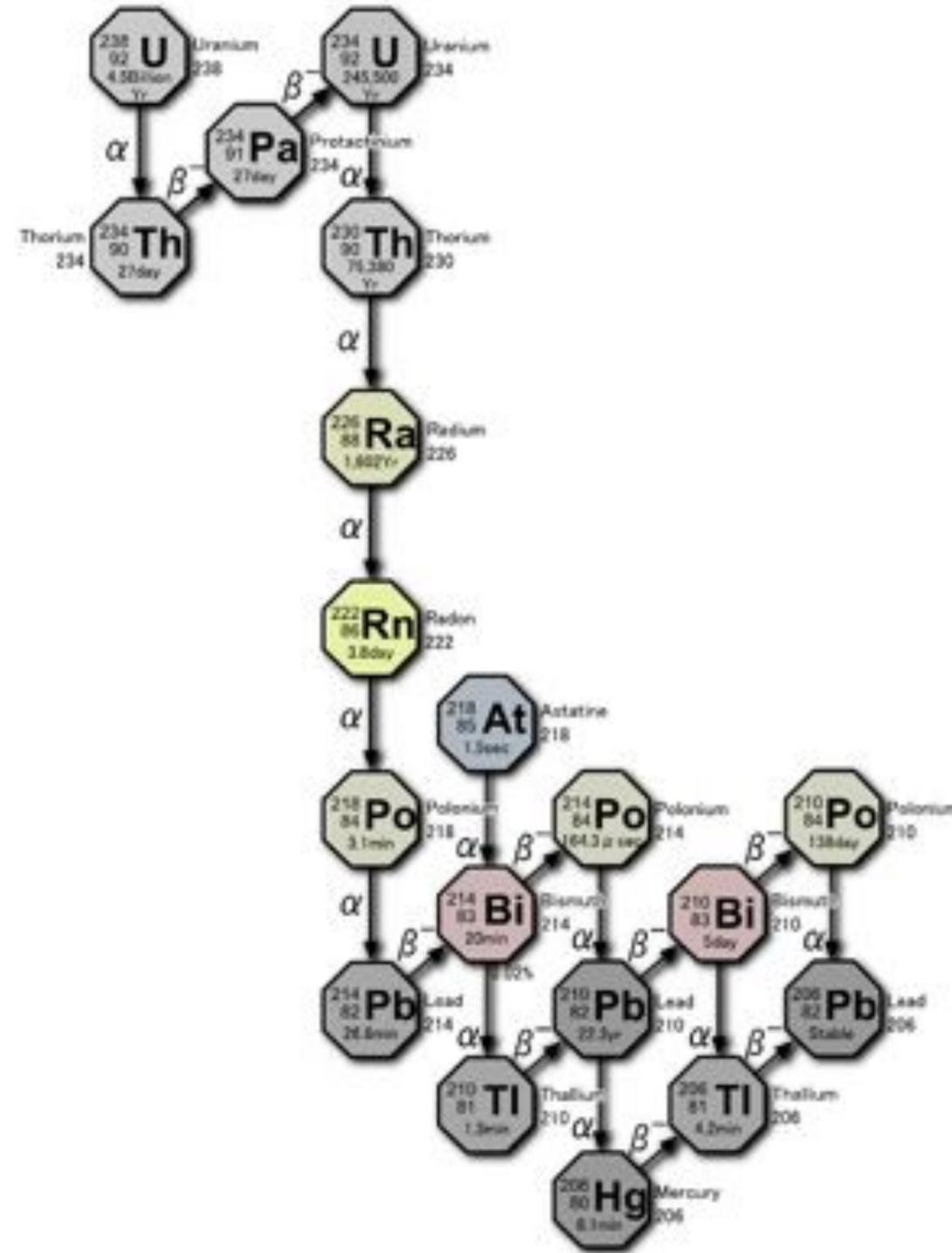


María Slodowska-Curie

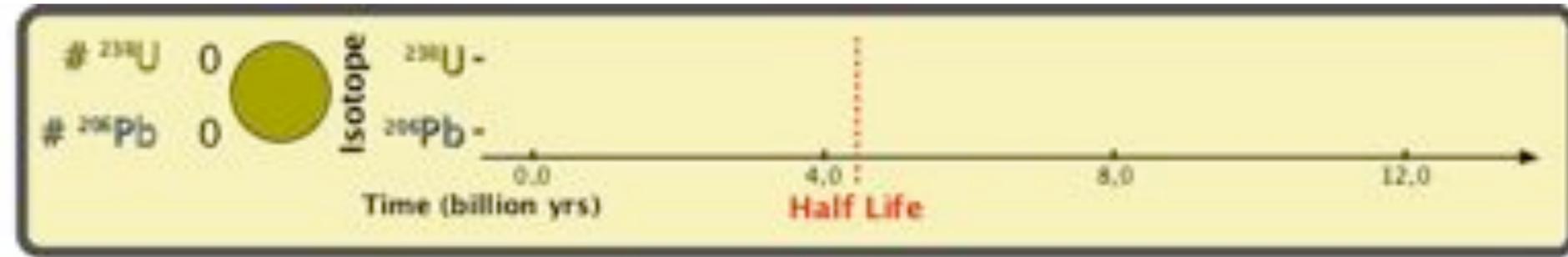


Desintegración radiactiva. Uranio 238.

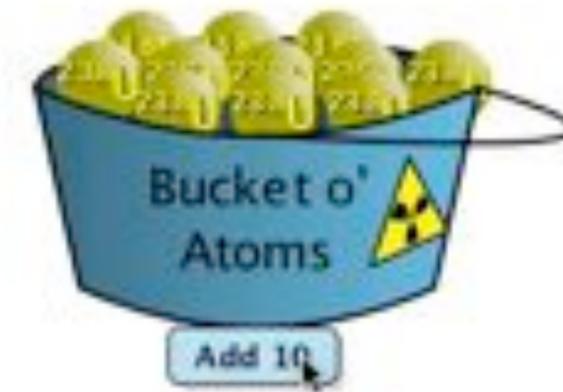
María Slodowska-Curie

Desintegración radiactiva. Uranio 238 .

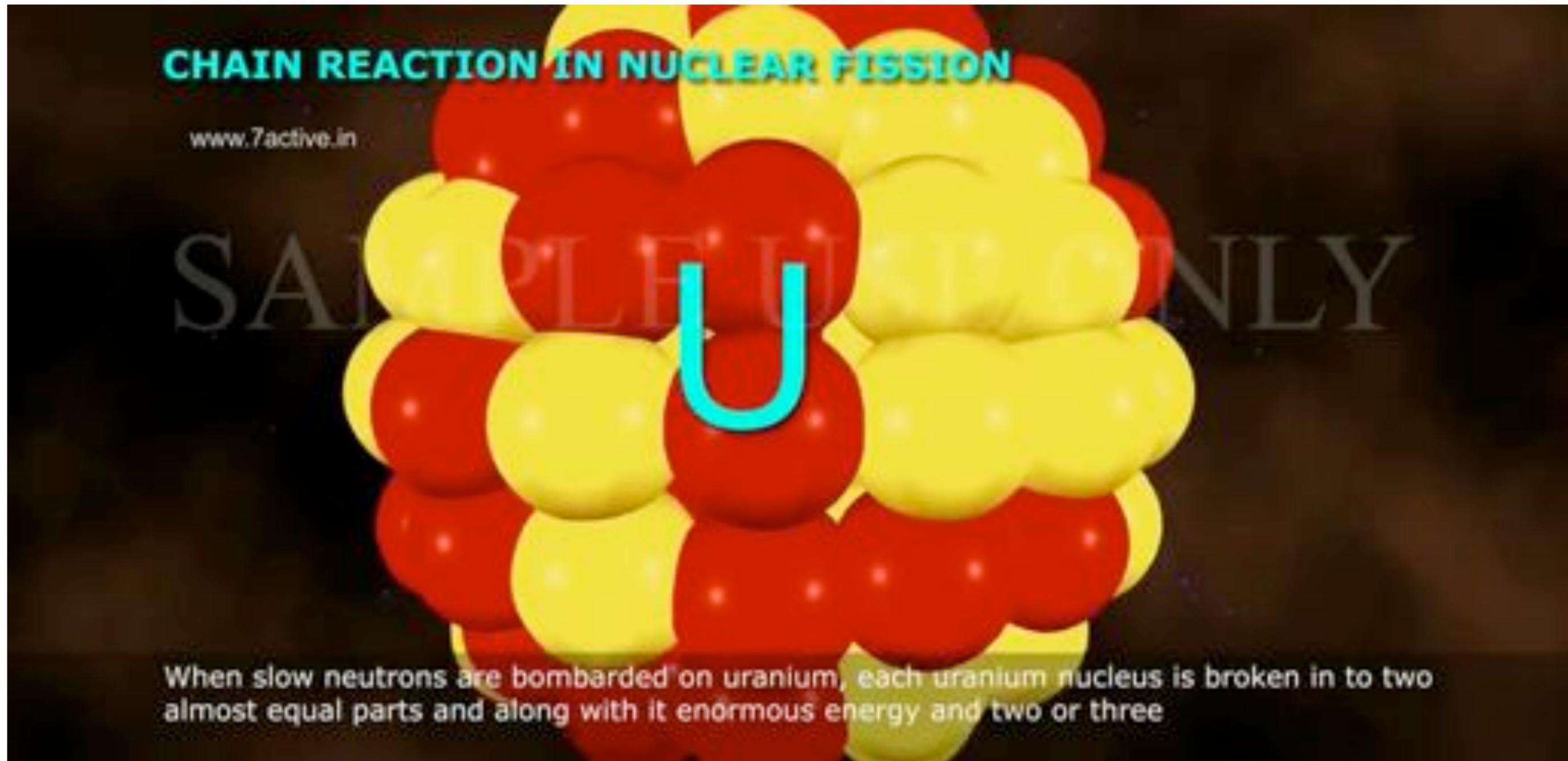
El Uranio 238 se va desintegrando hasta acabar en plomo, que ya es estable.



Reset All Nuclei

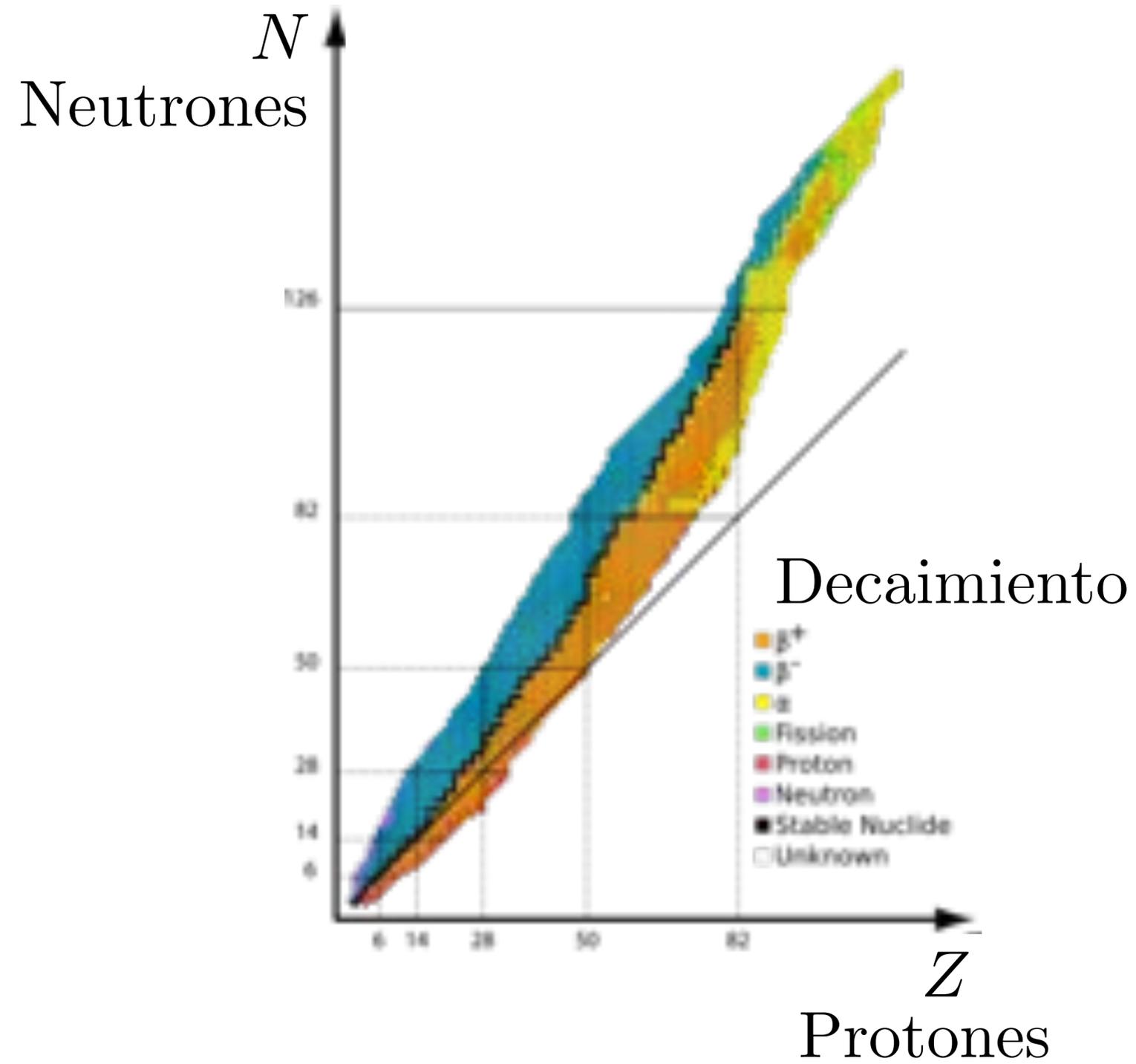


Reacción en cadena

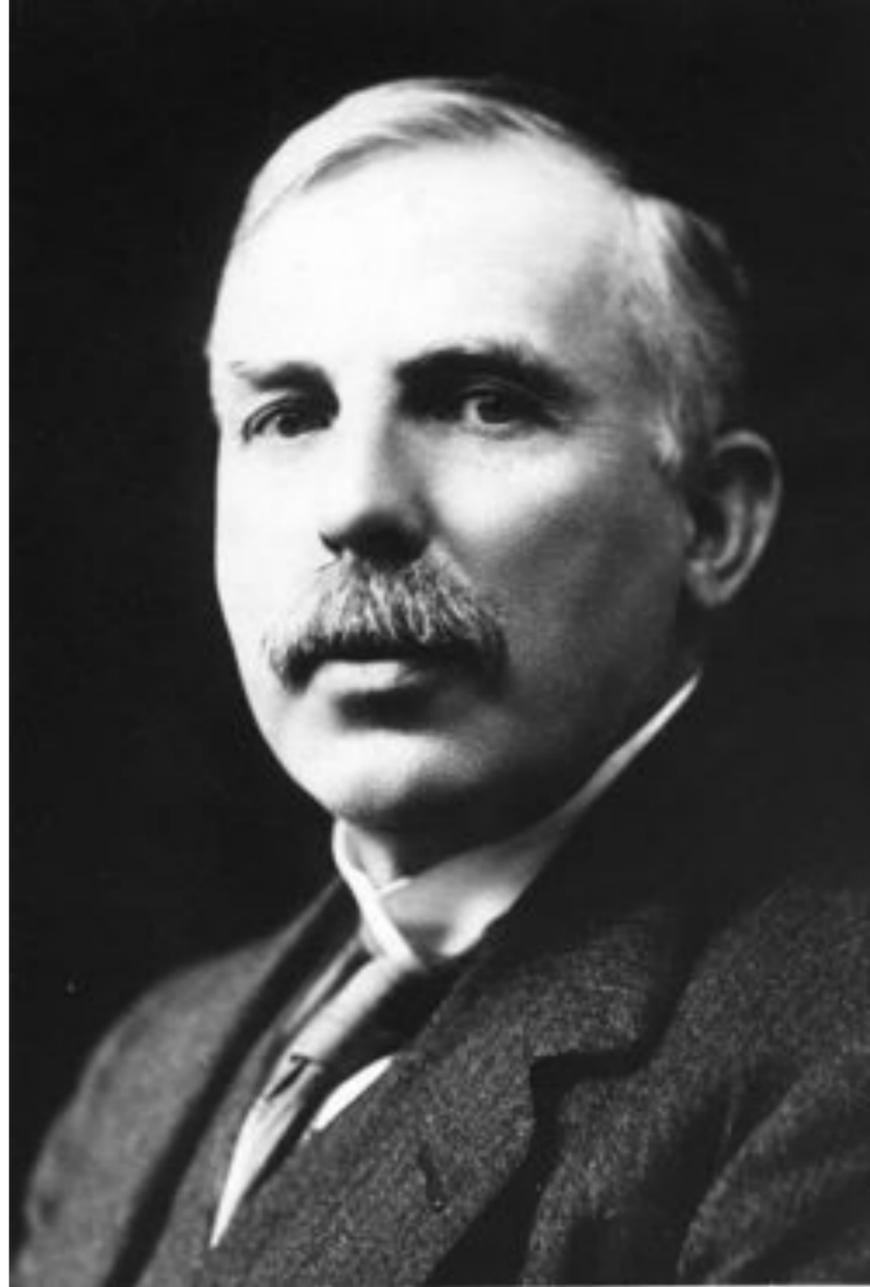


Cuando un núcleo bombardeado que se desintegra produce más neutrones que los que recibe, se produce una reacción en cadena.

