que no crea el objeto, sino que sólo lo percibe, mientras que el subjetivismo admite que la realidad no es un firme absoluto, sino algo moldeable e indeterminado, que puede ser alterado, en todo o en parte, por la consciencia del que percibe.



Einstein, De Broglie, Schrödinger y Bohm son deterministas y realistas, son objetivistas con respecto a los fines de la teoría física, pero subjetivistas, con mayor o menor consistencia, respecto a la interpretación de la teoría de la probabilidad.

La escuela ortodoxa de Copenhague (Bohr, Heisenberg y Pauli) tiene algunas observaciones anti-instrumentalistas en su favor. Lo más característico de la actitud de esta escuela es una oscilación entre el enfoque objetivo y el subjetivo cuando analizan las relaciones de indeterminación o realizan una interpretación de la probabilidad. En lo que están de acuerdo los integrantes de la escuela de Copenhague es en su rechazo al determinismo del grupo de Einstein. Se trata de un determinismo en una escala aún más pequeña que los átomos y donde la ecuación de Schrödinger y las relaciones de incertidumbre quedan reducidas a la condición de leyes aproximadas, por tanto la escuela de Copenhague es una escuela indeterminista frente al grupo de Einstein.

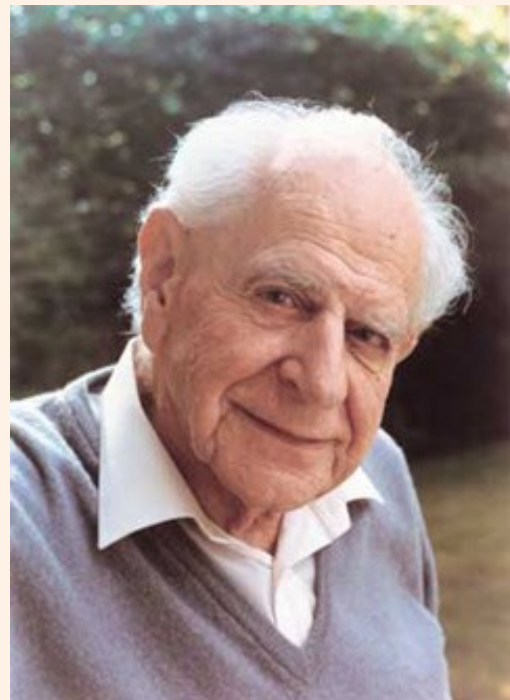


Bohr y Einstein en 1927 durante la quinta conferencia Solvay.

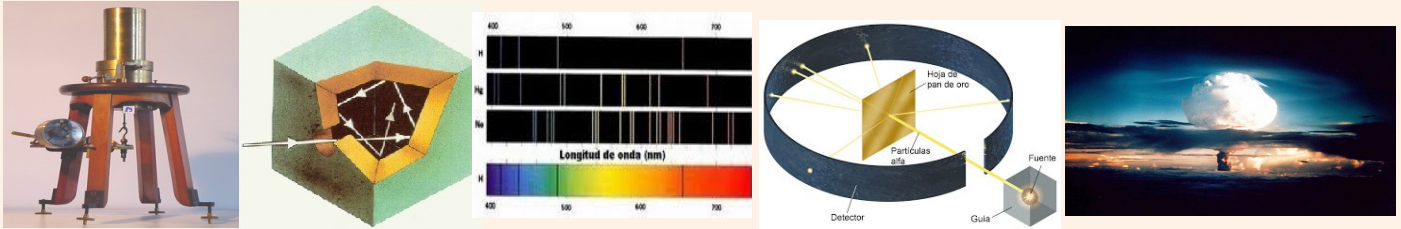
Finalmente existe la perspectiva encabezada por Popper en la que el indeterminismo es compatible con el realismo y la percepción de este hecho hace posible adoptar una interpretación objetivista de la Teoría Cuántica y una interpretación objetivista de la probabilidad.

Lo que realmente está claro es la incapacidad de la ciencia contemporánea por presentar una imagen total y unificadora del mundo, aunque el intento de Einstein de explicar la materia y todas sus interacciones en términos de campos y de perturbaciones en campos, es una idea grandiosa en su concepción intuitiva con un universo en bloque, pero ya no es un hermoso sueño o un sueño esperanzador por su idea del determinismo metafísico.

Según Popper se puede unir las dos concepciones, determinismo e indeterminismo por medio de un argumento de correspondencia por el cual se muestra que las teorías deterministas son aproximaciones de las teorías indeterministas, y por tanto concluir que la Física Clásica es una aproximación dentro de la Física Cuántica.



Karl Popper.

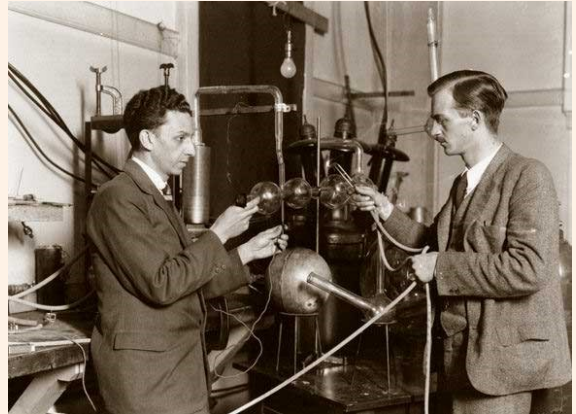


5. El inicio de la Física Nuclear.

El estudio de la estructura del átomo requiere del uso de proyectiles a nivel atómico, consistentes en diminutas partículas que puedan romper los átomos y analizar los trozos obtenidos. Cuanto más potentes sean los proyectiles utilizados más información se puede obtener de los trozos obtenidos.

Hay que tener en cuenta que hasta la década de 1930 no fue posible prescindir de las fuentes radiactivas naturales para poder producir este tipo de proyectiles, aunque en teoría se podía obtener un proyectil atómico acelerando una partícula como el hidrógeno o un núcleo de helio hasta una velocidad suficientemente alta mediante un dispositivo multiplicador de voltaje o un generador electrostático.

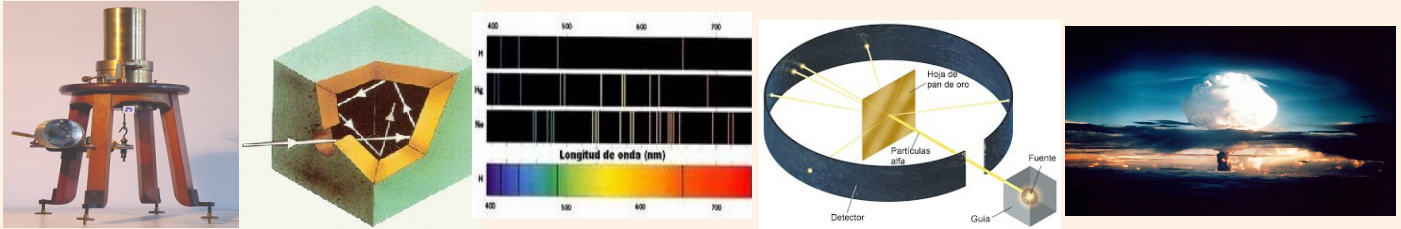
Los dispositivos multiplicadores de voltaje o los generadores electrostáticos de alto voltaje construidos en torno a 1930 inician una nueva carrera, la de la construcción de los aceleradores de partículas y la apertura de una nueva página en el desarrollo de la Física: la radiactividad artificial y el conocimiento del núcleo atómico, con la subsiguiente tarea de la búsqueda por la elementalidad. En esta tarea destacan los pasos dados por del inglés John Douglas Cockcroft (1897-1967) y el irlandés Ernest Walton (1903-1995) con su dispositivo multiplicador de voltaje de 1929, el norteamericano Ernest Lawrence (1901-1958) con su ciclotrón, cuyo primer prototipo es de 1930 y el norteamericano Robert Jemison Van der Graaff (1901-1967) con su generador de 1931.



En 1932 Cockcroft, en colaboración con Walton desintegran un núcleo atómico con partículas subatómicas aceleradas artificialmente. Utilizan su acelerador de partículas para bombardear átomos de litio con protones, de forma que algunos de los átomos de litio absorben un protón y se desintegran en dos átomos de helio. De esta forma, el acelerador Cockcroft-Walton se convierte en una herramienta experimental importante en los laboratorios de todo el mundo.

El norteamericano Arthur Compton (1892-1962), durante su estancia en la Universidad de Cambridge, llevó adelante las investigaciones del inglés Charles Glover Barkla (1877-1944) relacionadas con la dispersión de los rayos X por la materia. Barkla indagó la naturaleza de la dispersión de los rayos X de forma somera gracias a la medida de su cantidad de absorción.

Sin embargo, Compton disponía a su disposición de las técnicas de los ingleses Bragg, el padre William Henry Bragg (1862-1942) y el hijo William Lawrence Bragg (1890-1971) y, por tanto, estaba capacitado para medir con precisión las longitudes de onda de los rayos X que sufrían dispersión, de forma que descubre que algunos de los rayos X aumentan su longitud de onda al sufrir la dispersión. En 1923 explica el fenómeno denominado efecto Compton, admitiendo que la luz está constituida por partículas de energía que sufren choques elásticos con los electrones libres de la materia o débilmente ligados, y en cuyos choques se conserva la energía y el momento.



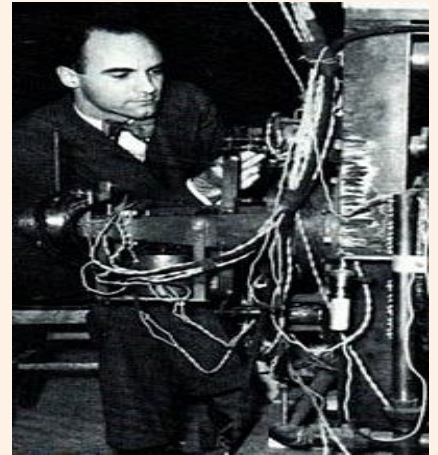
Desde entonces el término de partícula luminosa o fotón queda perfectamente establecido. En 1932, el norteamericano Carl David Anderson (1905-1991) descubre que los rayos cósmicos originan una nueva partícula, que llama positrón y en 1936 descubre el muon y así, de esta forma, se inicia el camino del descubrimiento de nuevas partículas subatómicas.

Por otro lado, para explicar la aparente pérdida de energía cinética de la mayor parte de las partículas beta, en 1931 Wolfgang Pauli postula la existencia de una nueva partícula que acompaña a la beta en el proceso de la desintegración y en 1934, Enrico Fermi la llama neutrino. La hipótesis del neutrino explica satisfactoriamente los espectros originados por de las partículas beta, pero hasta 1956 no se pudo detectar su existencia, siendo el norteamericano Frederick Reines (1918-1998) quien lo logra.

Profundizando en el estudio del núcleo, hay que tener en cuenta que las leyes de desplazamiento obtenidas por Frederick Soddy son generalizaciones empíricas que reducen un conjunto de hechos radioquímicos a un modelo simple, pero no facilitan una comprensión directa de los sucesos que ocurren en el interior del átomo, que son en realidad los responsables de las transmutaciones originadas. Aunque el trabajo de Moseley de 1913 proporciona nuevos datos sobre la composición del núcleo, hay que esperar hasta 1935 para tener una idea sobre las fuerzas internucleares.

En 1935 el japonés Hideki Yukawa (1907-1981) postula un modelo nuclear con la existencia de la partícula mesón, que actúa como un pegamento a nivel nuclear y obedece a un proceso de intercambio parecido a la acción de los electrones orbitales en los enlaces químicos.

En 1936 surge el modelo nuclear de la gota líquida de Niels Bohr y en 1948 aparece la teoría de las capas nucleares de la mano de la germano-americana Maria Goeppert Mayer (1906-1972) y del alemán Hans Daniel Jensen (1907-1973), aunque de forma independiente. De 1953 es la teoría del modelo unificado de los daneses Aage Bohr (1922-2009) (hijo de Niels Bohr) y Ben Mottelson (nacido en 1926), que es un híbrido entre el modelo de la gota líquida y el de capas nucleares, que coge los rasgos más positivos de los mismos y explica de forma satisfactoria un gran número de efectos secundarios en la estructura nuclear, así como algunas propiedades de los espectros moleculares.



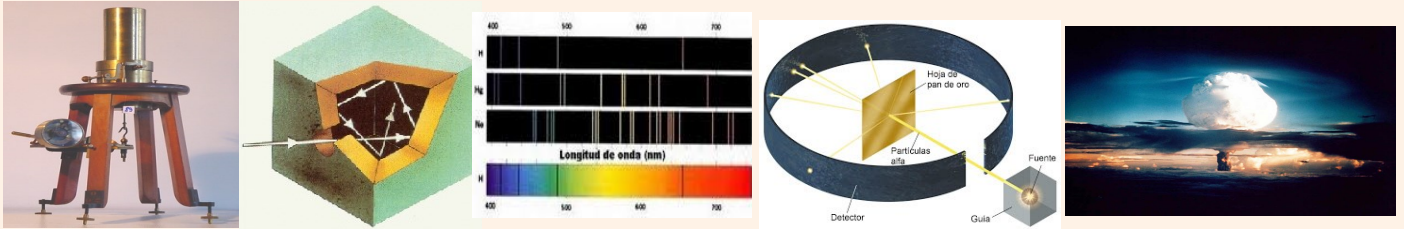
Carl David Anderson.
La existencia del positrón ya había ya sido prevista de forma teórica por Dirac en 1928.



Aage Bohr.



Maria Goeppert Mayer



Aunque los problemas que plantea la estructura nuclear distan aún mucho haber quedado solucionados, ya se conocen los componentes del núcleo, pero no de forma totalmente precisa las fuerzas internucleares y de las que poder deducir las propiedades de los núcleos.

Respecto a las reacciones nucleares artificiales, en 1934 el matrimonio Joliot-Curie, al manipular partículas alfa procedentes de una muestra de polonio, al hacerlas pasar a través de una lámina muy fina de aluminio, observan que el aluminio se convierte en radiactivo y de esta forma se inicia el camino hacia las reacciones nucleares artificiales.

Una vez descubierto el neutrón por Chadwick, el italo-americano Enrico Fermi (1901-1954) se da cuenta de que los neutrones pueden iniciar muchos tipos de reacciones nucleares y sin necesidad del empleo de aceleradores de partículas como los construidos hacia 1930.

En 1934 se le ocurre bombardear uranio con neutrones, experimento que condujo más adelante a la fisión nuclear. En un principio entre 1934 y 1938 no se reconoce que en dicho proceso hubiera una fragmentación nuclear, pues la idea de Fermi era la obtención de un elemento químico transuranido.

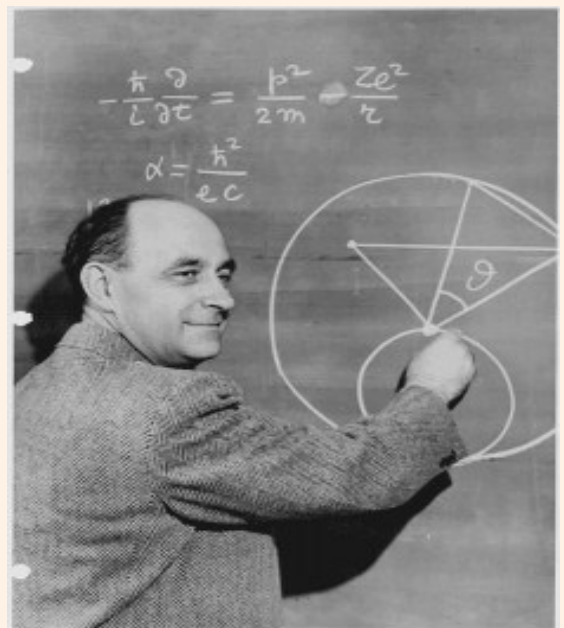
En 1938, los alemanes Otto Hahn (1879-1968) y Fritz Strassman descubren que en el bombardeo del uranio con neutrones aparece bario radiactivo. La escisión del átomo de uranio era algo inaudito y antes de realizar la publicación, se lo comunican a la austriaca-sueca Lise Meitner (1878-1968) y a su sobrino austriaco-británico Otto Frisch (1904-1979), que se encontraban en el Instituto de Bohr en Copenhague y llegan al concepto de fisión en 1939.

Es Niels Bohr el que lleva la noticia a Estados Unidos y allí, el refugiado húngaro Leo Szilard (1898-1964) se da cuenta de que el proceso de fisión da origen a una reacción en cadena con un uso práctico.

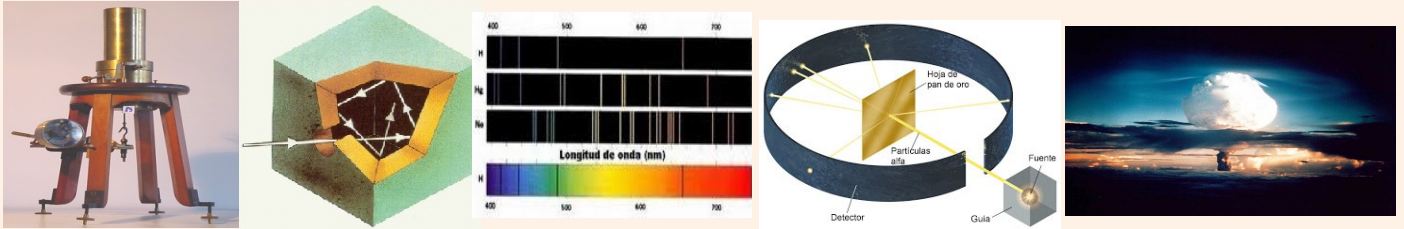
El mismo Szilard junto con otro refugiado húngaro, Eugene Paul Wigner (1902-1995), persuaden a Albert Einstein a escribir su famosa carta al presidente Roosevelt, que pone en marcha el proyecto Manhattan Engineer District para obtener la primera bomba nuclear.



Irène Joliot Curie y Frédéric Joliot se dan cuenta de que la radiactividad no es un fenómeno confinado sólo a los elementos químicos pesados como el uranio, sino que cualquier elemento químico puede ser radiactivo si se prepara el isótopo adecuado.

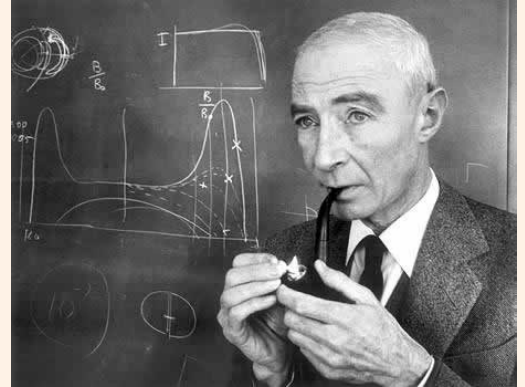


Fermi fue nombrado director del proyecto para elaborar la primera bomba atómica.



La primera reacción en cadena automantenida se lleva a cabo con éxito en la Universidad de Chicago el 2 de diciembre de 1942 por el equipo de Fermi, formado entre otros por Szilard, Wigner y Compton, constituyendo dicha fecha la del funcionamiento del primer reactor nuclear.

En 1943, el estadounidense Robert Oppenheimer (1904-1967) es encargado de la dirección de los laboratorios de Los Álamos en Nuevo México, donde se diseña y construye la primera bomba atómica (bomba A). En julio de 1945, no muy lejos de los laboratorios, se prueba el primer artefacto y en agosto se lanzan las bombas de Hiroshima y Nagasaki, que originan la rendición del Japón en la Segunda Guerra Mundial. En Los Álamos se encontraba otro refugiado judío de origen húngaro llamado Edward Teller (1908-2003), ardiente defensor del desarrollo del armamento nuclear y padre de la bomba de hidrógeno (bomba H).

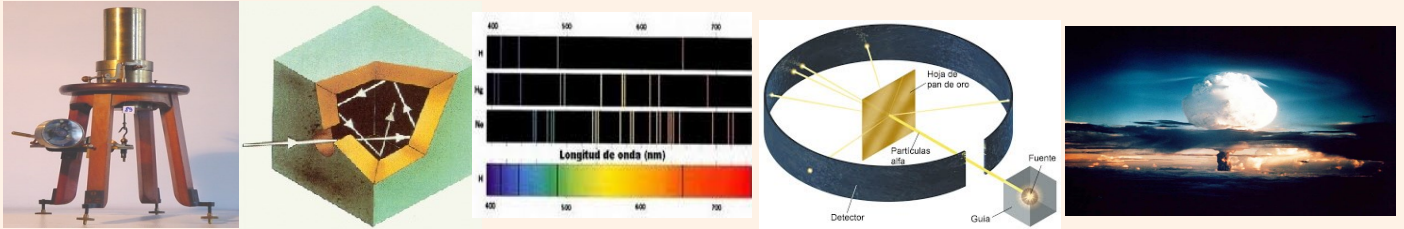


Después de la Segunda Guerra Mundial, Oppenheimer luchó ardientemente en favor del control internacional de la bomba A.

Mientras tanto la Unión Soviética estaba al tanto de la potencia del descubrimiento de Hahn de la fisión y el desastre de la invasión alemana no apartó al país del esfuerzo que se estaba haciendo en cuanto a la producción de armas nucleares. En 1943, el ruso Igor Vasilevich Kurchatov (1903-1960) es encargado de la dirección de esta investigación y en 1949 construye la primera bomba de fisión y en 1952 consigue desarrollar una bomba de hidrógeno. Posteriormente trabaja en la construcción de una estación nuclear experimental para la producción de energía para uso civil en 1954, algunos años antes de que los Estados Unidos hicieran lo mismo.



La primera explosión de una bomba de hidrógeno tuvo lugar en una isla del Pacífico el 1 de noviembre de 1952.



6. El Universo en el siglo XX.

Los avances en Astronomía en el siglo XX superan con creces los de los siglos anteriores. Se construyen potentes telescopios y los estudios realizados con estos instrumentos revelan la estructura de enormes y distantes agrupamientos de estrellas, denominados galaxias y cúmulos de galaxias. A ello hay que añadir la investigación astronómica mediante los vuelos de las naves espaciales y satélites artificiales en la segunda mitad del siglo XX, lo cual no pudo tener lugar sin la entrada en escena anterior de los cohetes, gracias a los trabajos de Tsiolkovsky y de Goddard.

En 1903, el ruso Konstantín Tsiolkovsky (1857-1935) publica su obra más importante: “La exploración del espacio cósmico por medio de los motores de reacción”, que es un anticipo de las teorías de la moderna astronáutica y en donde expone por primera vez la posibilidad de viajar a través del espacio extraatmosférico por medio de la propulsión de cohetes de reacción. Sienta las bases de una teoría de cohetes de combustible líquido, que tienen que alcanzar una velocidad alta para que los gases de escape produzcan la propulsión adecuada. Deben tener sucesivas fases, que se desechan a medida que se agote el combustible en ellas.



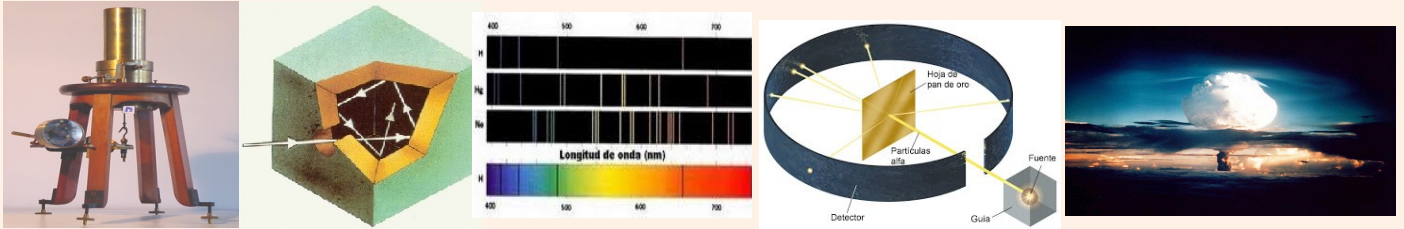
Dos imágenes de Goddard.

En EE.UU., el norteamericano Robert Goddard (1882-1945) amplía la teoría de vuelo de los cohetes de Tsiolkovsky y en 1926 lanza el primer cohete de combustible líquido con una mezcla de gasolina y oxígeno líquido. En 1929 lanza su primer cohete con instrumentos de observaciones meteorológicas y en 1935 su cohete alcanza los 550 millas/h y la altura de 2,3 km. El gobierno estadounidense nunca se interesó por el trabajo de Goddard y sólo durante la Segunda Guerra Mundial, Goddard consiguió que le financiaran pequeños cohetes que ayudaran a los aviones a despegar de los portaviones. Mientras tanto en Alemania, los cohetes se estaban desarrollando como armas poderosas.



En EE.UU., el ingeniero y físico húngaro-estadounidense Theodore Kármán (1881-1963) asentado en Norteamérica realiza importantes contribuciones en el campo de la aeronáutica y astronáutica. Es responsable de importantes descubrimientos en estructuras aeronáuticas y son trascendentales sus trabajos en la caracterización de flujos supersónicos e hipersónicos de aire.