Núcleos estables e inestables



Ernest Rutherford



(Nelson, Nueva Zelanda, 1871-Londres, 1937) Físico y químico británico. En 1919 sucedió al propio Thomson como director del Cavendish Laboratory de la Universidad de Cambridge.

Según su modelo atómico, en el átomo existía un núcleo central en el que se concentraba la casi totalidad de la masa, así como las cargas eléctricas positivas, y una envoltura o corteza de electrones (carga eléctrica negativa). Además, logró demostrar experimentalmente la mencionada teoría a partir de las desviaciones que se producían en la trayectoria de las partículas emitidas por sustancias radioactivas cuando con ellas se bombardeaban los átomos.

Asimismo, logró la primera transmutación artificial de elementos químicos (1919) mediante el bombardeo de un átomo de nitrógeno con partículas alfa.

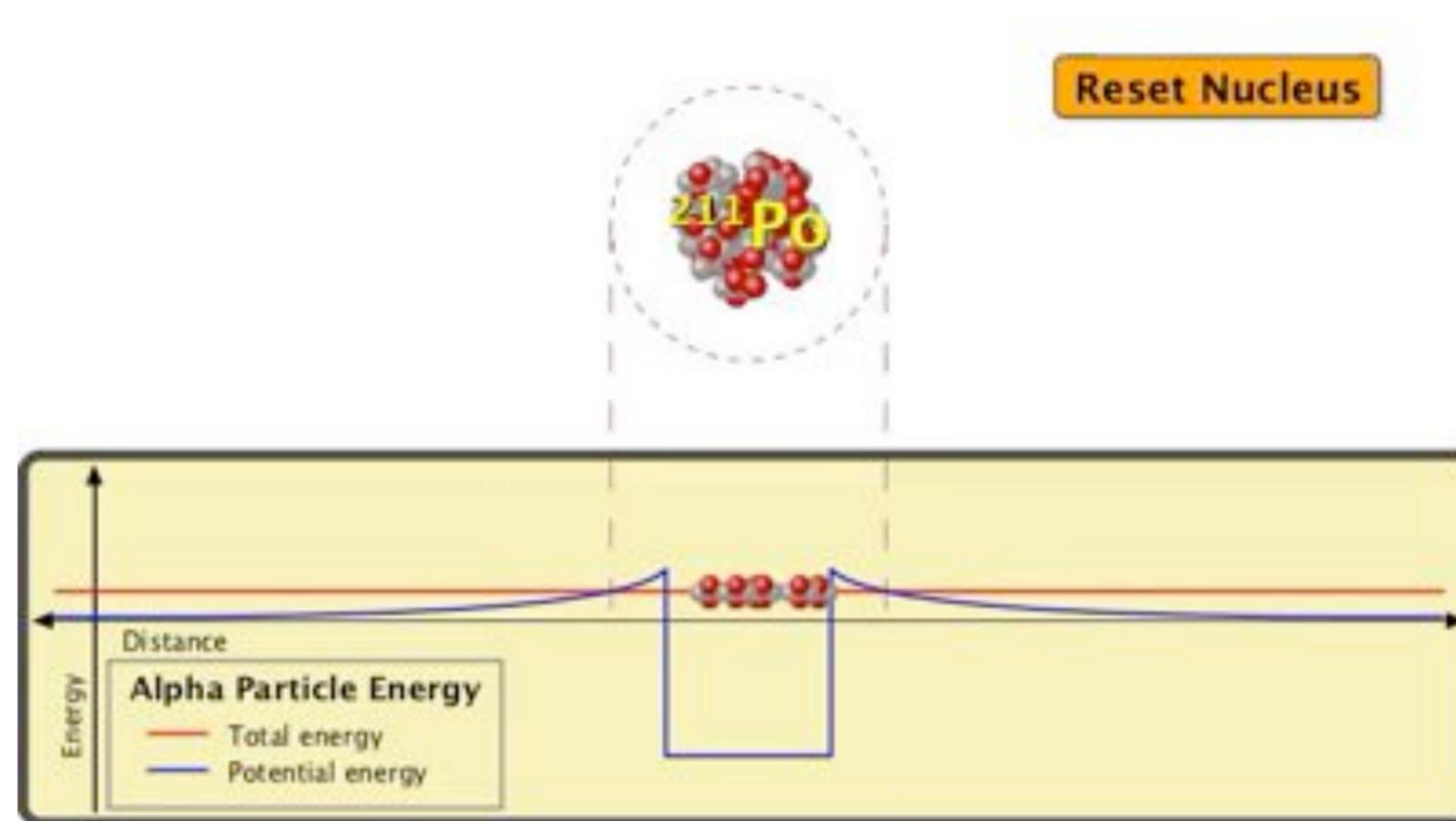
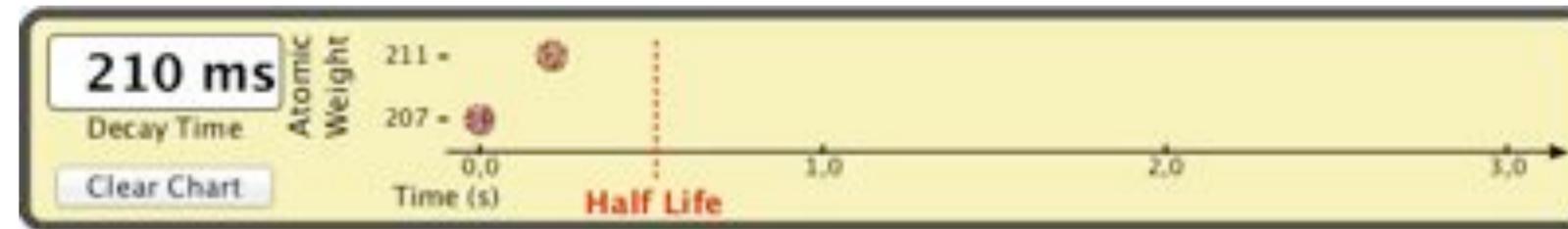
Rutherford recibió el **Premio Nobel de Química de 1908** en reconocimiento a sus investigaciones relativas a la desintegración de los elementos. A su muerte, sus restos mortales fueron inhumados en la abadía de Westminster.

Rutherford

Desintegración alfa.

Un núcleo excitado emite una partícula alfa, dos protones y dos neutrones (núcleo de Helio-4).

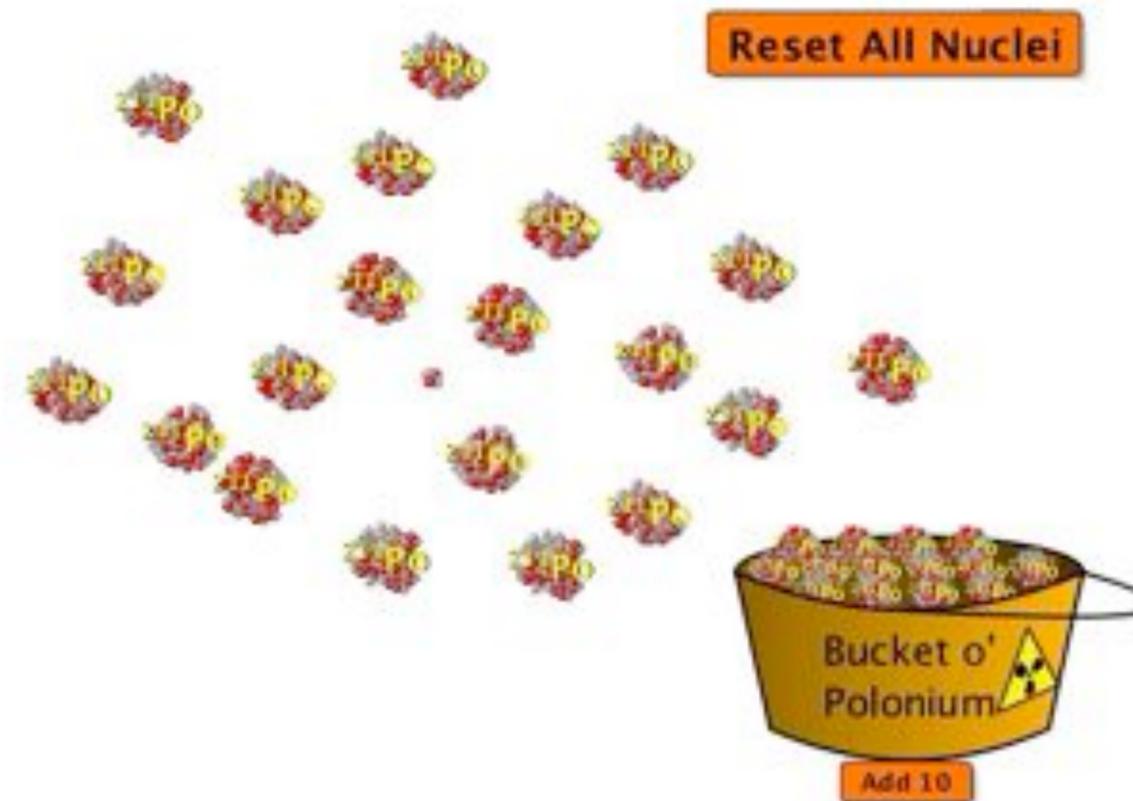
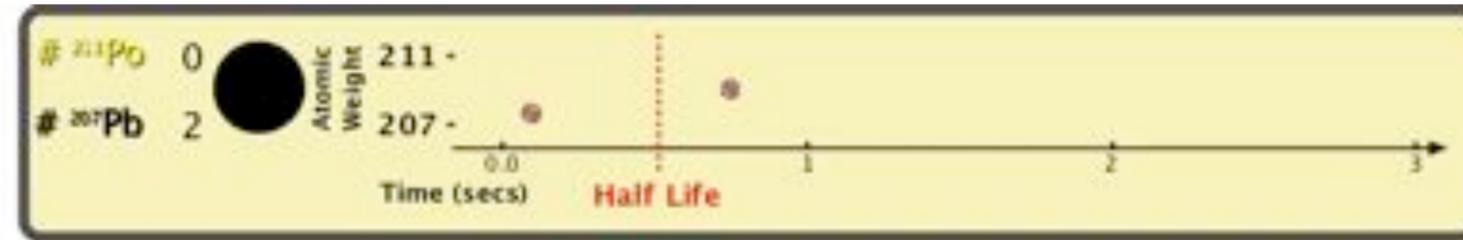
Efecto tunel.



Rutherford

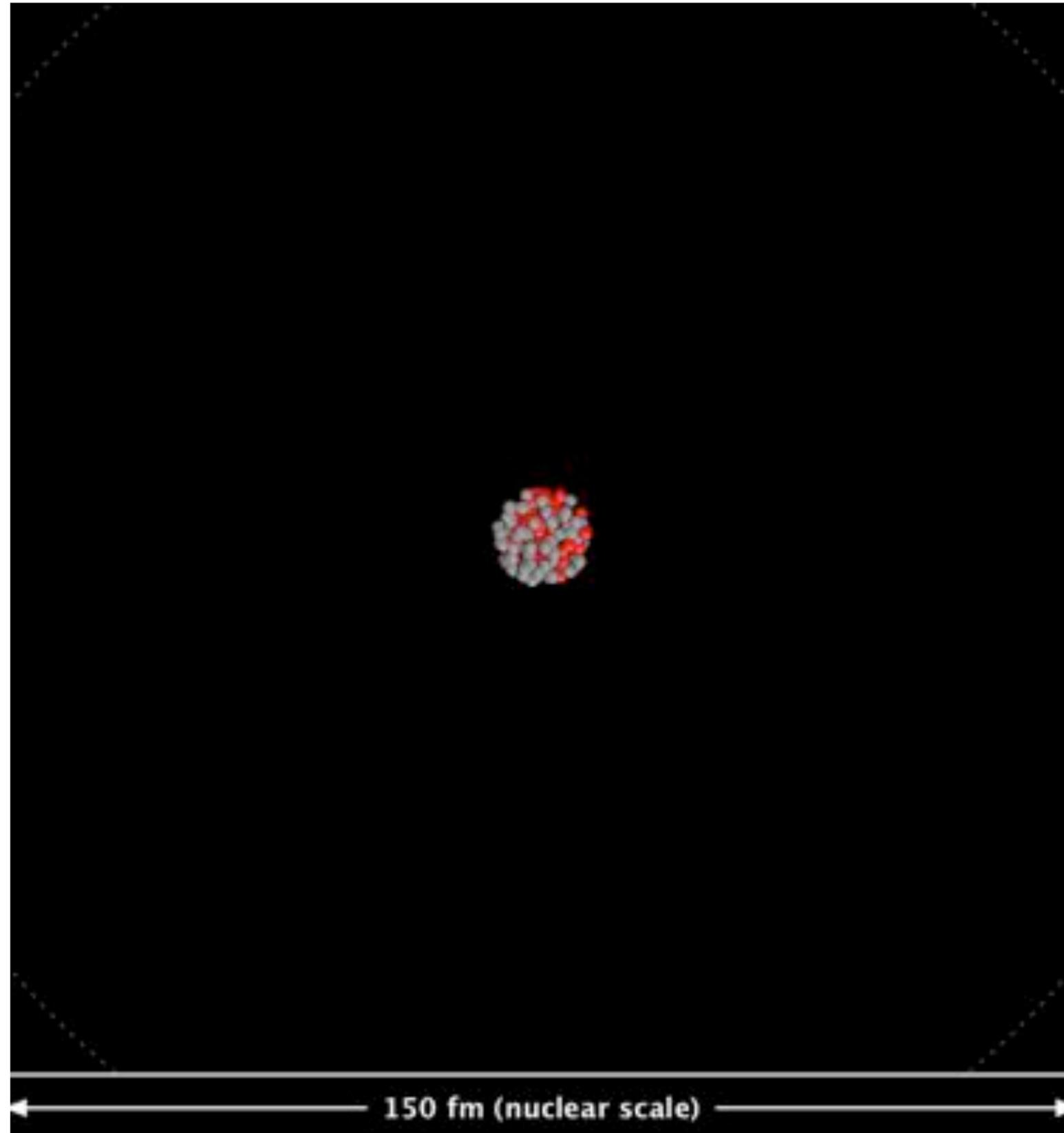
Desintegración alfa.