Mientras tanto en Alemania, Hermann Oberth (1894-1989) desarrolla en la década de 1920 los principios del diseño de sus cohetes y en 1932 el ejército alemán se interesa por el tema a través de su Departamento de Desarrollo de Armamento, que contrata los servicios de Wernher von Braun (1912-1977), que en 1937 es nombrado director de la estación experimental de cohetes de Peenemunde en el mar Báltico.

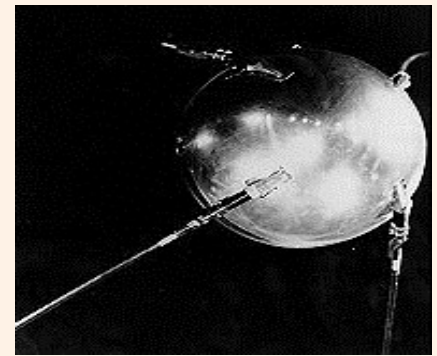


En 1942, Braun logra fabricar su famoso cohete V-2, con un alcance de 190 km, una altura de 96 km, una velocidad de más de 5.000 km/h y un combustible formado por una mezcla de alcohol y oxígeno líquido. Después de varias mejoras técnicas, en 1944, el ejército alemán lanza más de un millar de cohetes V-2 contra Inglaterra, terminando la amenaza cuando los aliados pueden neutralizar las rampas de lanzamiento de dichos cohetes. El cohete V2 es el precursor de los cohetes espaciales utilizados por Estados Unidos y la URSS.



V-2.

Por otro lado, Theodore Kármán participó en 1944 en el programa de guerra estadounidense de recogida de información para utilizar el conocimiento científico tecnológico alemán en provecho americano. Sus informes sirven para que después de la guerra, las autoridades estadounidenses impulsen la industria aeronáutica, teniendo en cuenta el importante papel que juegan los cohetes con fines militares en forma de misiles para lograr la supremacía del espacio aéreo.

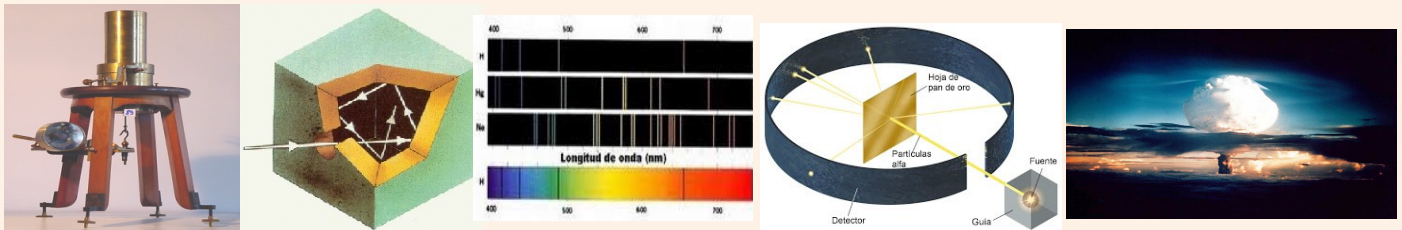


Satélite Sputnik.

Concluida la Segunda Guerra Mundial, von Braun se traslada a Estados Unidos, consigue la nacionalidad norteamericana y construye para el ejército el misil balístico Júpiter y los cohetes usados por la NASA para los primeros lanzamientos del programa Mercury. Braun desempeña un papel fundamental en la fabricación de los cohetes Saturno del programa Apolo, que logra el objetivo de llegar a la Luna el 20 de julio de 1969 y el astronauta Neil Armstrong es el primer hombre en pisar la Luna. La era de los satélites artificiales comenzó el 4 de octubre de 1957 con la puesta en órbita del Sputnik por los soviéticos en el centenario del nacimiento de Tsiolkovsky, al que siguió el 30 de enero de 1958 el Explorer I de los norteamericanos. El 12 de abril de 1961 los soviéticos ponen en órbita al primer astronauta Gagarin, lo que hace que los norteamericanos y los soviéticos se envuelven en una espectacular carrera competitiva, lanzando al espacio exterior naves tripuladas o no, que han hecho progresar mucho el conocimiento sobre el sistema solar y el Universo. Los principales hitos en la exploración espacial son: la llegada del hombre a la Luna, el desarrollo de los viajes interplanetarios, el despliegue de las estaciones espaciales orbitales y la exploración del espacio mediante el telescopio espacial y el desarrollo de grandes observatorios terrestres por medio de la información obtenida de telescopios y radiotelescopios. Para evitar las interferencias de la atmósfera terrestre se han construido telescopios en lugares del planeta en los que el cielo es más limpio, pero también ha surgido la idea de un telescopio espacial por encima de la atmósfera terrestre y en 1990 se pone en órbita el Hubble, que es el telescopio que más descubrimientos ha hecho.



Satélite espacial Hubble.



En cuanto a los conocimientos astronómicos, al llegar el siglo XX se considera que el Sol se encuentra cerca del centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea, que se creía constituía el Universo entero, y más allá de los confines de la galaxia se consideraba que sólo hay un vacío infinito.

¿Por qué brillan las estrellas? es una pregunta que se han hecho las personas de todas las civilizaciones y de todas las épocas. Hasta el siglo XX no se ha dado una explicación “física” fundamentada, que es la siguiente: las estrellas son astros en los que tienen lugar reacciones nucleares y, en consecuencia, son centros emisores de energía (luz y calor). En otras palabras, una estrella es un reactor termonuclear gigante. Esta concepción es consecuencia de los descubrimientos de la Física Nuclear y del principio de equivalencia masa-energía y dicha explicación sugiere todo un conjunto de preguntas relacionadas con la evolución y muerte de las estrellas.



Nebulosa de la hélice.

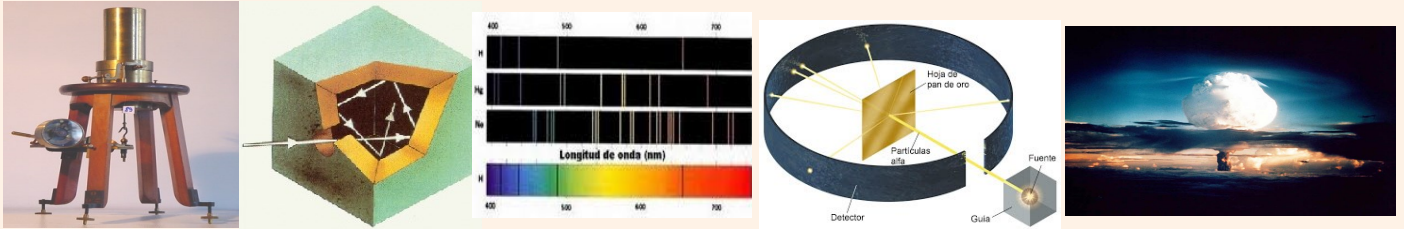
En cuanto al origen del sistema solar, la hipótesis nebular (Kant-Laplace) sobre su génesis estuvo vigente a lo largo del siglo XIX e implicaba que la edad de los astros disminuye desde el exterior del sistema (los más antiguos) hacia el interior (el Sol, que sería el astro más joven). La idea básica de la hipótesis nebular consiste en que una gran cantidad de polvo y gas -la nebulosa- posee un determinado momento angular, y el proceso de condensación y contracción lleva parejo un incremento en la velocidad de rotación de la nebulosa con el desgajamiento de sucesivos anillos de polvo y gas, pero no se explica la distribución del momento angular entre la parte principal y los anillos separados.



Thomas Chamberlin.

En 1900, el norteamericano Thomas Chamberlin (1843-1928), estudiando la dinámica de una nebulosa en rotación afirma que el desgajamiento anular exterior de un objeto de la misma para continuar el proceso de contracción, la casi totalidad del momento angular permanece en el cuerpo central, lo que resulta que la mayor parte del momento angular radicara en el Sol, que giraría a una velocidad impresionante alrededor de su eje, pero la realidad del sistema solar es muy diferentes (el Sol posee un 2 % del momento angular del sistema y Júpiter un 60 %).

En 1906, Chamberlin y el también norteamericano Forest Ray Moulton (1872-1952) sugieren otra hipótesis que tiene en cuenta el problema del momento angular: las acciones gravitatorias ejercidas por una estrella que se aproximó al Sol, en un estadio de éste mas o menos parecido al actual, crearon unas fuertes mareas en ambas estrellas desprendiéndose materia estelar que ocuparía un lugar entre ambas y que ganaba momento angular a costa de ellas. Cada una se llevaba una parte que se condensaría rápidamente en forma de planetas con el momento adquirido en su gestación. Recibió el nombre de hipótesis planetesimal.



En 1916, el inglés James Hopwood Jeans (1877-1946) elabora la hipótesis planetesimal con más detalle, al sugerir que los planetas se desprendieron del Sol hace unos 5.000 millones de años como consecuencia de la “marea” que produjo la proximidad de una estrella. El estudio de la temperatura y de la presión en el interior del Sol explicó la fusión del hidrógeno en helio “aclorando” el problema del origen físico de la energía solar. Pero las pruebas relativas a la idea de un interior solar a elevadísimas temperaturas, condición necesaria para que tenga lugar la fusión cuestionaron la hipótesis planetesimal.



James Hopwood Jeans.

En 1939, el norteamericano Lyman Spitzer (1914-1997) argumentó que el hipotético desprendimiento de materia tan caliente se dispersaría al instante constituyendo una nebulosa permanente sin posibilidad de condensarse en forma de planetas. La formación de los planetas debió tener a expensas de materia relativamente fría y, en consecuencia, se recurre de nuevo a la idea de una nebulosa en proceso de contracción.

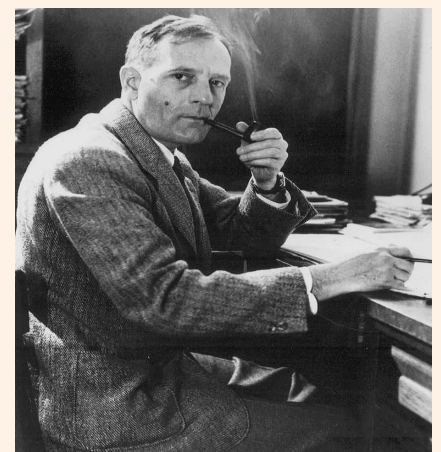
En 1943, el alemán Carl Friedrich Weizsäcker (1912-2007) explica la formación del sistema solar a partir de una nebulosa que no gira globalmente sino que en ella existen regiones exteriores con turbulencias y, dentro de éstas, remolinos. Las colisiones de partículas facilitarían la condensación de la masa gaseosa que acabaría desprendiéndose, dando lugar a los planetas. Estas hipótesis se refieren al sistema planetario solar, tan cercano y tan investigado, pero el Universo es muy grande y presenta muchos misterios.



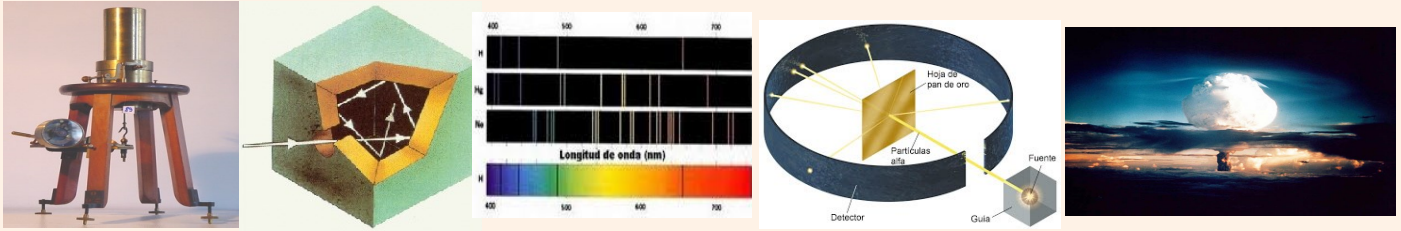
Carl Friedrich Weizsäcker.

Más allá del sistema solar hay que citar los trabajos del norteamericano Vesto Slipher (1875-1969), que estaba interesado por las nebulosas y en 1912 fue el primero en aplicar el efecto Doppler al estudio de la nebulosa de Andrómeda, que por aquel tiempo aún no se consideraba un objeto extragaláctico, e inicia una línea de trabajo para medir las velocidades radiales de las galaxias.

Es el norteamericano Edwin Hubble (1889-1953), quien con su telescopio, el mayor de entonces, realiza un trabajo sistemático de estudio del Universo más allá de nuestra galaxia (la llamada Vía Láctea), que pasa a ser una de tantas y en 1929 del estudio de las velocidades radiales de las galaxias, medidas anteriormente por Slipher, sugiere que la velocidad con la que las galaxias se alejan de nosotros es directamente proporcional a sus distancia y ello es una prueba de la expansión del Universo, que fue antes sugerido por el matemático ruso Aleksander Friedmann (1888-1925) en 1922 como una consecuencia de la Teoría de la Relatividad de Einstein.



Edwin Hubble.



Si el Universo se expande, alguna vez todo debió estar unido en un punto, por lo que, en 1930, el astrónomo belga Georges Edouard Lemaître (1894-1966) sugiere la formación del sistema solar mediante una explosión solar: la hipótesis explosiva, cuya teoría fue desarrollada por el ruso-americano George Gamow (1904-1968), al visualizar un Universo formado por un gran estallido que origina galaxias que se alejan bajo el impacto de la explosión inicial como una pequeña cantidad de gas en expansión.

En 1948, el austriaco-norteamericano Thomas Gold (1920-2004) sugiere la teoría del estado estacionario del Universo, mediante la cual cuando las galaxias se separan se forma materia nueva en las vastas regiones de espacio entre ellas, de modo que cuando se hubiera doblado la distancia entre dos galaxias vecinas se habría formado suficiente materia entre ellas para constituir una nueva galaxia, con lo cual la densidad con las que las galaxias cubrían el espacio permanecería inmutable. El astrónomo inglés Fredrick Hoyle (1915-2001) defiende esta teoría y llamó despectivamente, en 1950, "Big Bang" a la teoría con la hipótesis explosiva del Universo y es así es como se conoce actualmente a la teoría más aceptada como origen del Universo. Una de las características de la teoría del Big Bang es la predicción de la radiación de fondo de microondas y en 1965 el germano-norteamericano Arno Penzias (nacido en 1933) y el norteamericano Robert Wilson (nacido en 1936) descubren dicha radiación, lo que es confirma la teoría del Big Bang.



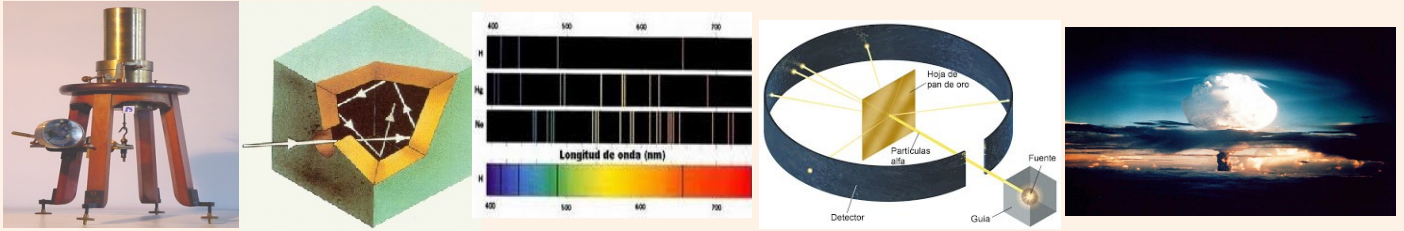
Vía Láctea. En la actualidad sabemos que vivimos en un sistema solar localizado en la periferia de la Vía Láctea, que está compuesta por miles de millones de soles, la cual hace parte de un conjunto galáctico llamado grupo local, el cual, a su vez, se localiza en un supercúmulo de galaxias distribuidas por un Universo de más de 15 mil millones de años-luz que está en expansión.

Para el norteamericano Richard Tolman (1881-1948), la existencia de una singularidad infinitamente densa del Big Bang es una idealización y proporciona una teoría alternativa, llamada del Universo pulsante o oscilante, que afirma que el Universo se contraerá hasta colapsarse hasta llegar a un estallido o "Big Crunch", antes de empezar a expandirse nuevamente. El inglés Stephen Hawking (1942-2018) demuestra que la teoría del Universo pulsante no es factible y que la singularidad del instante inicial es una componente esencial de la gravedad de Einstein. Esto llevó a la mayoría de los cosmólogos a aceptar la teoría del Big Bang, según la cual el Universo que observamos se inició hace un tiempo finito, hace 13.700 millones de años.



Stephen Hawking.

En 1990, la NASA lanza el satélite COBE (COsmic Background Explorer o satélite explorador del fondo cósmico), y en 1992 proporciona resultados consistentes con las predicciones generales de la teoría del Big Bang. En 2001 se lanza al espacio la sonda Wilkinson de Anisotropías del fondo de Microondas (WMAP), y en 2003 se presentan los resultados obtenidos tras el primer año de observación, mejorando los que hasta entonces eran los valores más precisos de algunos parámetros cosmológicos del Big Bang, hasta un nuevo nivel de precisión, que han conducido al descubrimiento inesperado de que el Universo está en aceleración.



7. El desarrollo de la Física Experimental.

7.1. La aparición del sonar y del radar.

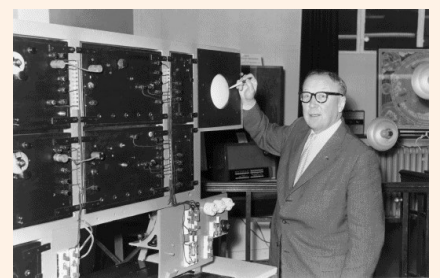
Es el francés Paul Langevin (1872-1946) quien sienta las bases del sonar por sus trabajos con los ultrasonidos y la piezoelectricidad, descubierta en 1880 por Pierre Curie. En 1916 Langevin obtiene ecos a una distancia de 200 m mediante un proyector y micrófono electrostático de carbón. En 1917 empieza a utilizar el efecto piezoeléctrico, donde las ondas ultrasonoras son producidas por la vibración de cristales de cuarzo, y en 1918 detecta ecos de un submarino a una profundidad de 1.500 m, mediante un transductor que es un mosaico de finos cristales de cuarzo pegados entre dos placas de acero. La importancia estratégica de su logro no pasa por alto por las naciones industriales, y desde entonces el desarrollo de transductores y sistemas de sonar no ha cesado, aunque su invento sólo se puede poner en funcionamiento cuando termina la Primera Guerra Mundial y ya no hay submarinos alemanes que detectar.



Paul Langevin.

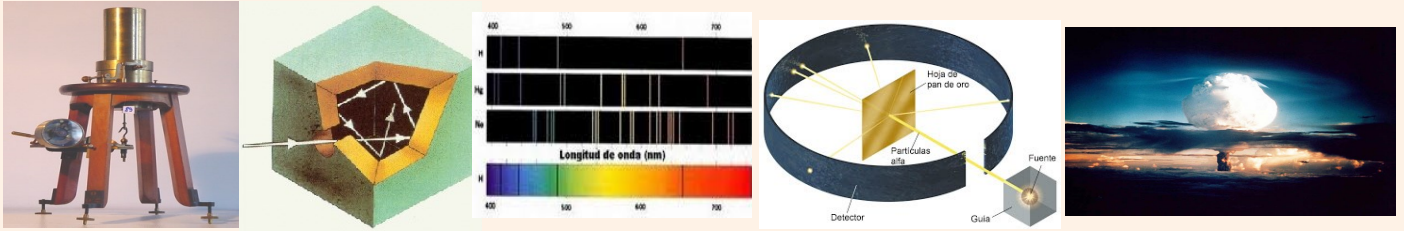
En 1924, el inglés Edward Appleton (1892-1965) estudiando la reflexión de las ondas de radio determina la altura de la capa de la atmósfera llamada ionosfera y sienta los principios para el descubrimiento del radar, de forma parecida a como se había hecho antes para la localización por eco del contorno de las profundidades marinas o de objetos en movimiento como los submarinos.

El radar (radio-detection-and-ranging) sirve para detectar y localizar por ondas de radio objetos lejanos como aviones. El primer dispositivo de radar útil es del escocés Robert Watson-Watt (1892-1973), que el 2 de abril de 1935 consigue una patente del radar. Cada unidad de radar emite ondas de radio y si éstas encuentran un objeto en su camino, la pequeña parte de la onda reflejada de vuelta al radar es detectada en él. Hay que tener en cuenta que las ondas incidentes según se dirigen hacia el blanco se abren, de manera que sólo una pequeña fracción de la energía inicial llega a ser reflejada por el objeto buscado. Y, por supuesto, a la onda reflejada, que vuelve al lugar de emisión le ocurre lo mismo, con lo cual vuelve a disminuir la energía que llega al radar. Por lo que cuanto mayor sea la energía emitida y menor la longitud de onda, más eficaz es el sistema y más pequeños pueden ser los sistemas de radar que se utilicen.



Robert Watson-Watt.

En junio de 1935, Watson-Watt detecta un avión a 27 km y a final de ese año el alcance es de 100 km. En 1939 hay en funcionamiento una cadena de estaciones de radar con antenas de 60 m en la costa inglesa apuntando hacia el continente europeo, que fueron muy eficaces para la detección de los aviones alemanes en la Batalla de Inglaterra de la Segunda Guerra Mundial.



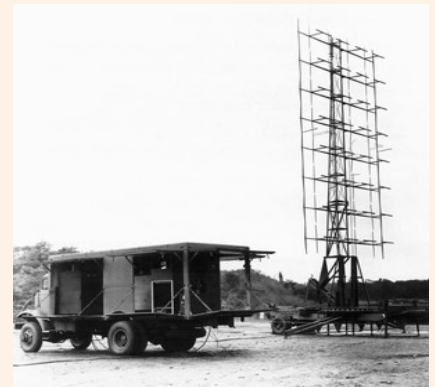
En el mismo año de 1939, los británicos Henry Boot (1917-1983) y John Randall (1905-1984) inventan el magnetrón de cavidad resonante, dispositivo que es capaz de generar impulsos de ondas electromagnéticas de altas frecuencias, del rango de las microondas y de gran intensidad, lo que permite que el desarrollo posterior del radar gane mucho en eficacia y necesite de un sistema receptor de antena pequeño, que puede incluso hasta ser montando en los aviones.



Radar británico de la Segunda Guerra Mundial.

En 1940, una delegación británica muestra a los estadounidenses, en los laboratorios Bell Telephone, su magnetrón de cavidad resonante. El resultado es tan satisfactorio, que deciden crear un laboratorio para desarrollar el radar de microondas bajo la dirección del norteamericano Lee Alvin DuBridge (1901-1994) en el campus del Massachusetts Institute of Technology (MIT), que se llamará Radiation Laboratory (o Rad Lab), que produce su primer radar en agosto de 1941, mejor que el anterior de los británicos.

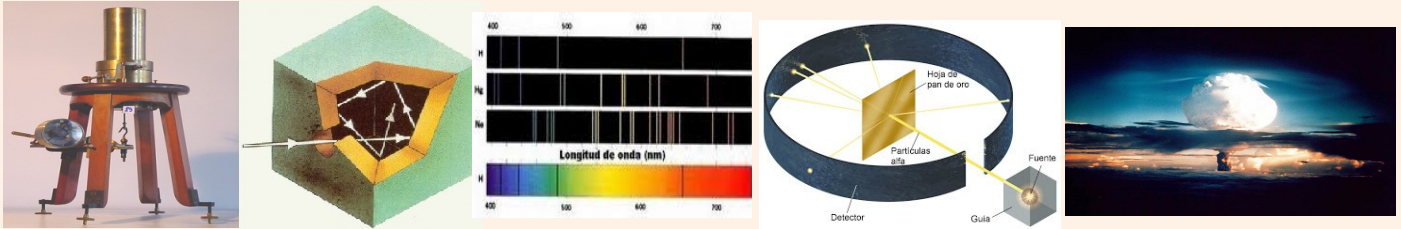
Cuando el 7 de diciembre de 1941 la estación de radar situada en Punta Kahuku captó aviones que se aproximaban a Hawaii, el Centro de Información Norteamericano transmitió que debían ser aviones de los Estados Unidos que regresaban a su base. El radar era, pues, una nueva tecnología y todavía no se confiaba en él por entero. El resultado fue que se trataba en realidad de 353 aviones de guerra japoneses con base en portaaviones, que hundieron o averían severamente 18 barcos de guerra de los Estados Unidos en Pearl Harbour y matan a 2.403 hombres, lo que hace que Estados Unidos entre en la Segunda Guerra Mundial.



Estación de radar de Pearl Harbour en 1941.

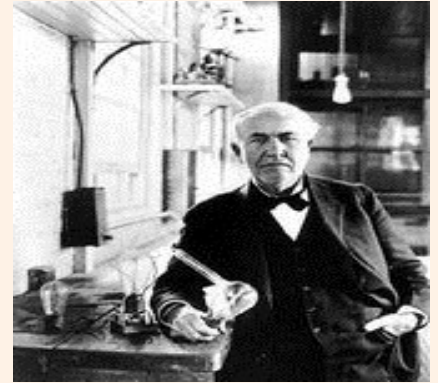
Un radar eficaz debe producir una emisión intensa en onda corta y para su funcionamiento correcto se necesitan detectores muy sensibles, ya que las señales que se reciben por la antena son débiles y deben ser rectificadas, que es el propósito en el que trabajaron los científicos del Rad Lab. Pero para ello se llega a un punto en el que no se puede avanzar más porque la distancia entre los electrodos de las válvulas que se utilizaban como rectificadores no podía ser ya lo suficientemente pequeña que se necesitaba y hubo que sustituir dichas válvulas del sistema de detección por otros materiales. Y es así como se impulsa la investigación de los semiconductores como rectificadores en los aparatos de radar a cargo de los laboratorios Bell y surge la gran relación del Rad Lab con los laboratorios Bell, que produce grandes beneficios a ambos después de la Guerra Mundial.