Un núcleo excitado emite una partícula alfa, dos protones y dos neutrones (núcleo de Helio-4)



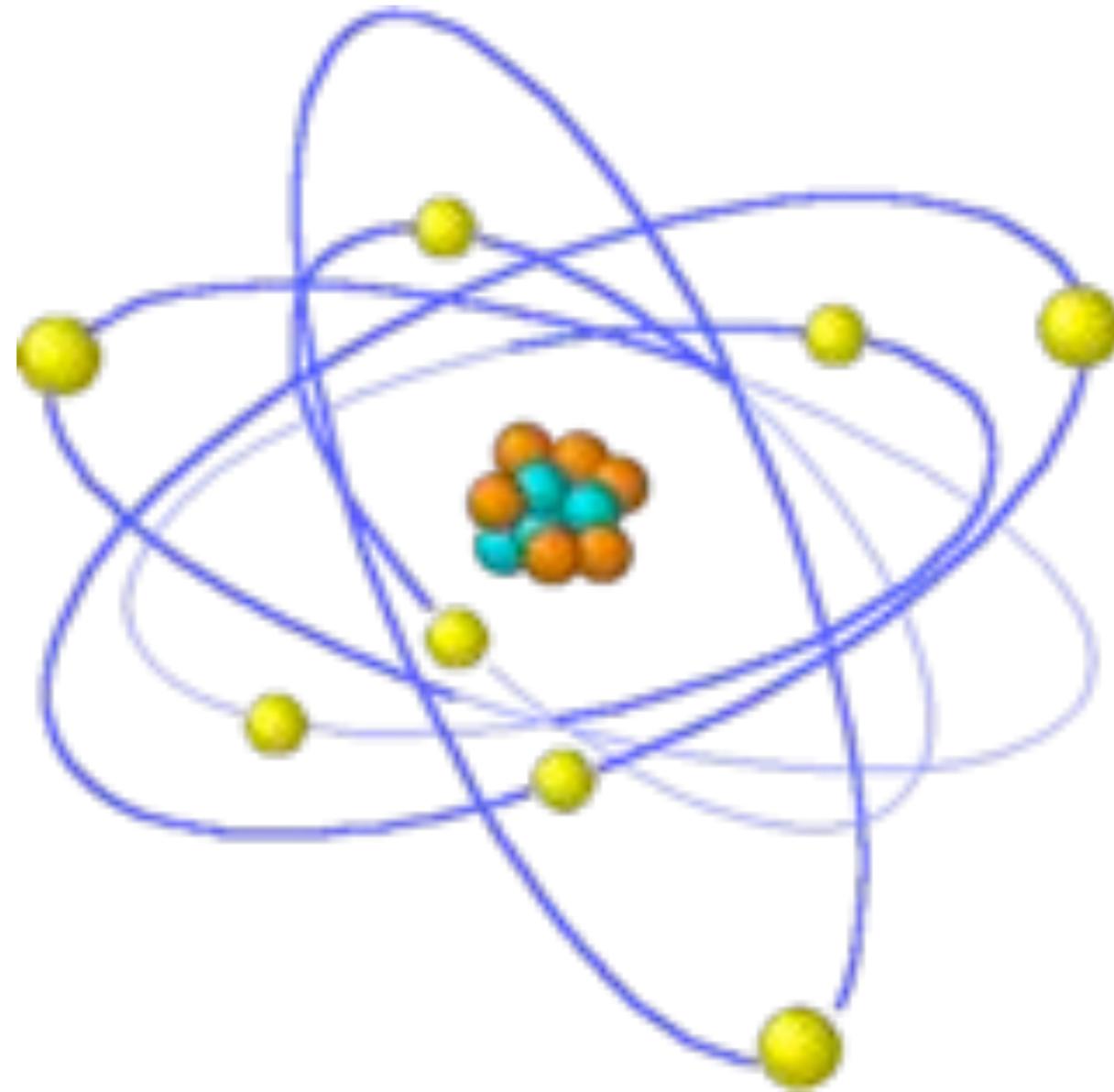
Átomo de Rutherford.

Cuando una lámina fina de oro es bombardeada con partículas alfa, lo que se observa se explica admitiendo que hay una carga positiva acumulada en una zona muy pequeña. Las partículas alfa se desvían del núcleo cargado positivamente. Algunas vuelven hacia atrás

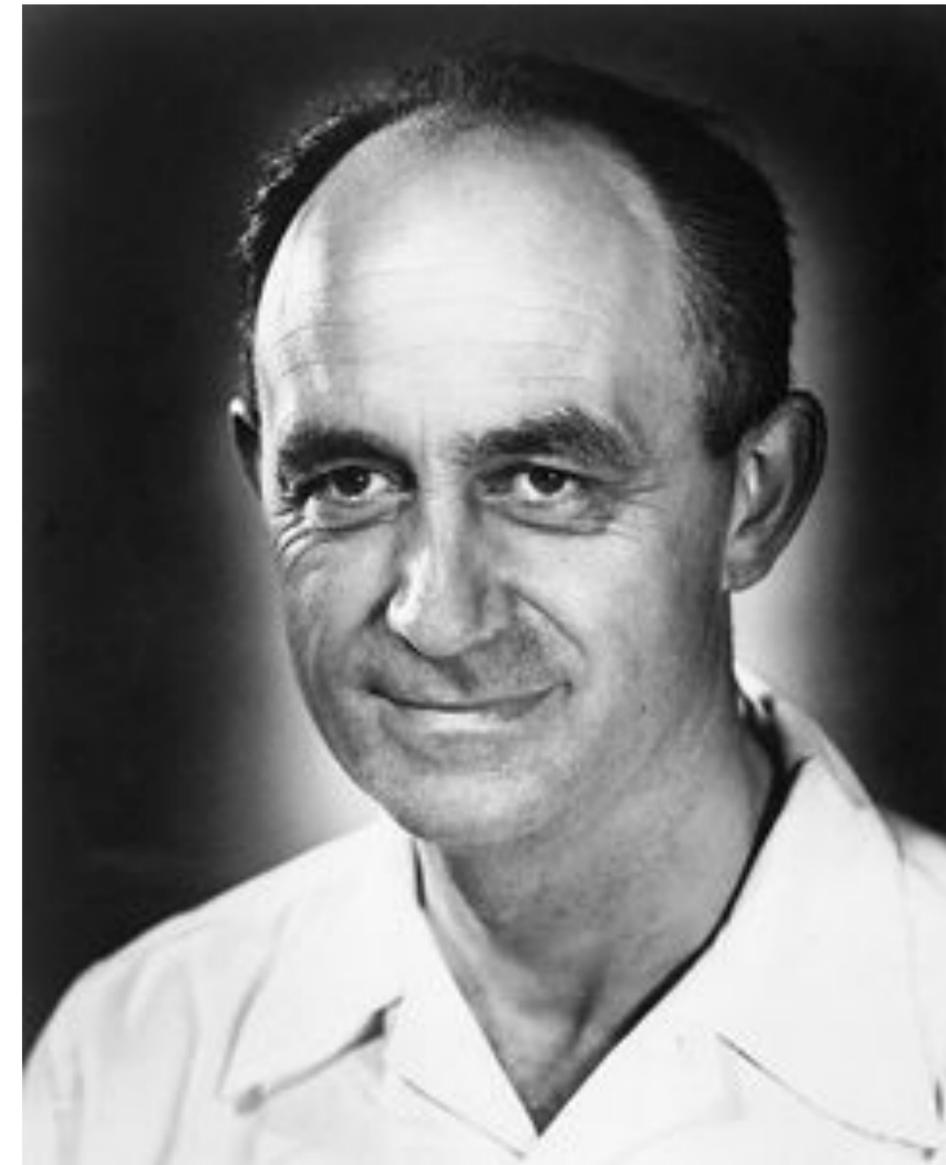


Átomo de Rutherford.

Un núcleo formado por protones (y neutrones), muy denso, y electrones orbitando (¿cómo?) a su alrededor.



Enrico Fermi



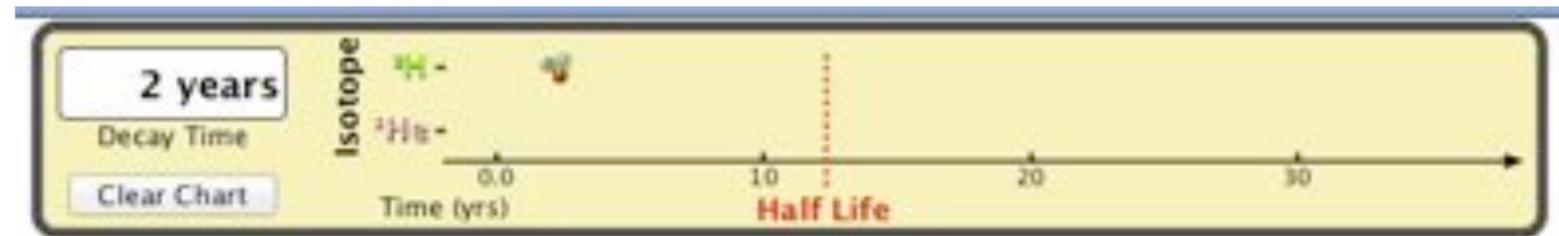
(Roma, 1901 - Chicago, 1954) Físico nuclear italiano. En 1927 aplicó la "estadística de Fermi" a los electrones que se mueven en torno al núcleo del átomo, con lo cual estableció un método aproximativo para el estudio de muchas cuestiones atómicas ("método de Thomas-Fermi").

El segundo período de su labor en el ámbito de la ciencia se extendió entre 1933 y 1949, y estuvo dedicado a la Física nuclear. En 1933 su teoría de la radiactividad "beta" dio forma cuantitativa al proceso de la transformación de un neutrón en un protón mediante la emisión de un electrón y un neutrino. Luego estudió la radiactividad artificial, descubierta por el matrimonio Joliot-Curie, y en 1934 descubrió la provocada por un bombardeo de neutrones; posteriormente vio que las sustancias hidrogenadas y, en general, los elementos ligeros podían disminuir la velocidad de los neutrones después de choques elásticos. Y, así, en 1935-36 estudió las propiedades de absorción y difusión de los neutrones lentos.

Todo ello le valió en 1938 el premio Nobel de Física. A partir de 1942, en la Universidad de Chicago, donde, tras las investigaciones llevadas a cabo con diversos colaboradores, hizo funcionar el 2 de diciembre de 1942 una pila de uranio y grafito, el primer reactor nuclear.

Desintegración beta.

En un núcleo atómico, un neutrón se transforma en un protón, emitiendo un electrón y un neutrino



Reset Nucleus



F Seitz, *Fermi and Wigner*, American Journal of Physics **60** 875-876 (1992)

Wolfgang Pauli



(Viena, 1900 - Zurich, 1958) Físico austriaco nacionalizado estadounidense. Con tan sólo veinte años escribió un artículo enciclopédico de más de doscientas páginas sobre la teoría de la relatividad. Nombrado profesor de la Universidad de Hamburgo en 1923, un año más tarde propuso un cuarto número cuántico, que puede adoptar los valores numéricos de $\frac{1}{2}$ o $-\frac{1}{2}$, necesario para poder especificar los estados energéticos del electrón.

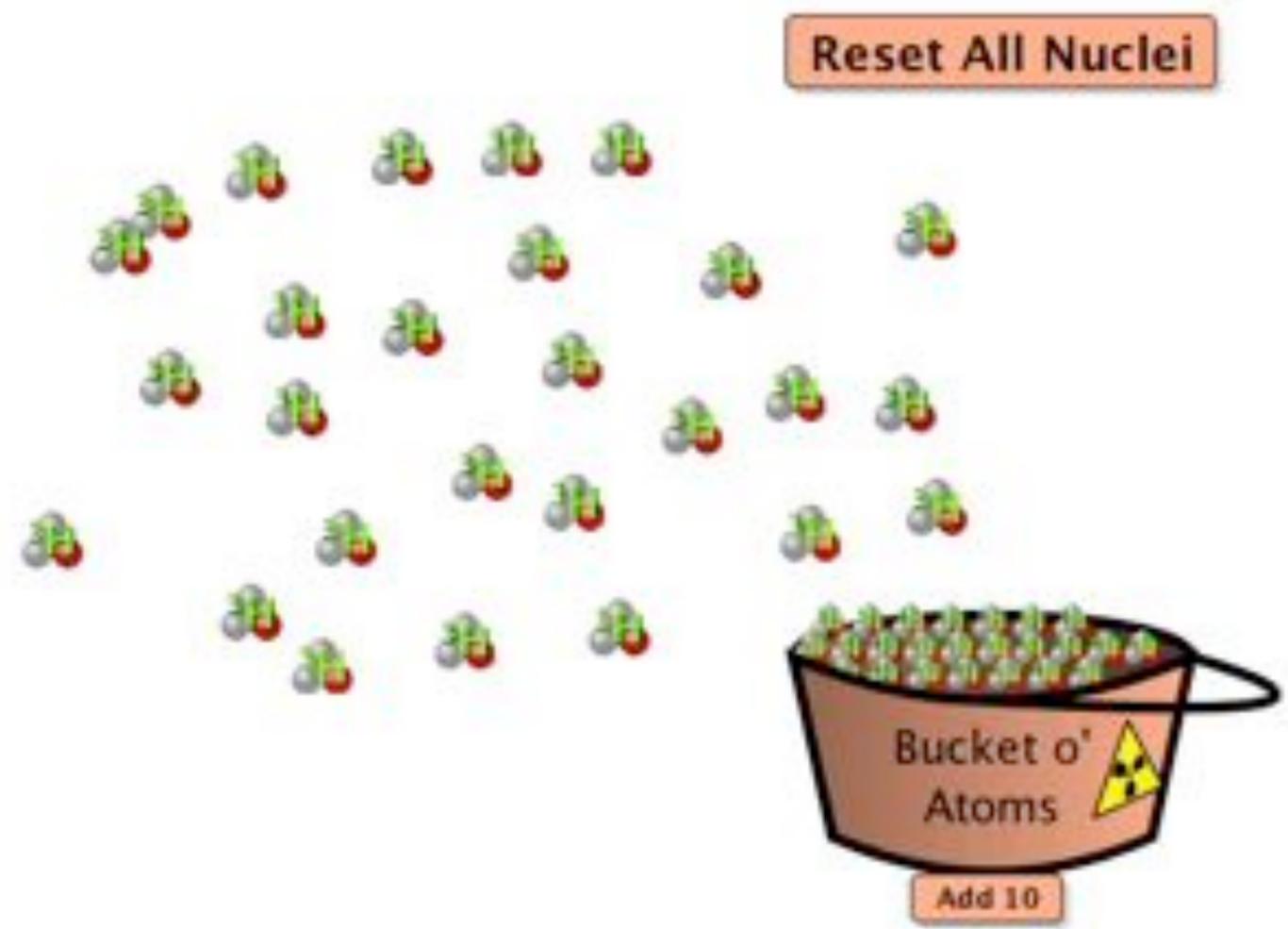
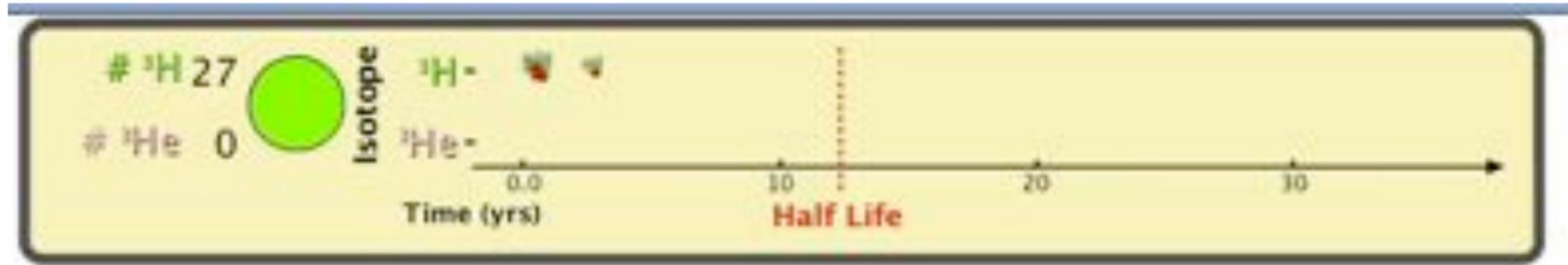
Más adelante se verificó la existencia de estos números cuánticos, denominados de espín, representativos de las dos direcciones posibles de giro sobre el eje de rotación de los fermiones. En 1925 introdujo el principio de exclusión, que clarificó de forma inmediata la estructuración de los átomos en la tabla periódica.