Desde entonces se han utilizado las microondas en muchas aplicaciones, una de ellas muy conocida en la actualidad es la de los hornos. Su funcionamiento se basa en el hecho de que la radiación electromagnética de muy alta frecuencia tiene mucha energía, por lo que hay una transferencia de calor muy grande a los alimentos en poco tiempo.



7.2. La aparición de la Electrónica.

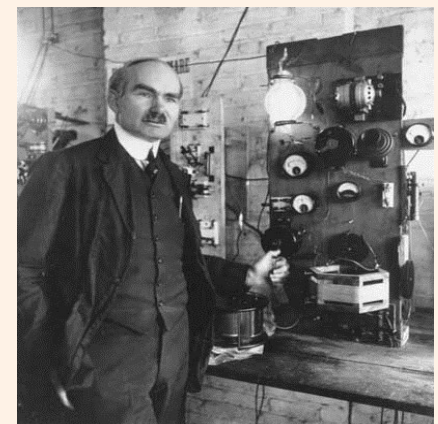
La Electrónica nace con la aparición del tubo electrónico o termoiónico, descubierto por el norteamericano Thomas Alva Edison (1847-1931) en 1883 en sus experimentos con lámparas o bombillas incandescentes. Pero Edison, muy ocupado con el perfeccionamiento de su lámpara, anota simplemente su descubrimiento del efecto termoiónico y éste permanece en el misterio hasta que en 1889 el inglés J. J. Thomson formula la teoría de que el fenómeno es debido a la emisión de electrones por el filamento caliente. En 1896, el inglés John Ambrose Fleming (1849-1945) investigando el efecto Edison crea su válvula de vacío llamada válvula o tubo Fleming, que es hoy conocido con el nombre de diodo.



Thomas Alva Edison.

En 1906 el norteamericano Lee De Forest (1873-1961) añade un tercer electrodo a la válvula de Fleming y descubre que el flujo de electrones puede ser controlado variando el potencial de este tercer elemento electrodo, que pasa a llamarse rejilla. De esta forma, en las manos de De Forest el instrumento de Fleming se convierte en un amplificador y en un rectificador y pasa a llamarse tríodo.

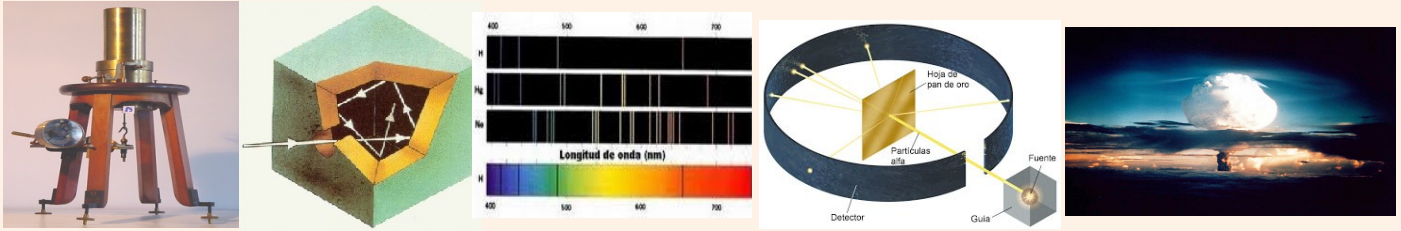
El tríodo es la base del familiar tubo de radio que pone en práctica el uso de aparatos de radio y de toda variedad de equipos electrónicos, amplificando leves señales sin distorsionarlas. En 1910 De Forest se hace con el sistema de la radiodifusión del inventor canadiense Reginald Aubrey Fessenden (1866-1932) y usa sus tríodos para radiar la voz de Enrico Caruso. En 1916 estableció una estación de radio y se dedicó a la radiodifusión de noticias. Para solventar los problemas de la baja amplificación y la capacidad entre los elementos del tríodo, se han creado otros tubos y así nacieron el tetrodo y el pentodo posteriormente.



Lee De Forest.

Los trabajos de Fessenden son la prolongación de los de Marconi en la búsqueda de la radiodifusión, y en dicho camino hay que darle a Fessenden el mérito de ser el inventor de la modulación de las ondas de radio.

En 1897 el alemán Karl Ferdinand Braun (1850-1918) modifica el tubo de rayos catódicos e inventa el oscilógrafo, por medio del cual se pueden estudiar pequeñas variaciones en corrientes eléctricas, al mismo tiempo que se construye el primer escalón de lo que posteriormente fue la televisión. Pero ésta no es la única contribución importante de Braun, pues ya en 1874 nota que algunos cristales conducen la electricidad mucho más fácilmente en una dirección que en otra, y, por tanto, podían actuar como rectificadores. Estos cristales resultaron ser esenciales para los aparatos de radio de galena, hasta que fueron reemplazados por el invento superior de las válvulas electrónicas.

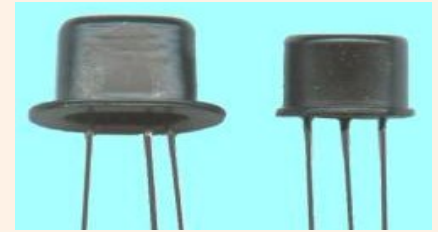


En 1947, los norteamericanos William Bradford Shockley (1910-1989), John Bardeen (1908-1991) y Walter Housser Brattain (1902-1987), de los laboratorios de la compañía Bell Telephone, conocen los trabajos de Braun de que algunos cristales sólidos pueden actuar como rectificadores y descubren cómo poder combinar los rectificadores de estado sólido, teniendo en cuenta el importante papel de ciertas impurezas. Para ello implantan dos electrodos en un cristal de germanio (elemento semiconductor) y observan el fenómeno de amplificación de la señal eléctrica, además de su capacidad para rectificar la misma, y llaman a su dispositivo transistor, puesto que transfiere (transfer) la corriente a través de una resistencia (resistor).



Bardeen, Shockley y Brattain y dos ejemplares de los primeros transistores.

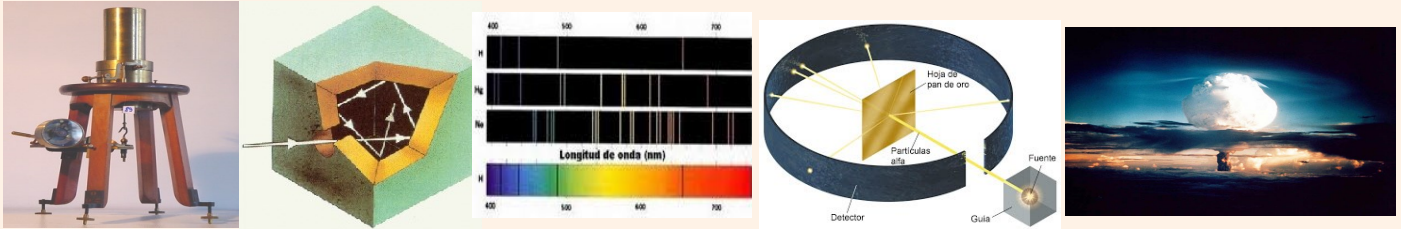
Las características fundamentales del transistor son su pequeño tamaño y el hecho de que consume mucha menos energía eléctrica que las válvulas de vacío. Sus primeras aplicaciones son militares en dispositivos como el radar, y encaja perfectamente con el programa de miniaturización de equipos militares que comienza a principios de la década de 1950. El primer transistor fabricado industrialmente lo hace la Western Electric en 1951 y a partir de entonces el transistor empieza a reemplazar al tríodo, pero lentamente ya que los primeros transistores no son muy fiables.



Transistor
 El primer uso del transistor en el ámbito civil fue en los aparatos de prótesis de audición para las personas y a continuación se difunde en los montajes eléctricos. Su divulgación entre el público se realiza a partir de 1955 cuando se integra en la construcción de los receptores de radio portátiles. En 1950 los transistores operan en un espacio de 30 cm³ con la potencia de 1.000 tubos de vacío. En 1958 la potencia llega a 1.000.000 de veces la inicial. Por otro lado, en 1953 existen 60 modelos diferentes de transistores y en 1957 hay ya más de 600. En 1960, el mercado de los transistores de germanio es del orden de los 27 millones de unidades, mientras que el de los de silicio es del orden de 1 millón de unidades.

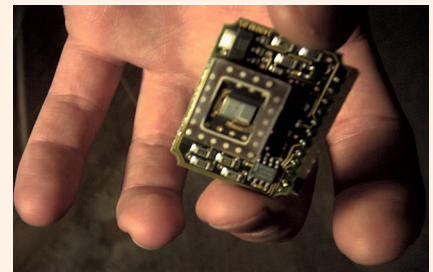
En 1952, los laboratorios Bell organizan un congreso destinado a revelar las mejoras realizadas en los métodos de fabricación y presentar los nuevos modelos de transistores, para poder así acelerar la investigación en el desarrollo del transistor. De esta forma se animan otras empresas en la investigación, se evita el crear un monopolio en el sector, y se reconoce el prestigio de los laboratorios Bell por su descubrimiento del transistor.

El resultado es que poco a poco se estandarizan las técnicas de fabricación de transistores y el producto se hace más uniforme y fidedigno y empieza a reemplazar a las válvulas o tubos electrónicos en los aparatos de radio a partir de 1955, por ser mucho más pequeños y funcionar sin necesidad de un calentamiento preliminar. El norteamericano Gordon Kidd Teal (1907-2003) deja los laboratorios Bell para trabajar en la Texas Instrument e introduce en 1954 el silicio como semiconductor. Los transistores de silicio se destinan primero en la aviación y en los misiles teledirigidos, pues son mejores que los de germanio, pero más difíciles de fabricar. En el mismo año, Shockley abandona los laboratorios Bell y funda su propia compañía y la utilización del transistor se desarrolla rápidamente.



La compañía de Shockley, la Shockley Semiconductor Laboratory establecida en la bahía de San Francisco, no tiene mucho éxito, pero tiene el acierto de que es el lugar donde recalcan un conjunto de matemáticos, físicos e ingenieros, que prosiguen con el desarrollo del transistor, lo que da lugar al circuito integrado. Uno de los científicos que abandona la Shockley Semiconductor Laboratory es el estadounidense de origen austriaco Eugene Kleiner (1923-2003), que convence al millonario Sherman Fairchild para formar la Fairchild Semiconductor en un valle de California, que termina siendo conocido como Silicon Valley y sede de las empresas de alta tecnología más importante del mundo. En Fairchild trabajan personas que luego forman empresas como Intel, National Semiconductor y Advanced Micro Devices.

Los transistores se ensamblaban en los circuitos electrónicos, pero como los clientes demandan circuitos completos, se cambia de mentalidad y sobre una placa de un material semiconductor se insertan los distintos componentes electrónicos para formar una sola pieza llamada circuito integrado o chip de forma simplificada. Así, en 1959, el norteamericano Jack Kilby (1923-2005) de la Texas Instrument patenta el primer circuito integrado con germanio como placa de semiconductor, pero no pudo ser industrializado por sus deficiencias. La solución viene de la mano del estadounidense Robert Noyce (1927-1990) de la Fairchild, que adapta la nueva técnica de fabricación de transistores planos a la producción de circuitos integrados, lo que resuelve los problemas industriales. Desde entonces se producen circuitos integrados y



El circuito integrado es una innovación comercial desarrollada por científicos en el seno de una industria, mientras que el transistor fue una invención realizada por científicos con pocas conexiones con la industria.

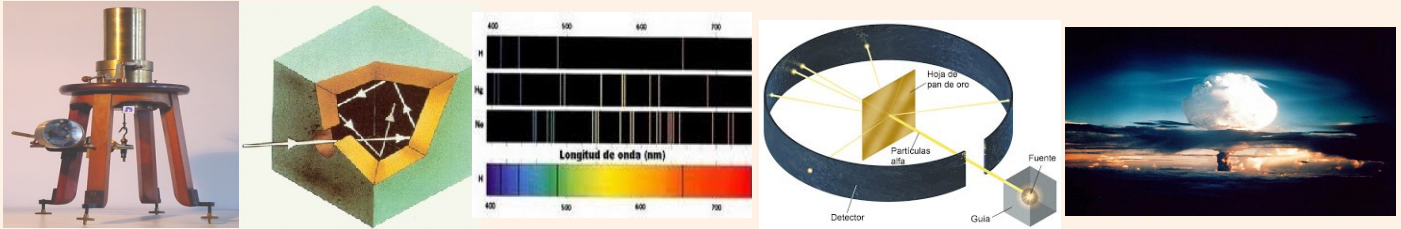


Ted Hoff. 4.500 circuitos integrados fueron fabricados en Estados Unidos en 1963 y más de 600.000 en 1971, que son el equivalente a 40 millones de transistores, lo que muestra el gran desarrollo experimentado por el sector.

con silicio como semiconductor fundamentalmente, de forma que el primer circuito integrado comercializado, en 1963, fue en una prótesis auditiva.

El siguiente paso es la miniaturización del circuito electrónico con el desarrollo del microchips y la aparición de la microelectrónica por el empuje de los militares y la necesidad de su aplicación a la conquista del espacio. Esta evolución es posible gracias al desarrollo en la década de 1960 de una nueva generación de circuitos integrados: los circuitos integrados bipolares, que son fáciles de miniaturizar, tienen poco costo de fabricación y consumen muy poca energía. Ello acelera la carrera por la miniaturización, obteniéndose resultados espectaculares de década en década hasta

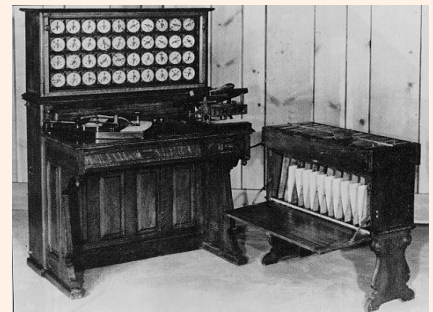
nuestros días, sobre todo por aplicación de los mismos para el tratamiento de la información, gracias al desarrollo en 1971 del microprocesador por el norteamericano Marcian Edward "Ted" Hoff (nacido en 1937) de la empresa de ordenadores Intel, que permite la invención de los microordenadores para uso por el público en general. Y todo ello gracias al desarrollo de la industria de los semiconductores, cuyo mercado mundial está dominado por Estados Unidos.



7.3. El desarrollo de los ordenadores.

El abuelo del ordenador moderno es el matemático inglés Charles Babbage (1792-1871), quien en 1822 empezó a especular con la posibilidad de usar máquinas para la determinación de cálculos. Pascal y Leibniz habían realizado máquinas calculadoras, pero Babbage pensó en algo más complicado e ideó una máquina que funcionaba por medio de fichas perforadas, que ya tuviesen contestaciones parciales a fin de evitar operaciones adicionales posteriores y que pudiesen imprimir los resultados. Abreviando, proyectó los principios básicos que guían a los ordenadores modernos pero teniendo solo dispositivos mecánicos para hacerlas funcionar.

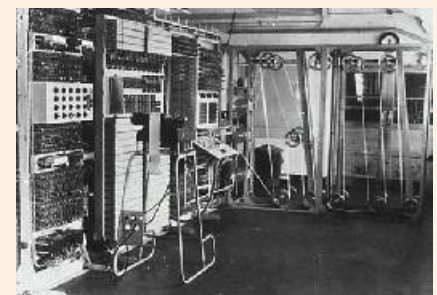
En la década de 1880, el estadounidense Herman Hollerith (1860-1929) usa un sistema de tarjetas perforadas sobre contactos eléctricos para procesar datos y consigue compilar la información estadística para el censo de población de 1890 de Estados Unidos. Fundó una empresa para producir máquinas electromecánicas de contabilidad, que en 1924 se transformó en la Business Machines Corporation o IBM, que se dedicó a la fabricación de ordenadores analógicos, que realizaban los cálculos mediante ejes y engranajes giratorios con sistemas mecánicos y eléctricos.



Tabulador de Hollerith.

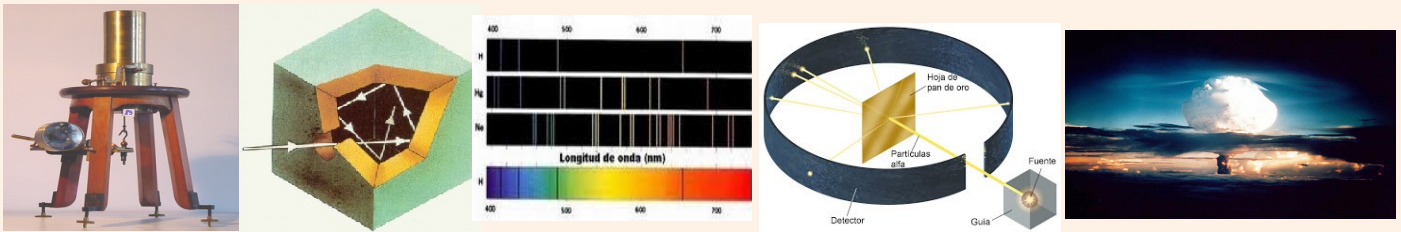
En 1925 el ingeniero norteamericano Vannevar Bush (1890-1974) construye el primer ordenador analógico y en 1946 participó en la construcción del primer ordenador electrónico, el ENIAC. Durante la Segunda Guerra Mundial, un equipo de científicos británicos crearon lo que se consideró el primer ordenador digital totalmente electrónico: el Colossus. Hacia diciembre de 1943 el Colossus, que incorporaba 1.500 válvulas o tubos de vacío, era ya operativo. Fue utilizado por el equipo dirigido por el matemático inglés Alan Turing (1912-1954) para descodificar los mensajes de radio cifrados de los alemanes.

El primer ordenador electrónico ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) comenzó a desarrollarse en 1943, pero no fue una realidad práctica hasta 1946, y para aplicaciones militares. El ENIAC es debido a los estadounidenses John Mauchly (1907-1980) y John Eckert (1919-1995). Tenía 18.000 válvulas de vacío y consumía mucha electricidad. Era mucho más veloz que los ordenadores anteriores electromecánicos, pero su programa estaba conectado al procesador y debía ser modificado manualmente, además de que operaba con un sistema decimal y no binario como los ordenadores actuales.



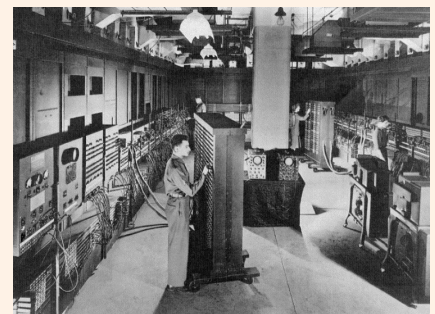
Colossus de Alan Turing.

En 1945, el matemático estadounidense, de origen húngaro, John von Neumann (1903-1957) introduce el concepto de programa almacenado, que permite la lectura de un programa dentro de la memoria del ordenador y después la ejecución de las instrucciones del mismo sin tener que volverlas a escribir.



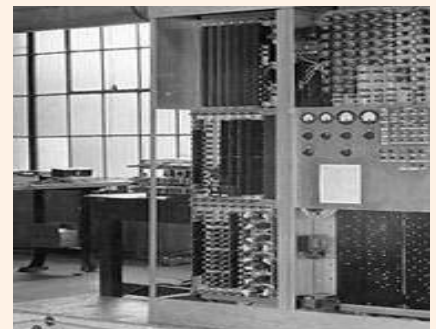
John von Neumann junto con Mauchly y Eckert, y, antes de la puesta en funcionamiento del ENIAC, se ponen a trabajar en un nuevo ordenador, llamado EDVAC, cuyo diseño es de 1946. Tenía 4.000 tubos de vacío y usaba un tipo de memoria basada en tubos llenos de mercurio por donde circulaban señales eléctricas sujetas a retardos. Los programas almacenados dan a los ordenadores una gran flexibilidad, pues se pueden utilizar para varias aplicaciones, cargando y ejecutando el programa apropiado, y usando el código binario, se hacen más rápidos y menos sujetas a errores que los programas mecánicos. A partir de la EDVAC, el equipo de Mauchly y Eckert construyen en 1951 el primer ordenador comercial, UNIVAC 1, con mil palabras de memoria central, leía cintas magnéticas y se utilizó para procesar el censo de 1950 de Estados Unidos.

En 1948 el norteamericano Norbert Wiener (1894-1964) tras interesarse por el desarrollo de la base matemática de la comunicación de la información y del control de un sistema como búsqueda de dicha comunicación, publica "Cybernetics". Su palabra cibernética surge del término griego piloto y el desarrollo de la cibernética lleva a la construcción de ordenadores donde los mecanismos electrónicos, más rápidos, sustituyen a los mecánicos.



ENIAC.

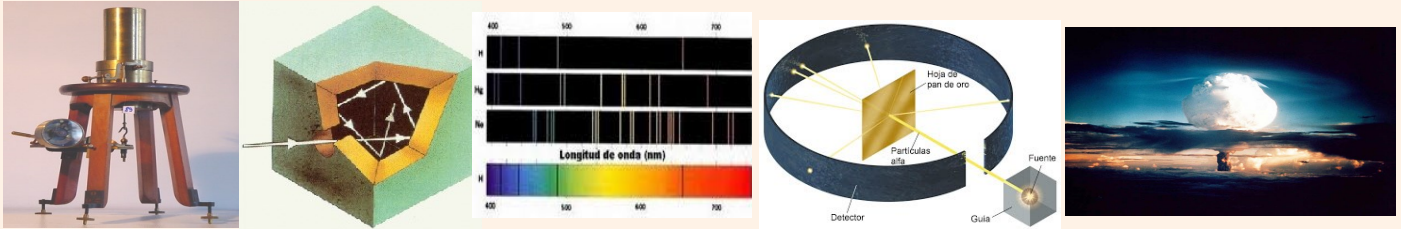
El invento del transistor hace posible una generación de ordenadores, más pequeños, más rápidos y más versátiles que las máquinas con válvulas. Además, en 1957 el japonés Leo Esaki (nacido en 1925) descubre el diodo de efecto túnel, mucho más pequeño y más rápido que el diodo semiconductor normal y da origen a que se abra el camino hacia la miniaturización. Gastan menos energía, tienen un sistema de fabricación más barato y se programan en nuevos lenguajes, entre los que destaca el COBOL, descubierto en 1952 por la norteamericana Grace Murray Hopper (1906-1992) y en 1957 el norteamericano John Backus (1924-2007), trabajando para la IBM, desarrolla el FORTRAN.



EDVAC.

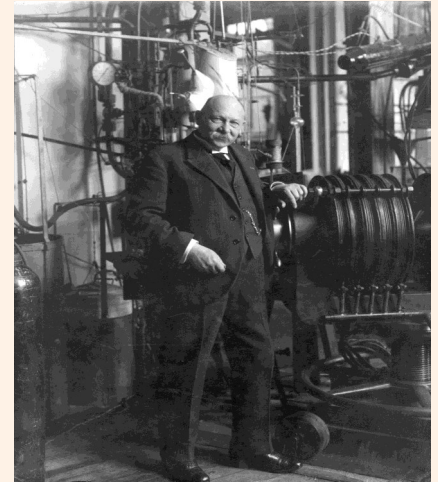
En la memoria de la EDVAC coexistían los datos con las instrucciones, y el ordenador podía programarse en un lenguaje de máquina por medio de tarjetas perforadas, y no por medio de alambres que eléctricamente interconectaban varias secciones de control, como en el ENIAC.

Con el desarrollo del circuito integrado surge la siguiente generación de ordenadores, que se inaugura con el IBM 360 en 1964. Los ordenadores se hacen nuevamente más pequeños y más rápidos y aparece una nueva generación en la década de 1970 con la utilización del microprocesador, formado por circuitos integrados de alta densidad, y el uso de transistores de memoria, que reemplazan a las memorias con núcleos magnéticos. La miniaturización de los circuitos electrónicos y el tamaño reducido del microprocesador hace posible la creación del microordenador u ordenador personal (PC) en 1976 por los norteamericanos Stephen Wozniak (nacido en 1950) y Steve Jobs (1955-2011), que fundan en dicho año la compañía Apple Computer. En las décadas siguientes se inicia una aventura fantástica sobre el almacenamiento y procesamiento de información.



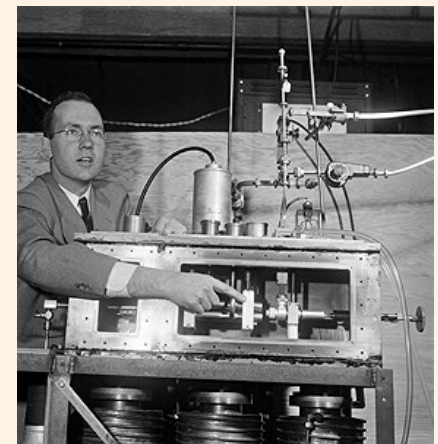
7.4. Otras ramas de la Física Experimental.