A finales de la década de 1920 observó que cuando se emite una partícula beta (electrón) desde un núcleo atómico, por lo general se produce una pérdida de energía, lo cual constituye una flagrante violación de la ley de conservación de la energía. Para explicar el fenómeno, Pauli propuso en 1931 la existencia de alguna partícula (denominada con posterioridad neutrino por Enrico Fermi) eléctricamente neutra y de masa nula o prácticamente inapreciable, y cuya desaparición pasa inadvertida, dado que interactúa con la materia de forma muy débil. El neutrino no pudo ser detectado como entidad hasta 1956.

Enrico Fermi

Desintegración beta.

En un núcleo atómico, un neutrón se transforma en un protón, emitiendo un electrón y un neutrino



Niels Bohr

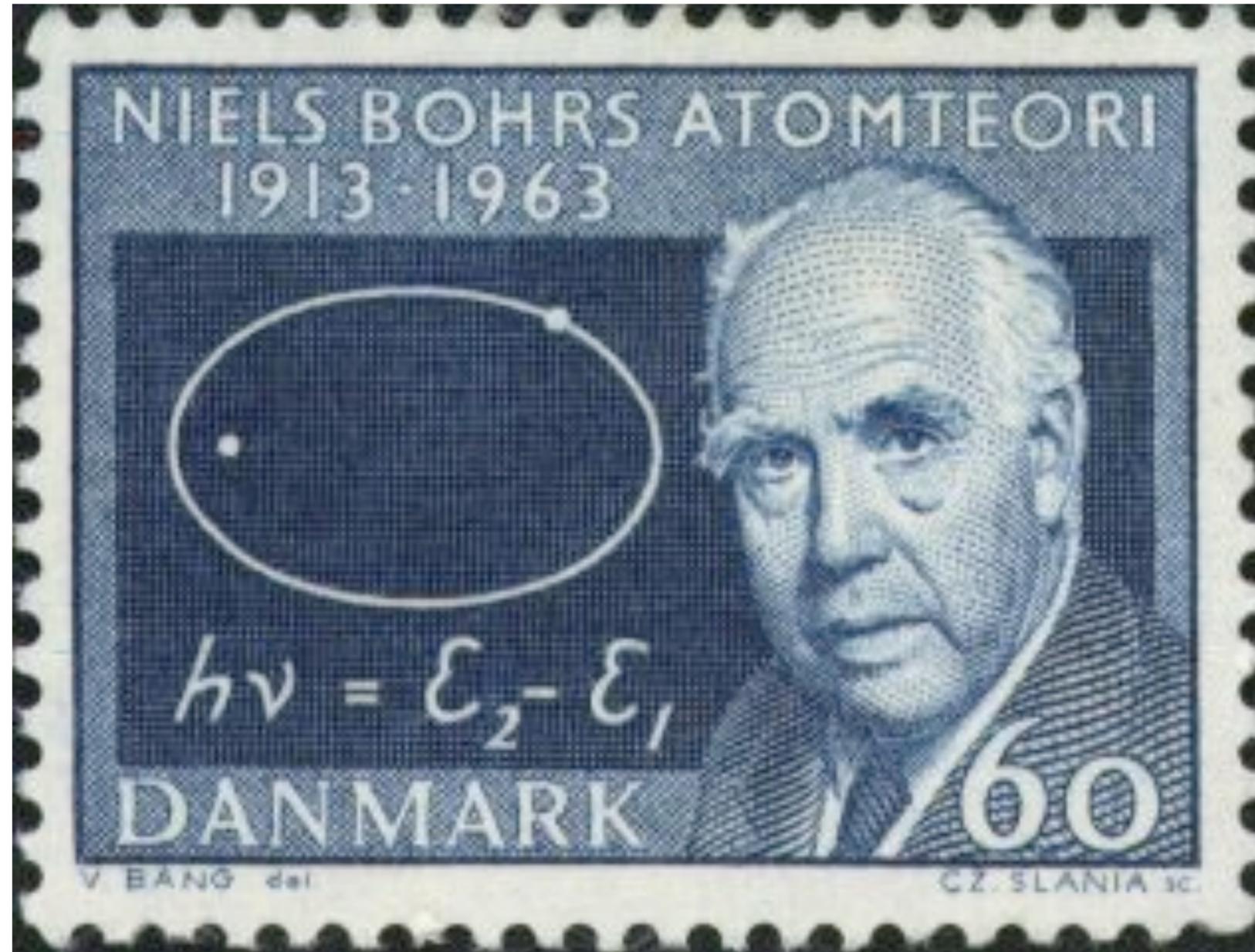


(Niels Henrik David Bohr; Copenhagen, 1885 -- 1962) Físico danés. Considerado como una de las figuras más deslumbrantes de la física contemporánea y, por sus aportaciones teóricas y sus trabajos prácticos, como uno de los padres de la bomba atómica, fue galardonado en 1922 con el Premio Nobel de Física "por su investigación acerca de la estructura de los átomos y la radiación que emana de ellos".

Pese a contravenir principios de la física clásica, su modelo atómico, que incorporaba el modelo de átomo planetario de Rutherford y la noción de cuanto de acción introducida por Planck, permitió explicar tanto la estabilidad del átomo como de sus propiedades de emisión y de absorción de radiación. En esta teoría, el electrón puede ocupar algunas órbitas estacionarias en las cuales no irradia energía, y los procesos de emisión y de absorción son concebidos como transiciones del electrón de una órbita estacionaria a otra.

Niels Bohr aceptó, en parte, la teoría atómica de Rutherford, pero la superó combinándolo con las teorías cuánticas de Max Planck (1858-1947). En los tres artículos que publicó en el *Philosophical Magazine* en 1913, Bohr enunció cuatro postulados: 1) Un átomo posee un determinado número de órbitas estacionarias, en las cuales los electrones no radian ni absorben energía, aunque estén en movimiento. 2) El electrón gira alrededor de su núcleo de tal forma que la fuerza centrífuga sirve para equilibrar con exactitud la atracción electrostática de las cargas opuestas. 3) El momento angular del electrón en un estado estacionario es un múltiplo de $h / 2\pi$ (donde h es la constante cuántica universal de Planck).

Niels Bohr



Heredero de la tradición de Oersted.

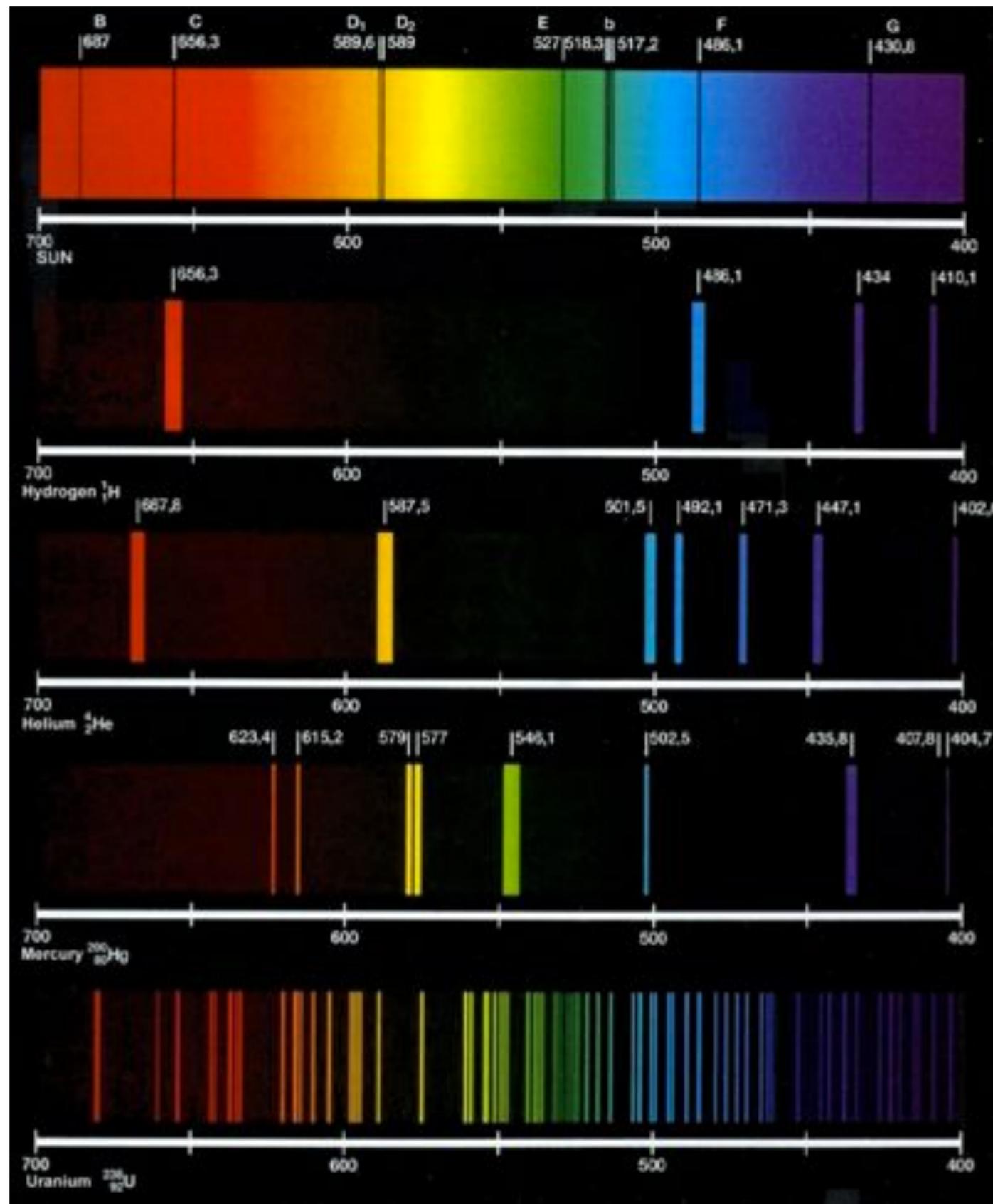
Átomo de Bohr



El modelo del átomo de Born permite explicar el espectro discreto del hidrógeno.

Espectros atómicos.

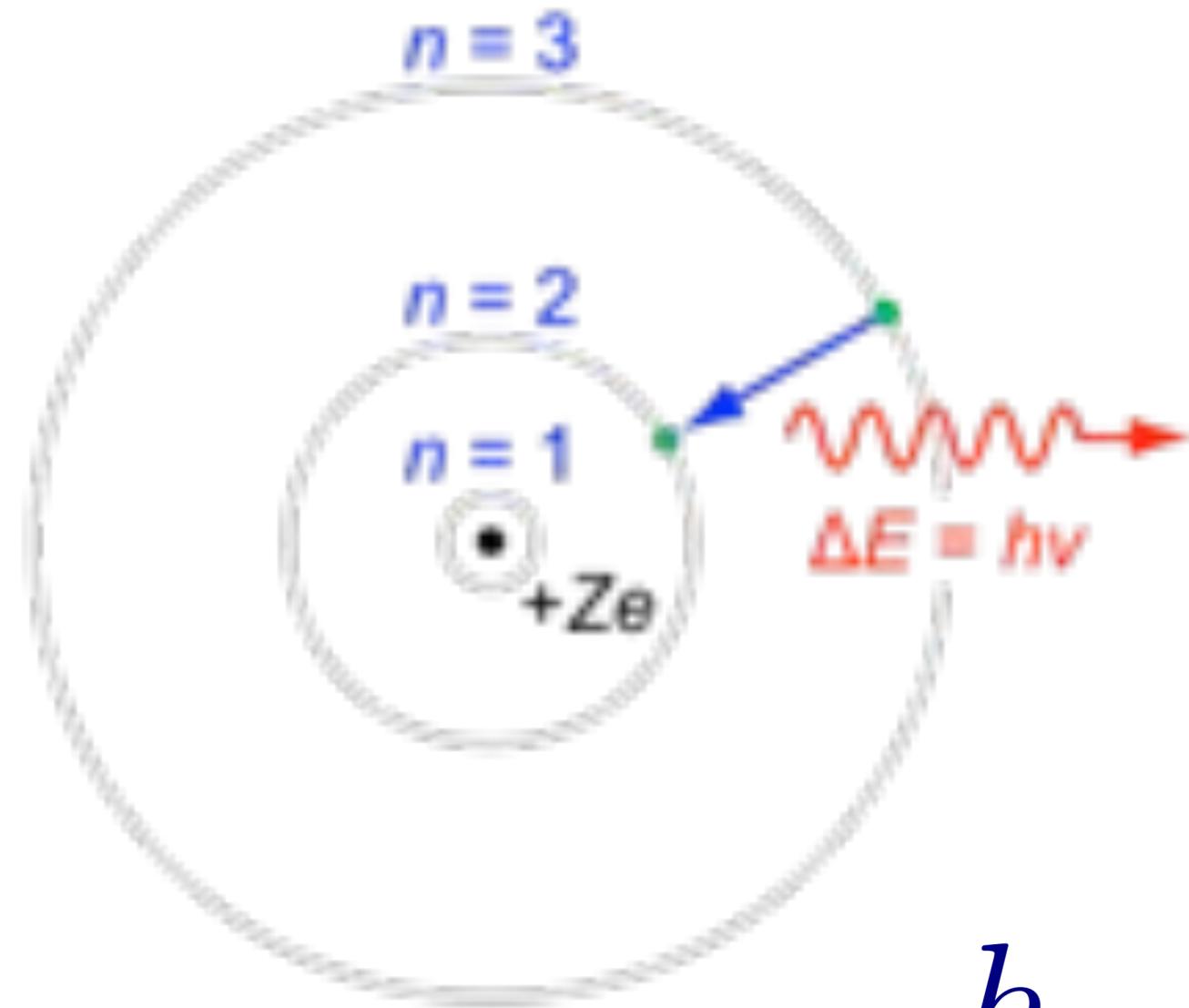
Las líneas del espectro de diversos gases.



Bohr

Átomo de Bohr.

las órbitas están cuantizadas. El momento orbital debe ser un múltiplo de la constante de Planck.