Una de ellas es la llamada Física del estado sólido, que se desarrolla a partir del invento del criotrón en 1953 en el Massachusetts Institute of Technology, que consiste en la producción del fenómeno de la superconductividad en dos cables enroscados a la temperatura del helio líquido. La superconductividad fue descubierta, en 1911, por el holandés Heike Kamerlingh-Onnes (1853-1926), al observar que la resistencia eléctrica del mercurio desaparece bruscamente al enfriarse a 4 K, cuando lo que se esperaba era que disminuyera gradualmente hasta el cero absoluto y en sus experimentos de licuación del helio estudió las propiedades de ciertos metales como el plomo o el mercurio a la temperatura del helio líquido. El criotrón permite el uso de pequeñas corrientes eléctricas dentro de semiconductores sólidos y posibilita el nacimiento subsiguiente de la Microelectrónica.



Heike Kamerlingh-Onnes.

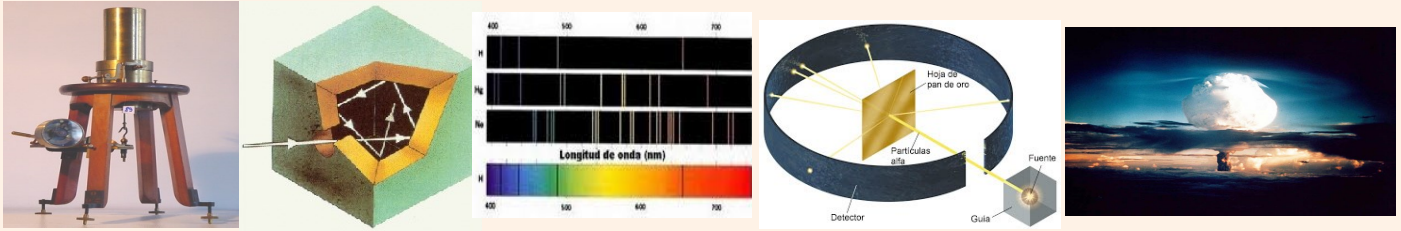
Otra contribución al desarrollo de la Física Experimental es el láser, cuya historia hay que buscarla en los trabajos del norteamericano Charles Hard Townes (nacido en 1915), quien en diciembre de 1953 acabó junto con sus alumnos un dispositivo denominado máser, destinado a generar ondas de microondas de gran intensidad, pero en vez de utilizar un circuito electrónico usó un dispositivo basado en el dominio de las vibraciones moleculares.



Charles Hard Townes.

En 1957 Townes empieza a especular sobre la posibilidad de inventar un máser que produjese luz infrarroja o visible en lugar de microondas, pero es el norteamericano Theodore Harold Maiman (1927-2007) el que lo logra al llevar a buen término la idea de Townes, y en 1960 construye el primer láser o máser óptico de cristal de rubí rosa que produce la luz de mayor coherencia hasta entonces conocida y asimismo la más monocromática, lo que abre unas grandes perspectivas de futuro dentro de la Óptica y da origen al nacimiento de la Óptica Electrónica.

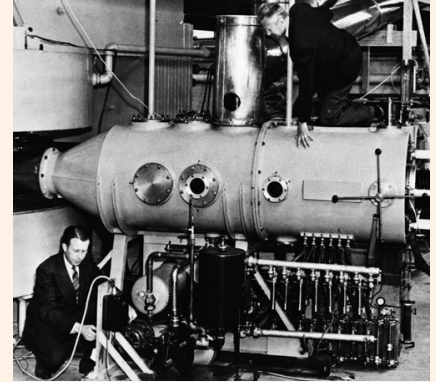
Otro campo de la Física Experimental es el invento de la fibra óptica por el estadounidense de origen hindú Narinder Singh Kapany (nacido en 1926), sobre la base de los trabajos del siglo XIX del físico irlandés John Tyndall (1820-1893), que demostraban que la luz viaja dentro de un material aprovechando las reflexiones internas en éste y en 1954 Kapany publica un artículo en la revista Nature, que supone el gran impulso para el desarrollo de la fibra óptica y en el que describe como había sido capaz de conducir un haz de luz a través de un conjunto de múltiples fibras de 75 cm de largo con bajas pérdidas, dando el gran salto pues, hasta esa fecha, se había frustrado todos los intentos de conducción de luz bajo un soporte físico que pudiese ser curvado.



8. En busca de la elementalidad.

La evolución del conocimiento del núcleo atómico ha dado lugar a la producción de nuevos elementos químicos artificiales. El primero de ellos fue el elemento químico 94, plutonio, descubierto en 1940 y sustituto del uranio en los artefactos nucleares, y en los años siguientes aparecen más.

Aunque el camino por la búsqueda de elementos químicos más pesados ha continuado, el interés por la búsqueda de partículas subnucleares es mucho más importante y el número tan elevado de ellas que se ha encontrado hace que se haya necesitado poner orden en esta tarea. El proceso del descubrimiento de nuevas partículas está directamente ligado con la obtención de proyectiles atómicos con la suficiente energía cinética para que sirvan para destruir núcleos atómicos y mejorar su conocimiento.



Lawrence, con su ciclotrón.

El descubrimiento de la radiactividad artificial permitió obtener proyectiles con la suficiente energía cinética-. Pero, además, para conseguir proyectiles atómicos muy rápidos es preciso acelerar los mismos hasta velocidades muy altas, mediante aceleradores de partículas.

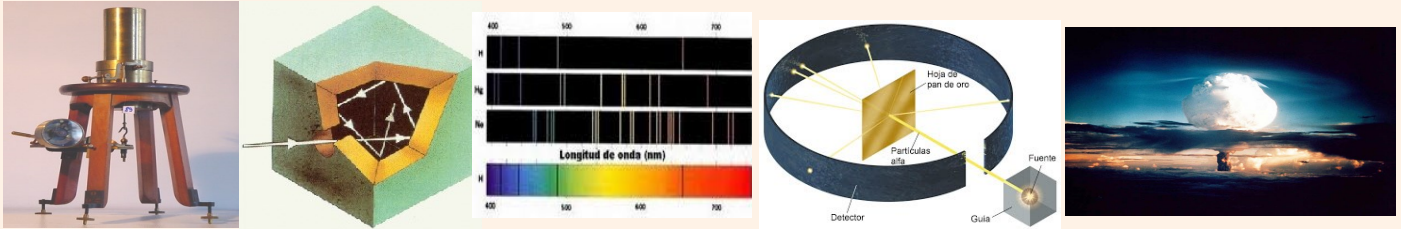
Los primeros aceleradores de partículas eran lineales y trataban de comunicar un enorme empuje a las partículas, aplicando grandes diferencias de potencial, pero el norteamericano Ernest Lawrence pensó que era mejor conseguir que dichas partículas se moviesen en círculos comunicando un pequeño empuje cada vez que dieran una vuelta, de forma que describiesen una trayectoria en espiral, con lo que al final del recorrido podían haber almacenado una gran cantidad de energía y así aparece el ciclotrón, por el que recibe la patente en 1934.

Como la energía disponible en los aceleradores convencionales que emplean blancos fijos es demasiado limitada, ha sido preciso dar otro paso y construir aceleradores de colisión de haces, llamados colisionadores. El concepto del colisionador es sencillo: partículas de igual masa y energía cinética, viajando en sentidos opuestos en un anillo acelerador, colisionan frontalmente para provocar la reacción requerida y la formación de nuevas partículas. El acelerador LEP del CERN (Centro Europeo para la Investigación Nuclear de Ginebra) era un colisionador de electrones y positrones y el nuevo LHC del CERN es un colisionador protón-protón, que origina energías del orden del rango de los TeV.



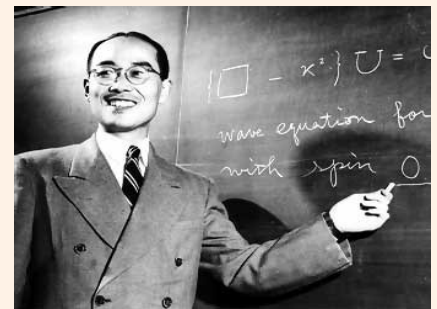
Interior del túnel del LHC.

Desde 2008, el acelerador más grande del mundo es el LHC, que está construido sobre el anillo de 27 km de circunferencia enterrado a cerca de 100 m de profundidad, que servía para el funcionamiento del anterior acelerador, el LEP y ya desmontado.



La aplicación de la Mecánica Cuántica a las partículas subatómicas en la década de 1930 produce el desarrollo de teorías de simetría y de conservación de la paridad, en las que tiene un gran protagonismo el norteamericano de origen húngaro Eugene Paul Wigner.

Dos décadas más tarde, el descubrimiento de nuevas partículas ocasiona un problema, el de la caída de la ley de conservación de la paridad, lo que es debido a los físicos chinos de Taiwán Tsung-Dao Lee (nacido en 1926) y Chen Ning Yang (nacido en 1922), que demuestran que dicha ley no es aplicable a ciertas reacciones nucleares, y ello origina un golpe tremendo, de forma que se puede afirmar que el derrocamiento de la paridad destruye uno de los postulados básicos de la Mecánica Cuántica y marca el comienzo de una problemática que aún no ha terminado.

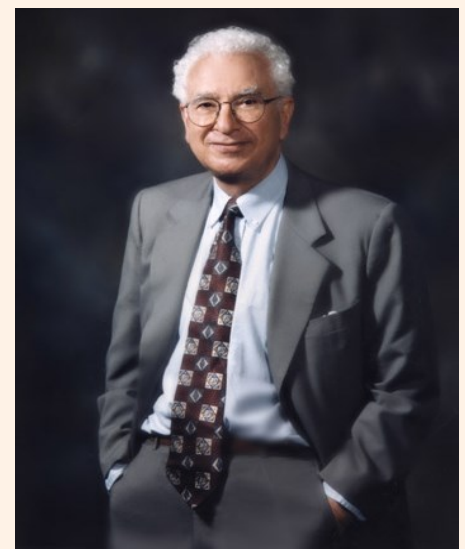


Hideki Yukawa.

En la carrera por la búsqueda de la elementalidad fue muy importante:

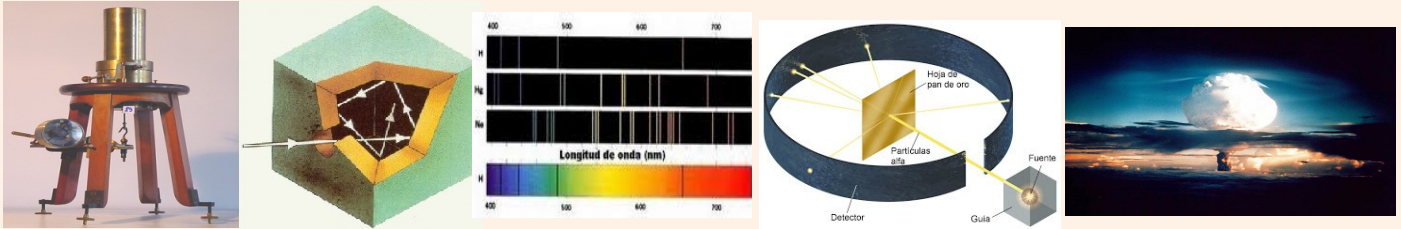
- a) El conocimiento de las cuatro interacciones de la Naturaleza: la fuerte, la electromagnética, la débil y la gravitatoria.
- b) El descubrimiento del positrón, lo que da origen al desarrollo del estudio de las partículas y sus antipartículas y a los procesos de creación y aniquilación de pares, por lo que actualmente existen más partículas elementales que elementos químicos.

La Teoría Cuántica de Campos interpreta las interacciones existentes en términos de un intercambio entre partículas. Así, la interacción fuerte o fuerza nuclear fuerte es responsable de la estabilidad del núcleo atómico y es justificada por el japonés Hideki Yukawa en su modelo nuclear de 1935, que explica la naturaleza de las fuerzas nucleares fuertes haciendo uso de una partícula, el mesón, cuya masa se sitúa entre los valores de protón y electrón como medio de intercambio, que explica la interacción entre cargas eléctricas por medio del intercambio de fotones. En 1962, el norteamericano Murray Gell-Mann (nacido en 1929) considera que la partícula que debe admitirse como intermediario de la interacción fuerte es el gluón.

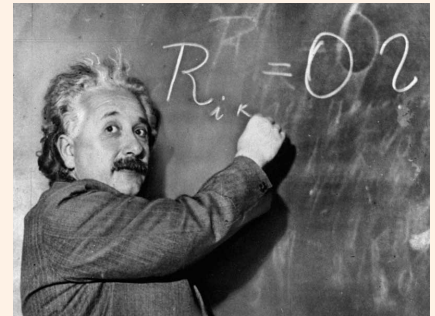


Murray Gell-Mann.

La interacción débil o fuerza nuclear débil es responsable de la desintegración beta. En 1934, Enrico Fermi propone que debería existir una fuerza que no fuese la electromagnética, ni la gravitatoria que mediara en los procesos radiactivos, esta es la interacción débil. Hasta 1967 se creía que esta fuerza era independiente de la electromagnética y la gravitatoria pero en ese año el norteamericano Sheldon Glashow (nacido en 1932), el pakistaní Abdus Salam (1926-1996) y el norteamericano Steven Weinberg (nacido en 1933), describen la teoría electrodébil, que explica la existencia de la fuerza nuclear débil.



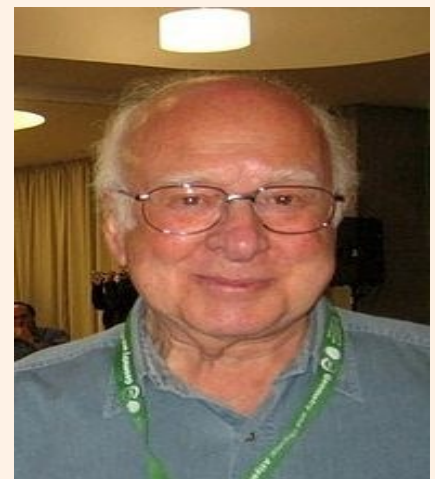
El intermediario de la fuerza electromagnética es el fotón. Los transmisores de la interacción débil son los bosones W y Z y para la interacción gravitatoria se ha propuesto como intermediario el gravitón. En cuanto a la existencia de un modelo nuclear para interpretar el comportamiento del núcleo en base a las interacciones y a las partículas existentes, hay que decir que aunque la aplicación de la Física Cuántica supone la existencia de una estructura nuclear que permite la justificación de niveles nucleares cuánticos, es una cuestión no resuelta y de la que queda camino por recorrer, al carecer todavía de una auténtica teoría nuclear.



La posible unión de las cuatro fuerzas de la naturaleza en una teoría unificadora es un sueño que, pese al intento de Albert Einstein, parece que es algo que no es aún posible.

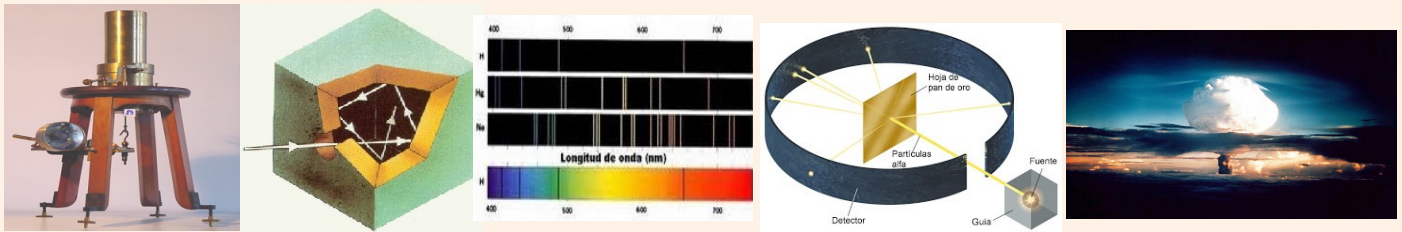
En el estudio de la relación de las partículas elementales y sus interacciones, como toda interacción se realiza en forma de intercambio de partículas, se persigue una posible unión de las cuatro fuerzas de la naturaleza en una teoría unificadora. La unificación del electromagnetismo y la interacción débil se ha realizado dentro de la teoría electrodébil y a muy altas energías y se dispone ya de una idea de cómo realizar la unificación de la interacción electrodébil y la fuerte dentro del marco del modelo estándar de física de partículas, cuyas bases son sentadas en 1954 por el chino-norteamericano Chen Ning Yang (nacido en 1922) y el norteamericano Robert Mills (1927-1999) y es la teoría estructural que sirve en la actualidad para el estudio de las partículas elementales y sus interacciones y es consistente con la Mecánica Cuántica y la Relatividad Especial.

En 1964 el inglés Peter Higgs (nacido en 1929) predice de forma teórica la partícula bosón de Higgs, que desempeña un papel dominante dentro del modelo estándar para explicar los orígenes de la masa de otras partículas elementales. Ningún experimento había detectado la existencia del bosón de Higgs hasta el anuncio del CERN el 4 de julio de 2012 del hallazgo de una partícula compatible con las propiedades del bosón de Higgs, pero aún falta ver si esta partícula cumple las características predichas del bosón de Higgs dadas por el modelo estándar.



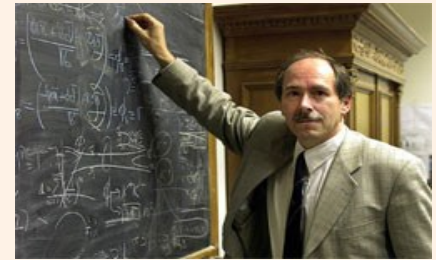
Peter Higgs.

Hasta la fecha, las pruebas experimentales de las tres fuerzas descritas por el modelo estándar están de acuerdo con sus predicciones. Sin embargo, el modelo estándar no alcanza a ser una teoría completa de las interacciones fundamentales debido a que no incluye la interacción de la gravedad, y debido también al número elevado de parámetros numéricos que se deben utilizar, en vez de derivarse a partir de primeros principios. No obstante, la unificación de las interacciones electrodébil y fuerte con la gravedad resulta casi imposible, pues dicha unificación necesitaría de un acelerador que proporcionase una energía del orden de la existente cuando se originó el Universo en el Big Bang, y ello aún no es previsible.



Por otro lado, dado que el número de partículas obtenido es muy elevado, es lógico pensar que es imposible que todas estas partículas sean elementales, lo que da origen a la tarea de tratar de buscar los componentes elementales de las partículas y a la aparición del término quark en 1964 por Murray Gell-Mann y el ruso nacionalizado norteamericano George Zweig (nacido en 1937).

En la formulación inicial de estos dos científicos existían tres clases de quarks. En 1974 la observación de una nueva serie de partículas encajaba satisfactoriamente con la explicación por la existencia de un cuarto quark, y otra serie de descubrimientos de partículas a partir de 1977 da pie a la formulación de un quinto y un sexto quark, además de que cada quark tiene su antiquark, lo que da origen a una completa formulación sobre los quarks. En la actualidad no hay duda de la existencia experimental de los quarks, siendo éste un campo actual de investigación de la Física Teórica.

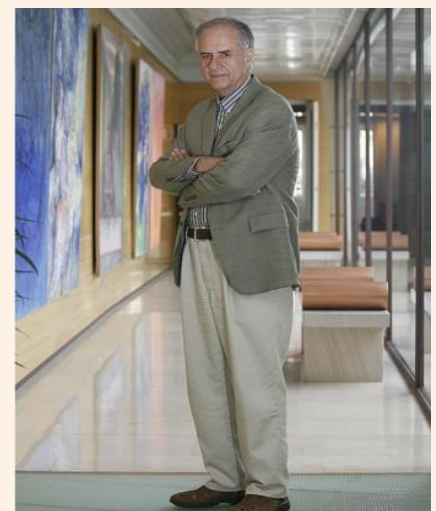


Gerardus 't Hooft.

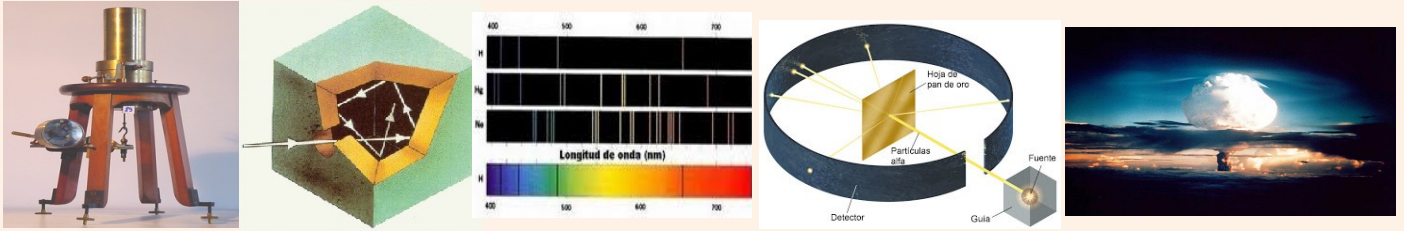
Una partícula que se muestra escurridiza es el monopolio magnético. Dirac introdujo en 1931 el monopolio magnético como solución para afianzar la simetría existente entre la Electricidad y el Magnetismo, plasmada en las ecuaciones de Maxwell del Electromagnetismo. El monopolio magnético no sólo cumpliría a la perfección dicho cometido, sino que además explicaría por qué las cargas eléctricas de todas las partículas son múltiplos de la del electrón, una observación empírica de enorme exactitud que hasta el momento no ha sido explicada de forma satisfactoria.

En 1974, el holandés Gerardus 't Hooft (nacido en 1946) y el ruso Alexander Polyakov (nacido en 1945) muestran independientemente que de la Teoría del Campo Unificado puede deducirse que los monopolos magnéticos deben existir. De la teoría del Big Bang se deduce que en los primeros momentos del Universo (en los primeros 10⁻³⁴ segundos) debieron formarse monopolos magnéticos en grandes cantidades, los cuales se aniquilaron poco después y sólo sobrevivió un cierto número.

El 14 de febrero de 1982 en un laboratorio de la Universidad de Stanford, el físico norteamericano de origen español, Blas Cabrera (nacido en 1946), nieto del notable físico español Blas Cabrera, en un experimento basado en una bobina superconductor mantenido cerca del cero absoluto aparentemente logró detectar la pasada fortuita de un monopolio magnético. Sin embargo, no se ha podido repetir la medición, lo que puede deberse a la bajísima probabilidad de encontrar uno por puro azar. Si se confirma el hallazgo de Cabrera con nuevas y más precisas detecciones, las implicaciones que encierran son inmensas, pues los grandes esfuerzos que se están dirigiendo a la construcción de una gran teoría unificadora de las fuerzas de la naturaleza verían en ello un gran apoyo. En cualquier caso, la búsqueda de la elementalidad prosigue su marcha.

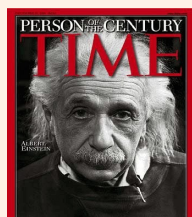


Blas Cabrera nieto.



9. Actividades.

1. ¿Qué tienen en común la Revolución Relativista y la Revolución Cuántica?
2. ¿Cuál fue la contribución fundamental de Planck al desarrollo de la Física?
3. ¿Qué se expresa con la frase de que la Teoría de la Relatividad es una teoría determinista?
4. Explica en qué consiste la idea de la porosidad del átomo de Philipp Lenard.
5. Explica el significado del siguiente texto escrito por Albert Einstein: “Estos cincuenta años de reflexión concienzuda no me han llevado más cerca de la respuesta a la pregunta, ¿qué son los cuantos de luz? Hoy día todo Juan, Pepe o Pancho creen que sabe, pero están equivocados. Sigo creyendo en la posibilidad de construir un modelo de la realidad, es decir, de una teoría que represente las cosas en sí mismas y no sólo la probabilidad de su ocurrencia”.
6. ¿Qué expresa la Teoría Cuántica Antigua y cuáles son las tres escuelas de la Teoría Cuántica?
7. ¿A qué se llaman Conferencias Solvay?
8. ¿Qué son las variables ocultas?
9. ¿Para qué se utiliza un acelerador de partículas?
10. ¿Qué importante descubrimiento realizaron Otto Hahn y Fritz Strassman?
11. Explica el sentido del siguiente texto: “En 1939 Einstein y otros físicos envían una carta al presidente Roosevelt, solicitando el desarrollo de un programa de investigación que garantizara el liderazgo de los aliados en la construcción del arma atómica. Múltiples científicos concurren a la convocatoria del Proyecto Manhattan, para producir el arma atómica antes de que el eje nazifascista pudiera obtenerla. Al finalizar la guerra, la mayoría de estos científicos mostraron oposición a la continuación de las investigaciones en el arma nuclear”.
12. ¿Quién fue Konstantín Tsiolkovsky?
13. ¿Por qué hechos en el campo de la astronomía es reconocido Edwin Hubble?
14. Explica la relación que hay entre el conocimiento del cosmos y el desarrollo de los cohetes.
15. ¿Por qué se afirma que el estudio de los semiconductores es consecuencia del avance en el desarrollo del radar?
16. Elabora una redacción con las ideas que te proporcionen las siguientes cinco fotografías:



17. ¿A qué se refieren los términos ENIAC y EDVAC?