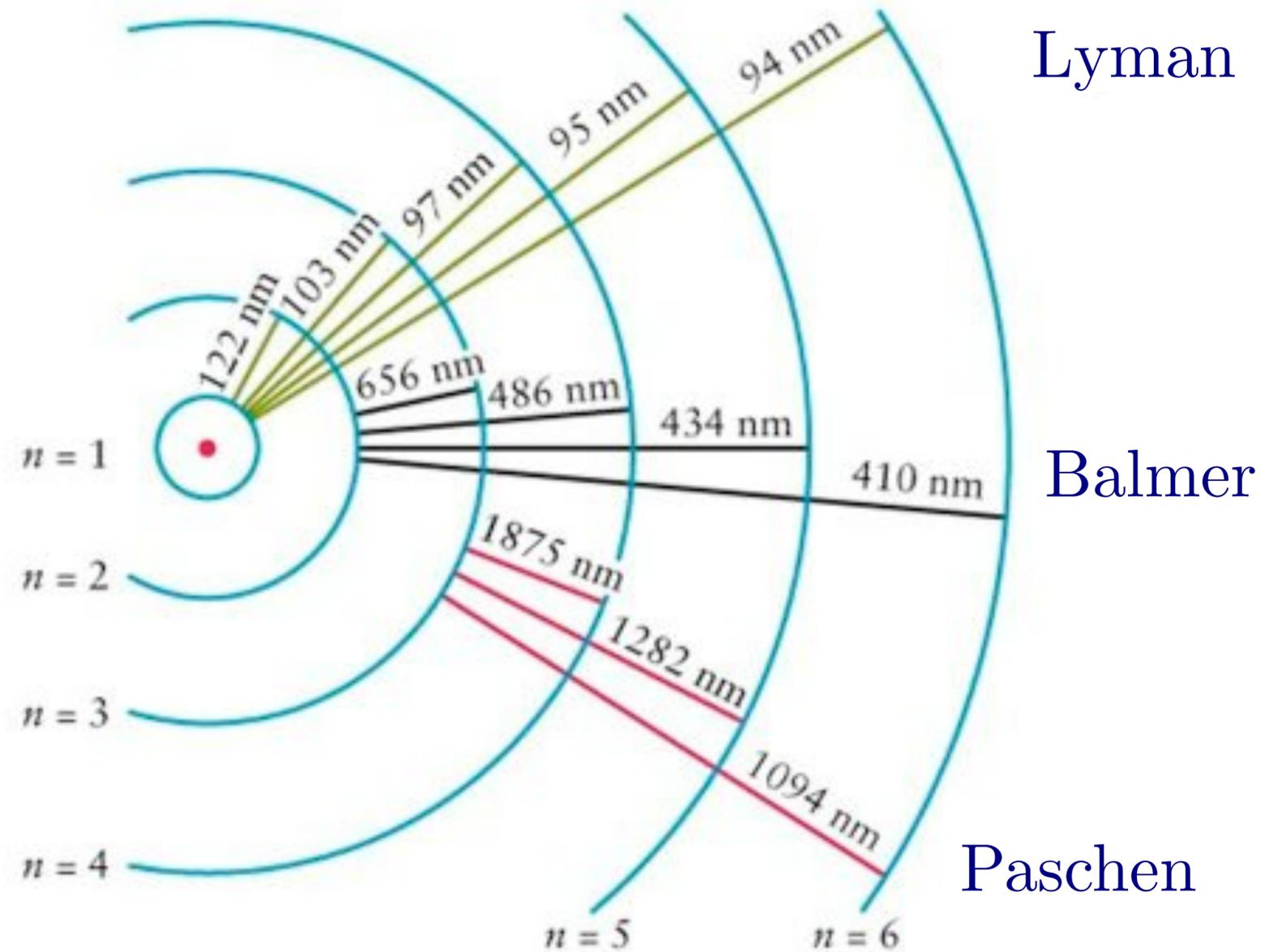


$$mv \times r = n \frac{h}{2\pi}$$

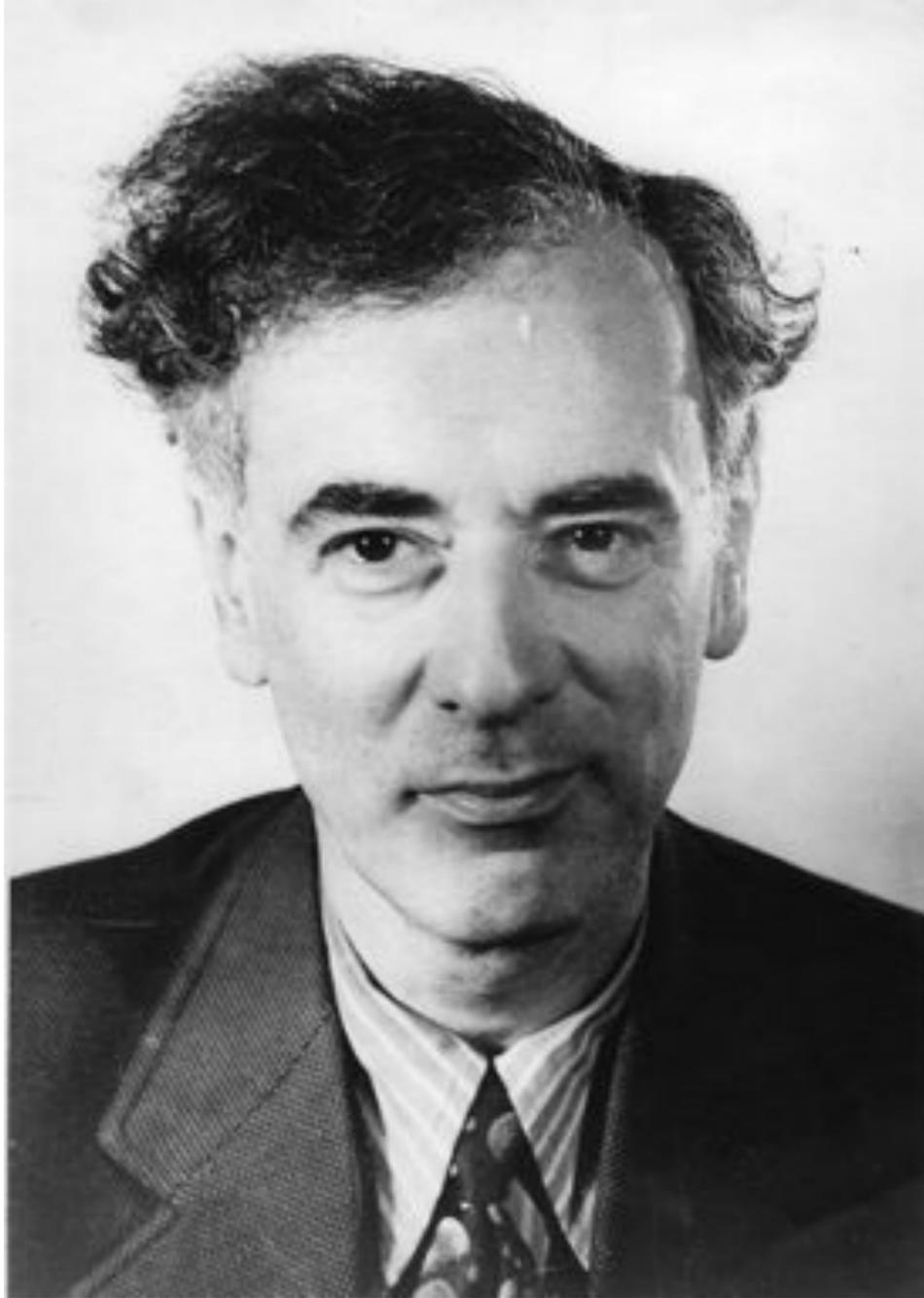
$$mv \times 2\pi r = nh$$

Átomo de Bohr.

Las líneas del espectro del hidrógeno se obtienen cuando un electrón salta de una órbita exterior a otra más interior, ambas cuantizadas.



Lev Davidovich Landau



(Lev Davidovich Landau; Bakú, Azerbaijón, 1908-Moscú, 1968) Físico ruso. En 1929, tras una breve estancia en Gotinga y Leipzig, se trasladó a Copenhague para trabajar en el Instituto de Física Teórica dirigido por Niels Bohr, del que siempre se consideró discípulo.

En respuesta al requerimiento del físico experimental P. Kapitsa, especializado en el estudio de las bajas temperaturas, se trasladó a Moscú para dirigir el departamento de teoría del Instituto de Problemas de la Física. En él, Landau desarrolló una teoría para explicar las propiedades, descubiertas por Kapitsa, de superfluidos y superconductividad del helio II, estado del helio líquido por debajo de los 2,2 °K. Por este trabajo fue galardonado con el Premio Nobel de Física en 1962.

Las aportaciones de Landau abarcaron prácticamente todos los campos de la física: desde la de bajas temperaturas hasta la nuclear, de la del estado de plasma a la de los rayos cósmicos. Además del Premio Nobel, recibió a lo largo de su vida muchos otros galardones, entre los que cabe destacar el título de Héroe del Trabajo y el Premio Lenin, en la Unión Soviética, y fue reconocido como miembro asociado por la Royal Society de Londres y por las academias de Países Bajos, Dinamarca y Estados Unidos.

Richard Feynman



(Nueva York, 1918-Los Ángeles, 1988) Físico teórico estadounidense. Revisó todo el panorama de la electrodinámica cuántica, y revolucionó el modo en que la ciencia entendía la naturaleza de las ondas y las partículas elementales. En 1965 compartió el Premio Nobel de Física con el estadounidense Julian S. Schwinger y el japonés Tomonaga Shinichiro, científicos que de forma independiente desarrollaron teorías análogas a la de Feynman, aunque la labor de este último destaca por su originalidad y alcance. Las herramientas que ideó para resolver los problemas que se le plantearon, como, por ejemplo, las representaciones gráficas de las interacciones entre partículas conocidas como diagramas de Feynman, o las denominadas integrales de Feynman, permitieron el avance en muchas áreas de la física teórica.

En los años cincuenta justificó, desde el punto de vista de la mecánica cuántica, la teoría macroscópica del físico soviético L. D. Landau, que daba explicación al estado superfluido del helio líquido a temperaturas cercanas al cero absoluto, estado caracterizado por la extraña ausencia de fuerzas de rozamiento.

En 1968 trabajó en el acelerador de partículas de Stanford, período en el que introdujo la teoría de los partones, hipotéticas partículas localizadas en el núcleo atómico, que daría pie más tarde a la introducción del moderno concepto de quark.

Louis de Broglie

(Louis-Victor Broglie, príncipe de Broglie; Dieppe, Francia, 1892-París, 1987) Físico francés.

En su tesis doctoral, habiendo entrado previamente en contacto con la labor de científicos de la talla de Einstein o Planck, abordó directamente el tema de la naturaleza de las partículas subatómicas, en lo que se vino a constituir en teoría de la dualidad onda-corpúsculo, según la cual las partículas microscópicas, como pueden ser los electrones, presentan una doble naturaleza, pues, además de un anteriormente identificado comportamiento ondulatorio, al desplazarse a grandes velocidades se comportan así mismo como partículas materiales, de masa característica, denominada masa relativista, lógicamente muy pequeña y debida a la elevada velocidad.

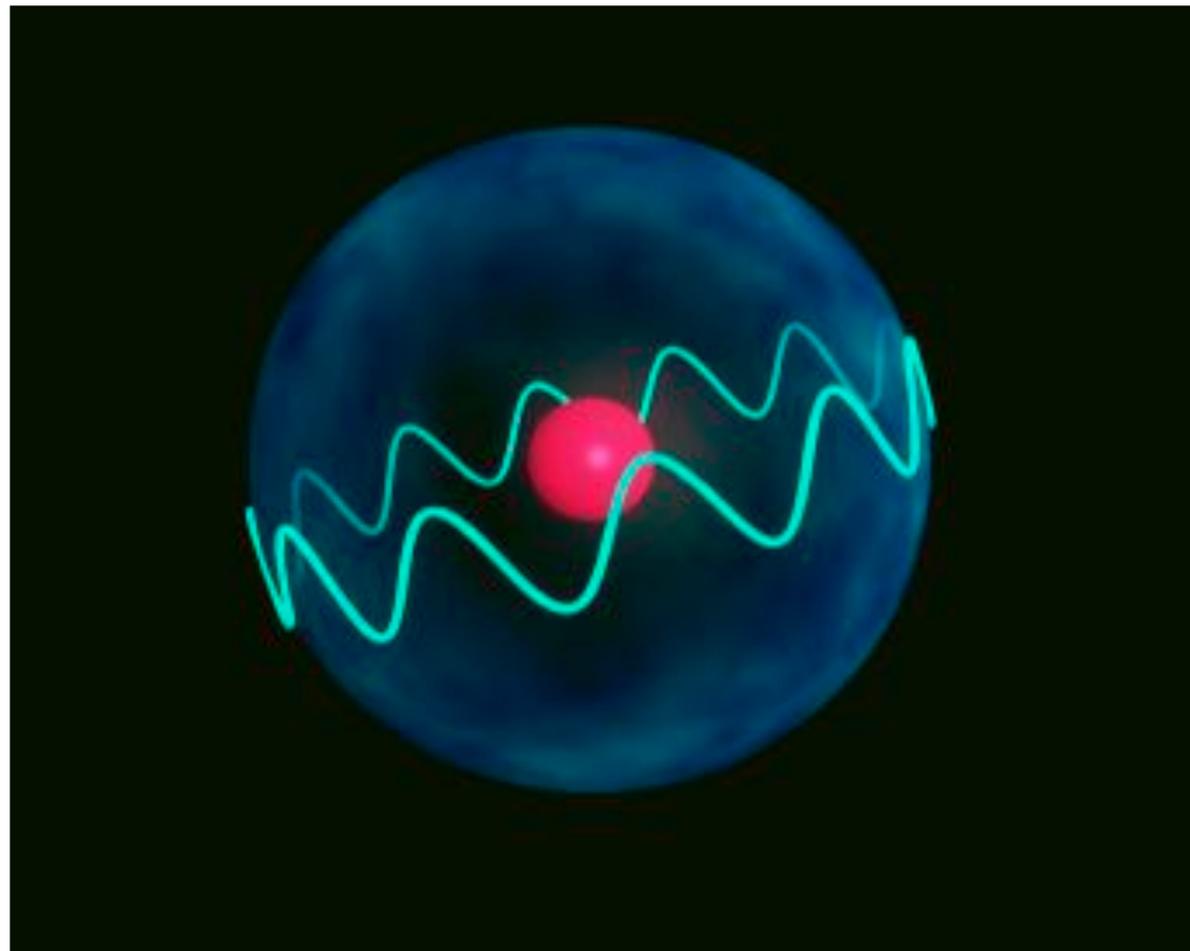
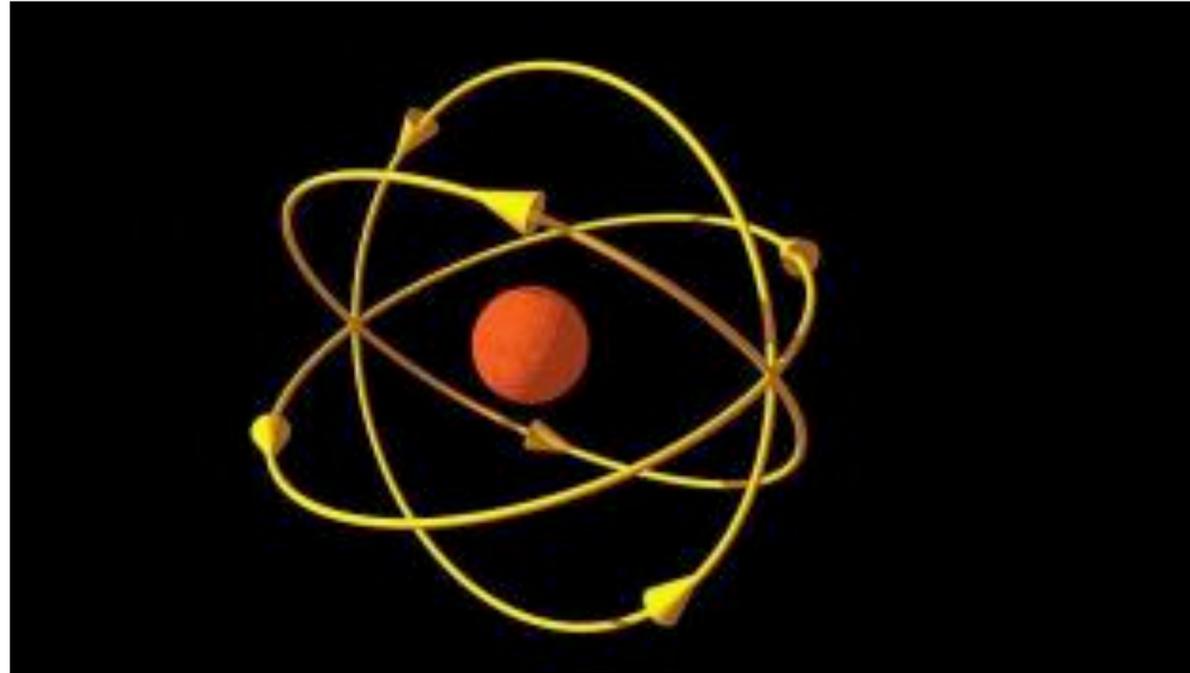
Esta nueva concepción teórica sobre la naturaleza de la radiación completamente revolucionaria pronto encontró una contrastación experimental. De Broglie fue galardonado con el Premio Nobel de Física del año 1929.



De Broglie

Dualidad onda
corpúsculo en
electrones.

En ciertas
circunstancias un
electrón se
comporta como
una partícula y en
otras
circunstancias el
mismo electrón
se comporta
como una onda.



$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Postulado del átomo de Bohr.

Que un electrón se mueva en una órbita cuyo momento angular está cuantizado es equivalente a que el número de longitudes de onda de de Broglie de dicho electrón es un número entero.

Dualidad onda
corpúsculo en
electrones.

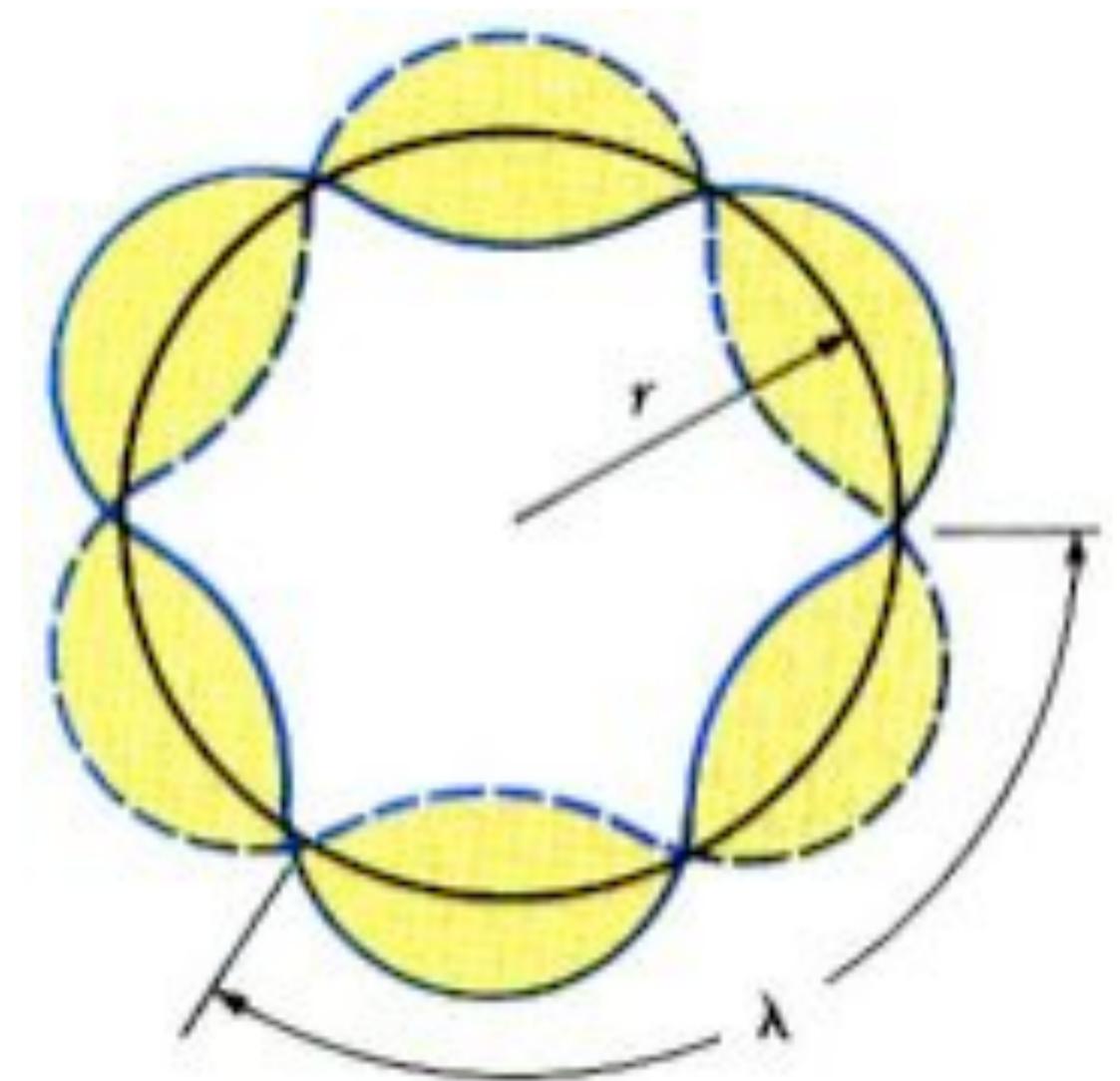
Justificación de la
ley de
cuantización de
Bohr.

$$mv \times r = n \frac{h}{2\pi}$$

$$mv \times 2\pi r = nh$$

$$\frac{2\pi r}{n} = \frac{h}{mv}$$

$$\lambda = \frac{2\pi r}{n}$$



Erwin Schrödinger



(Viena, 1887-id., 1961) Físico austriaco. Compartió el Premio Nobel de Física del año 1933 con Paul Dirac por su contribución al desarrollo de la mecánica cuántica.

En 1926 publicó una serie de artículos que sentaron las bases de la moderna mecánica cuántica ondulatoria, y en los cuales transcribió en derivadas parciales su célebre ecuación diferencial, que relaciona la energía asociada a una partícula microscópica con la función de onda descrita por dicha partícula. Dedujo este resultado tras adoptar la hipótesis de De Broglie, enunciada en 1924, según la cual la materia y las partículas microscópicas, éstas en especial, son de naturaleza dual y se comportan a la vez como onda y como cuerpo.

Atendiendo a estas circunstancias, la ecuación de Schrödinger arroja como resultado funciones de onda, relacionadas con la probabilidad de que se dé un determinado suceso físico, tal como puede ser una posición específica de un electrón en su órbita alrededor del núcleo.

Erwin Schrödinger



Herederero de la tradición de Boltzmann.

Ecuación de ondas de Schrödinger

Espectro del hidrógeno.

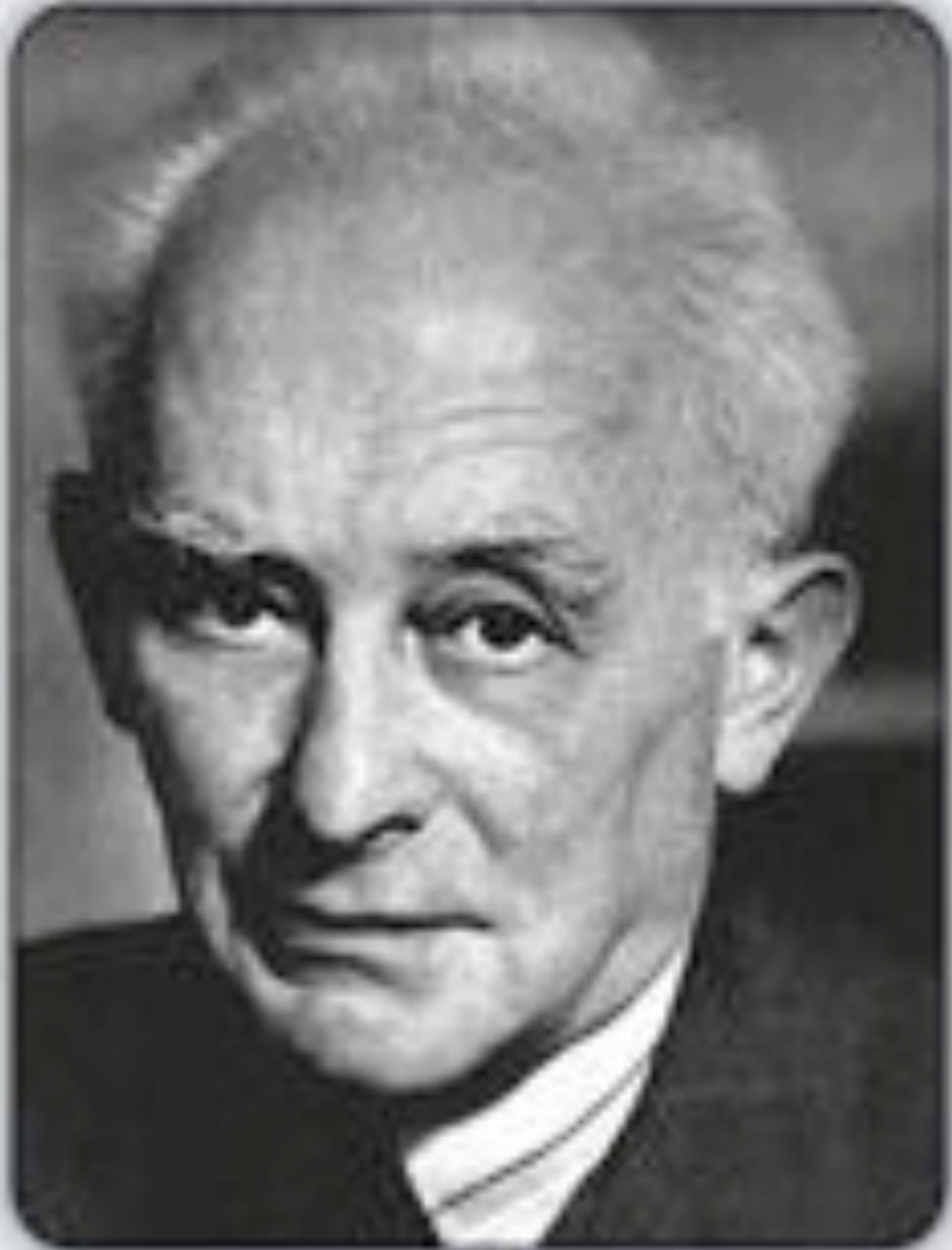
Esta ecuación permite obtener el espectro del hidrógeno.

$$H\psi(x, t) = i\hbar \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t}$$

$$i\hbar \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi(x, t) + V(r, t) \psi(r, t)$$

$$\frac{\partial^2 \psi(x)}{\partial x^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} [E - V(r)] \psi(x) = 0$$

Max Born



(Breslau, 1882 - Göttingen, 1970) Físico alemán de origen judío, uno de los más eminentes del siglo XX, que recibió el premio Nobel de Física en 1954.

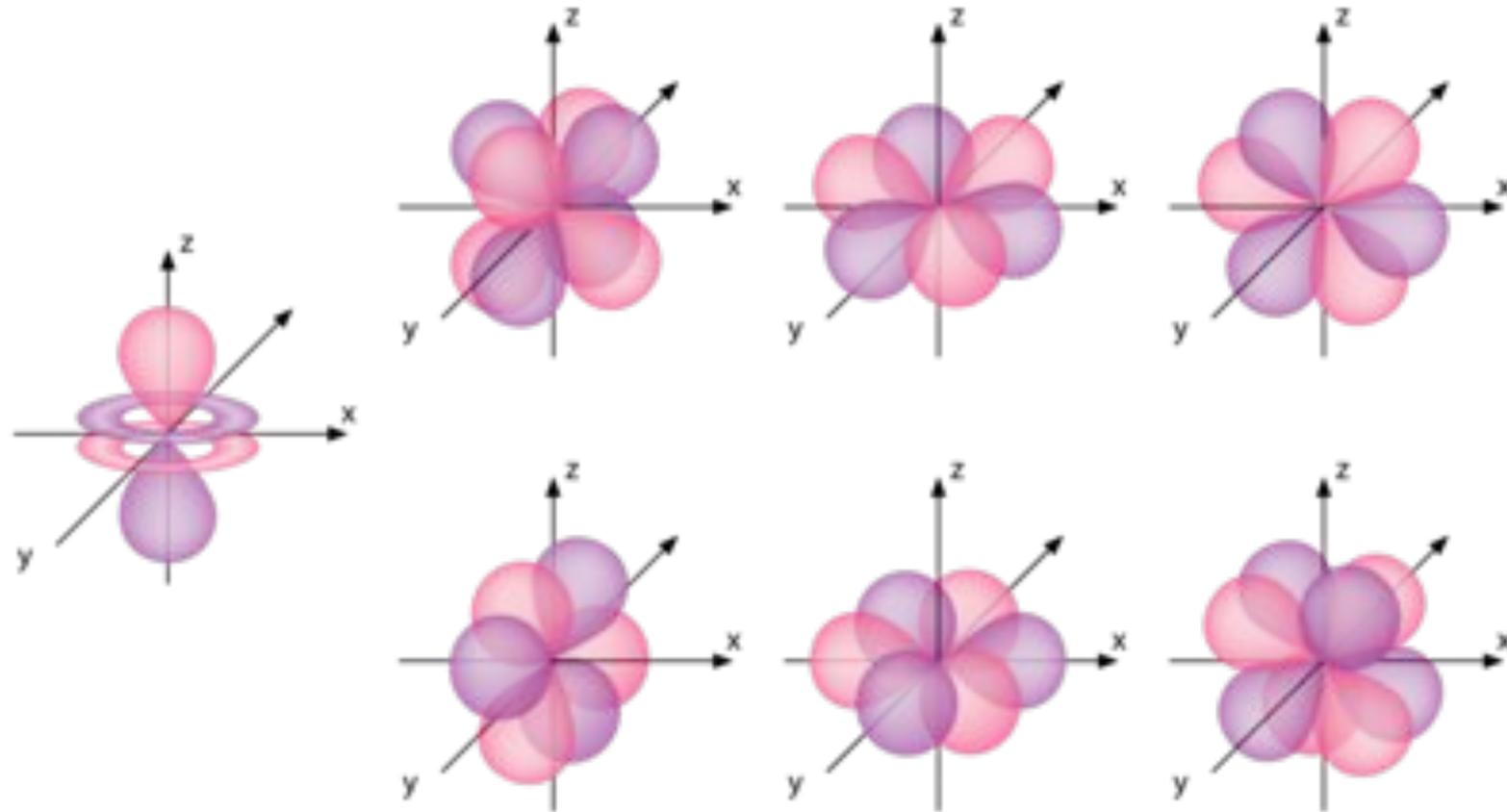
Estableció una esencial clarificación crítica de la Mecánica cuántica (*Atommechanik*, 1925; *Atomdynamik*, 1926 y *Física atómica*, 1935). En 1933, desposeído de la cátedra por su condición de judío, emigró al Reino Unido, adoptó la nacionalidad británica y ejerció la docencia en Cambridge y, desde 1936 hasta 1953, en Edimburgo.

A continuación regresó a Göttingen, y en 1954 le fue otorgado el premio Nobel de Física, que compartió con Walther Bothe.

Born

Interpretación probabilística de la función de onda.

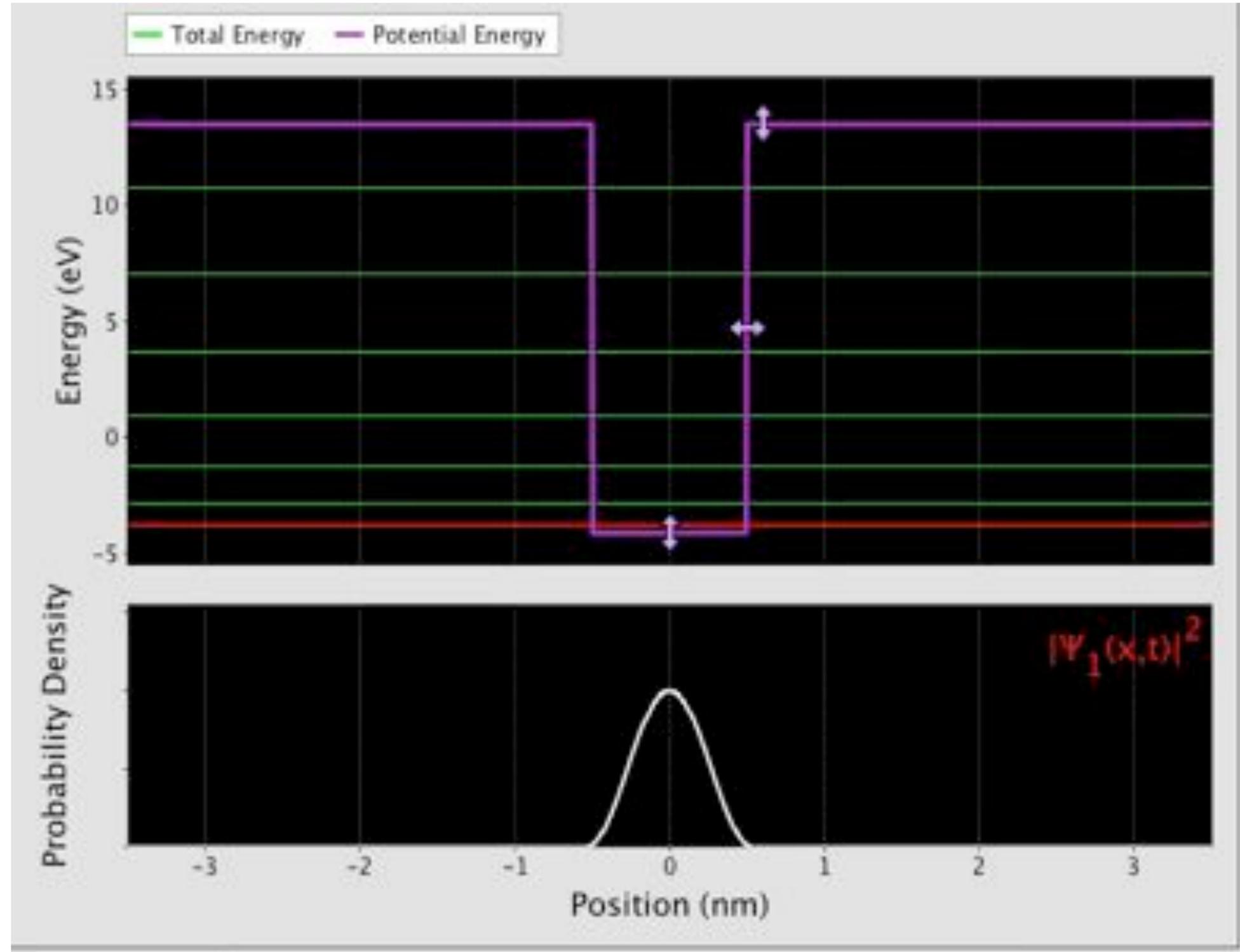
El cuadrado de la función de onda solución de la ecuación de Schrödinger da la probabilidad de encontrar la partícula en un punto y en un instante.



Ecuación de Schrödinger

Partícula en una caja.

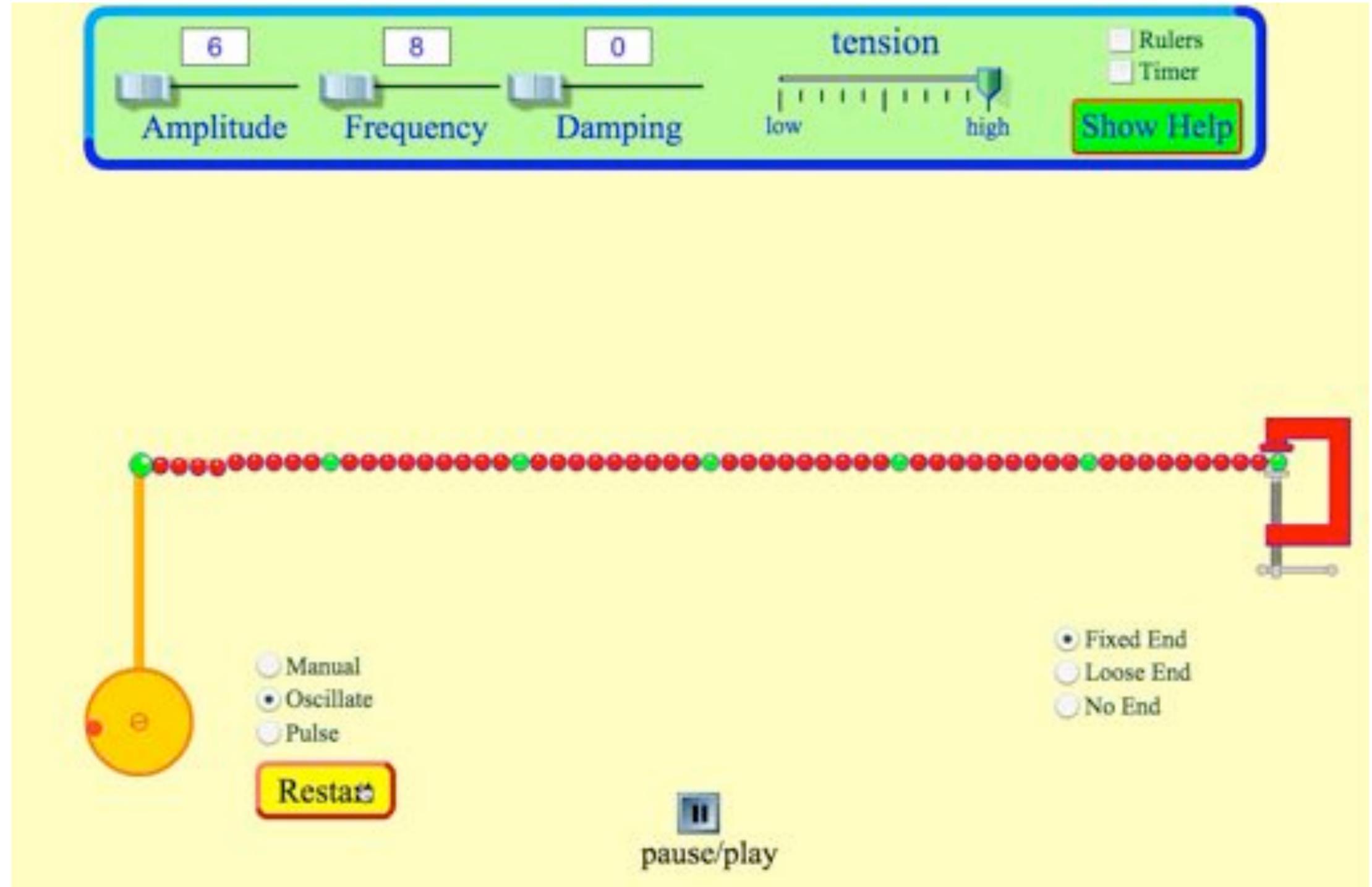
Un electrón colocado en una caja tiene un espectro discreto de energías.



Ondas estacionarias

Modos normales de una cuerda.

Una cuerda, de determinada densidad y sometida a una tensión, sólo puede tener una serie de modos normales, de energía cuantizada.



Efecto tunel.

Un electrón tiene cierta probabilidad de superar una barrera de potencial mayor que la energía que posee.

Hay una probabilidad de que la partícula rebote cuando se encuentre con una barrera más baja que su energía.

Ecuación de Schrödinger

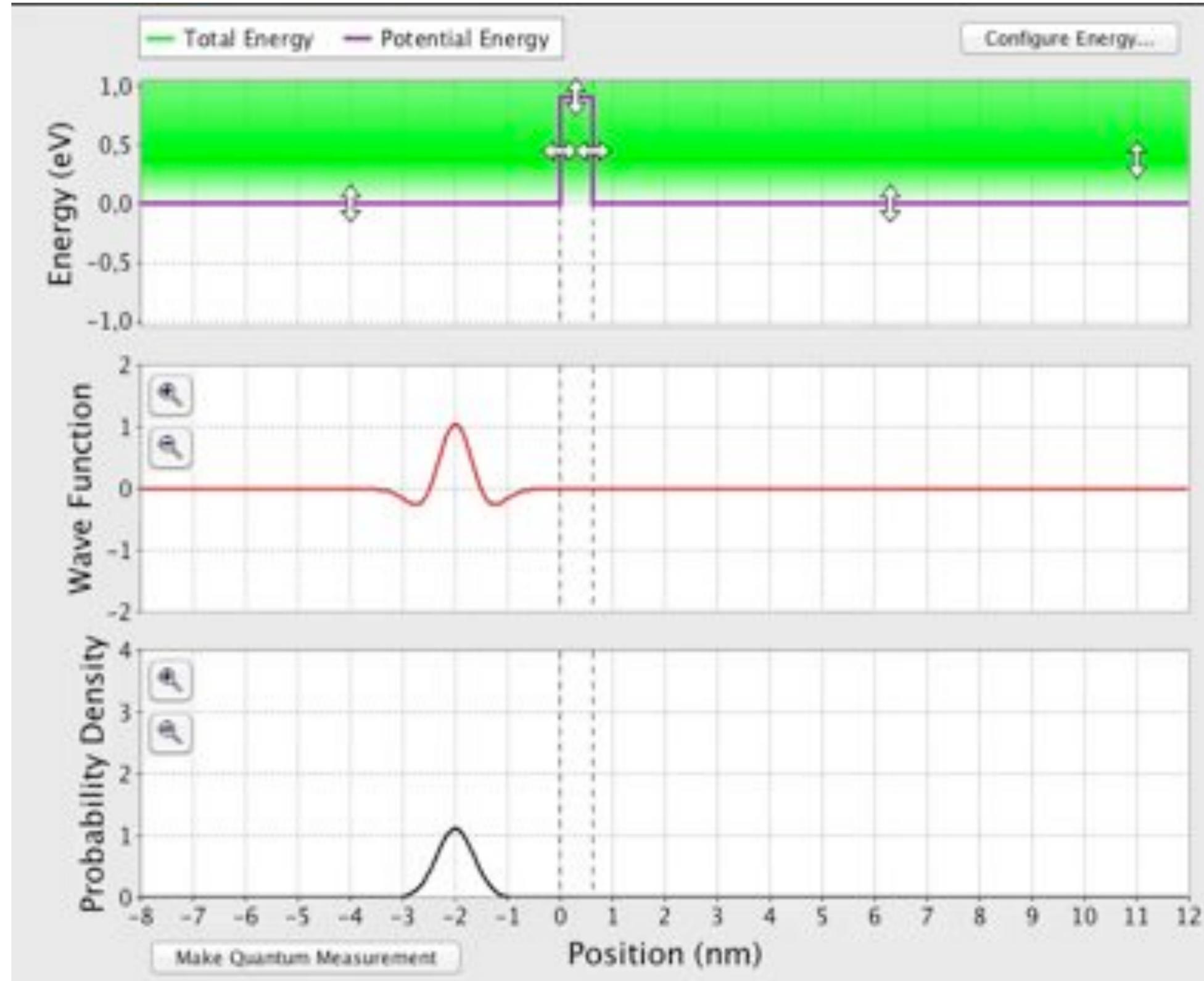
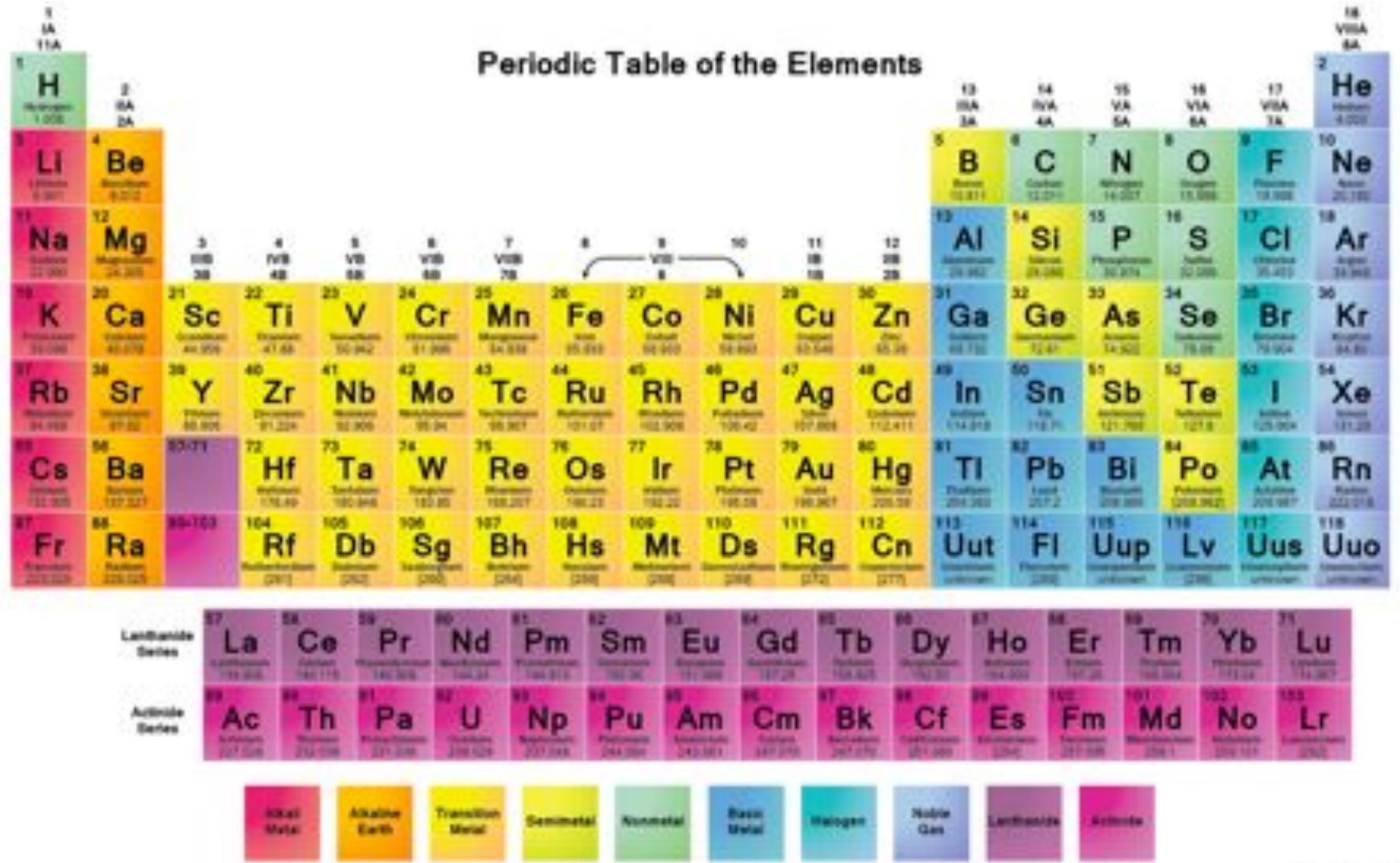


Tabla periódica de los elementos.

El principio de exclusión de Pauli aplicado a las soluciones de la ecuación de Schrödinger permite explicar la tabla periódica de Mendeleev.



© 2012 Paul Flowers, University of North Carolina, Wilmington, NC

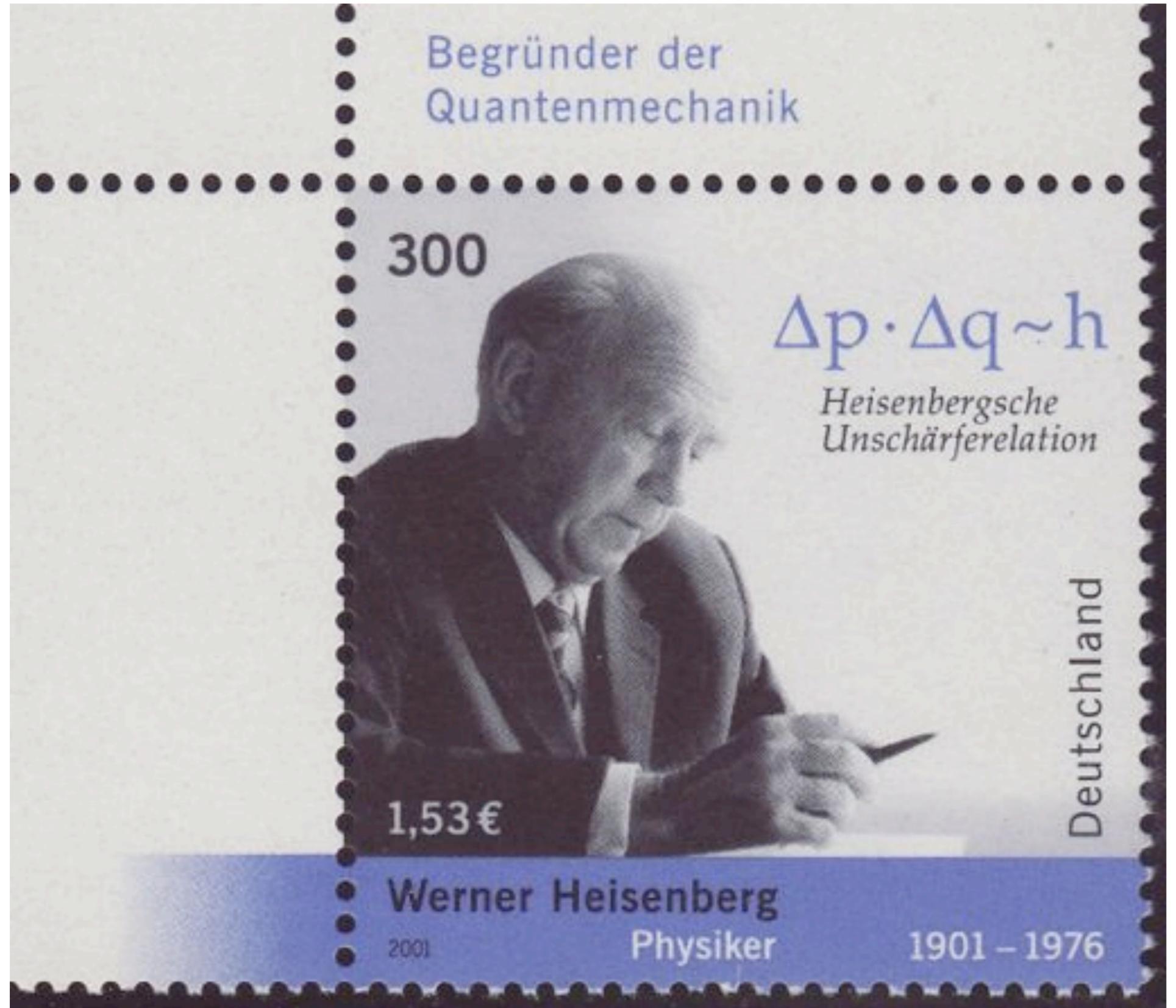
Werner Heisenberg



(Werner Karl Heisenberg; Wurzburg, Alemania, 1901 - Munich, 1976) Físico alemán. Se formó en la Universidad de Munich, donde asistió a las clases de A. Sommerfeld y por la que se doctoró en el año 1923. También colaboró con M. Born, en la Universidad de Gotinga. Durante su formación fue compañero de W. Pauli tanto en Munich como en Gotinga. Más adelante trabajó con N. Bohr en Copenhague (1924-1927) y desempeñó, sucesivamente, los cargos de profesor de la Universidad de Leipzig (1927), director del Instituto Káiser Wilhelm de Berlín (1942) y del Max Planck de Gotinga (1946), así como del de Munich (1958).

Entre 1925 y 1926 desarrolló una de las formulaciones básicas de la mecánica cuántica, teoría que habría de convertirse en una de las principales revoluciones científicas del siglo XX. En 1927 enunció el llamado principio de incertidumbre o de indeterminación, que afirma que no es posible conocer, con una precisión arbitraria y cuando la masa es constante, la posición y el momento de una partícula. De ello se deriva que

Werner Heisenberg



Heisenberg

Principio de
incertidumbre.

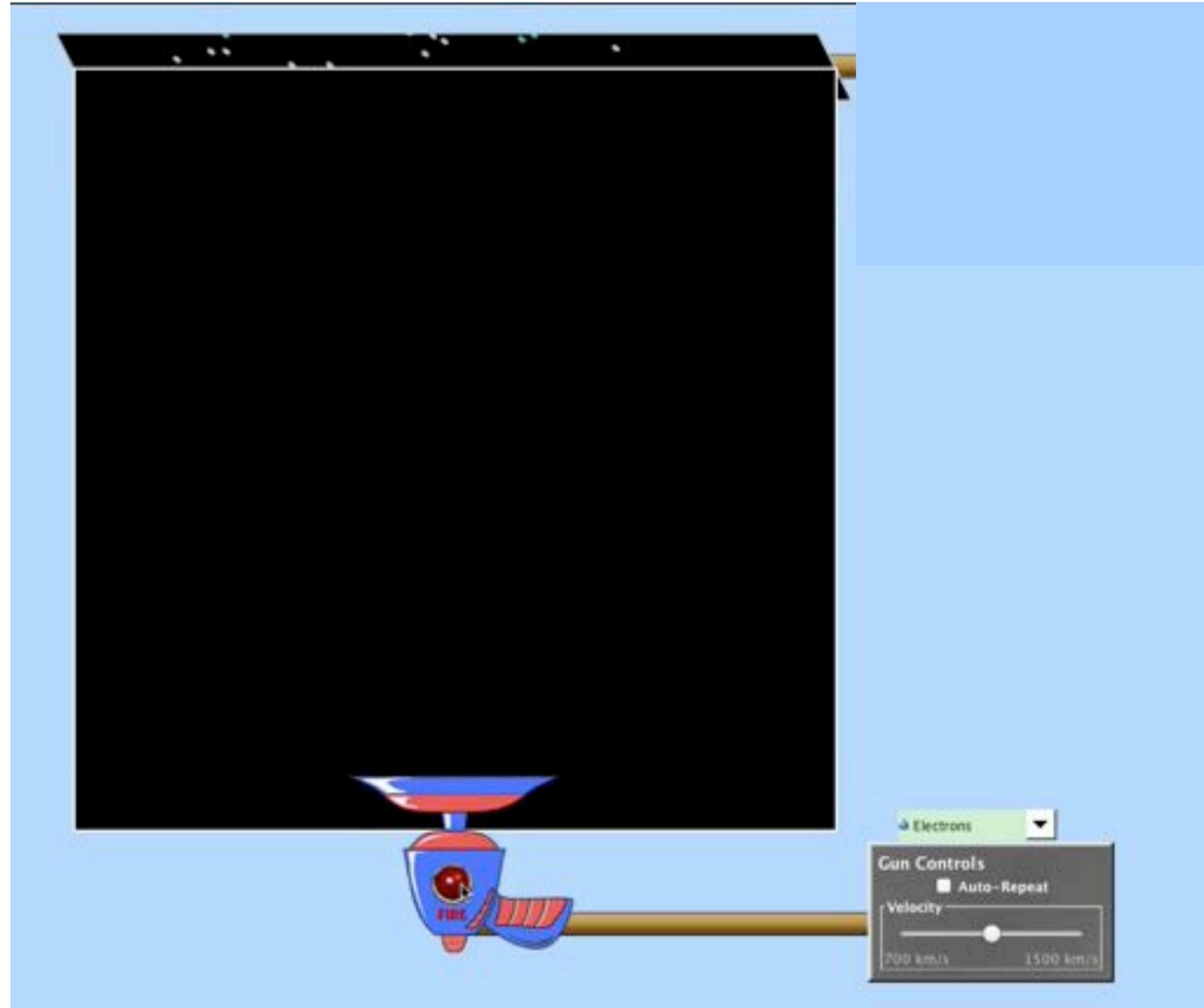
$$\Delta p \Delta x \geq \frac{\hbar}{2}$$

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

Heisenberg

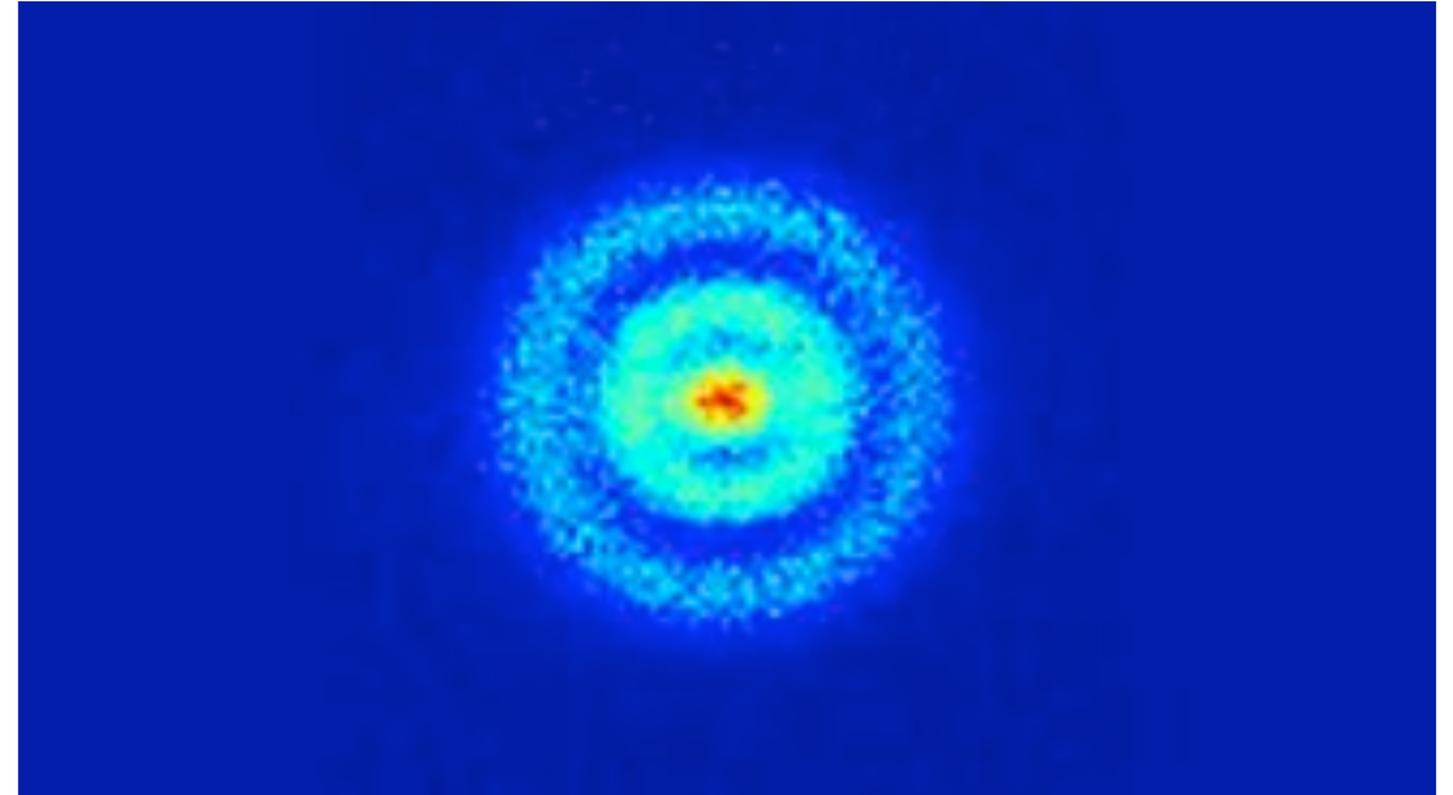
Principio de
incertidumbre.

Cuando un
electrón atraviesa
una doble rendija,
se comporta
como una onda.



Born

el visible.



Paul A M Dirac



(Bristol, Reino Unido, 1902-Tallahassee, EE UU, 1984) Físico británico.

En 1926, realizó su mayor contribución a esta ciencia al enunciar las leyes que rigen el movimiento de las partículas atómicas, de forma independiente y tan sólo unos meses más tarde de que lo hicieran otros científicos de renombre como Max Born o Pascual Jordan, aunque se distinguió de éstos por su mayor generalidad y simplicidad lógica en el razonamiento.

Suya fue también la revolucionaria idea según la cual el comportamiento del electrón puede ser descrito mediante cuatro funciones de onda que simultáneamente satisfacen cuatro ecuaciones diferenciales. Dirac sugirió que la deficiencia energética de un electrón en ese estado sería equivalente a una partícula de vida corta y cargada positivamente.

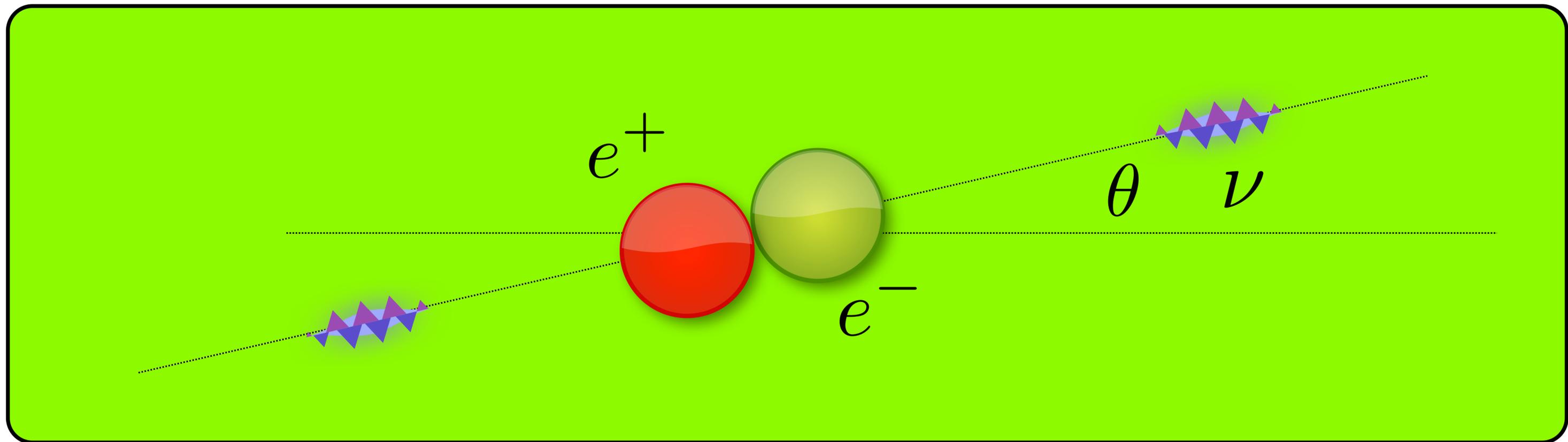
Estas y otras geniales contribuciones, como la teoría cuántica de la radiación o la mecánica estadística de Fermi-Dirac, le valieron el Premio Nobel de Física del año 1933, compartido con Schrödinger.

Ecuación de Dirac.

La ecuación de Schrödinger no es relativista (la relación entre energía y momento es clásica). La ecuación de Dirac es relativista.



Antipartículas



Ecuación de Dirac.

La ecuación de Dirac predice la existencia de antipartículas. Cuando un electrón se encuentra con su antipartícula positrón, se aniquilan mutuamente, emitiendo dos fotones de alta energía.

Paul Dirac y la tomografía por emisión de positrones

Se inyectan isótopos radiactivos que producen positrones cuando se desintegran. Los positrones se aniquilan con los electrones y la radiación que emiten se puede detectar con una cámara.

Albert Einstein y el láser

Con el fin de hacer coherente la distribución cuántica de niveles de energías dentro de un átomo, dada por una distribución de **Boltzmann**, con la distribución de las energías de los fotones que ese átomo emite y absorbe en sus saltos cuánticos, dada por una distribución de **Planck**, **Einstein** llega a la conclusión de que debe haber emisiones de luz estimuladas por fotones con la misma frecuencia que la luz emitida por el salto cuántico.

CHARACTERISTICS OF LASER RADIATION

www.monochromacity.com
Monochromacity



This is the other important property of laser light.

Diferencias entre la luz láser y la luz de incandescencia.

www.7active.in

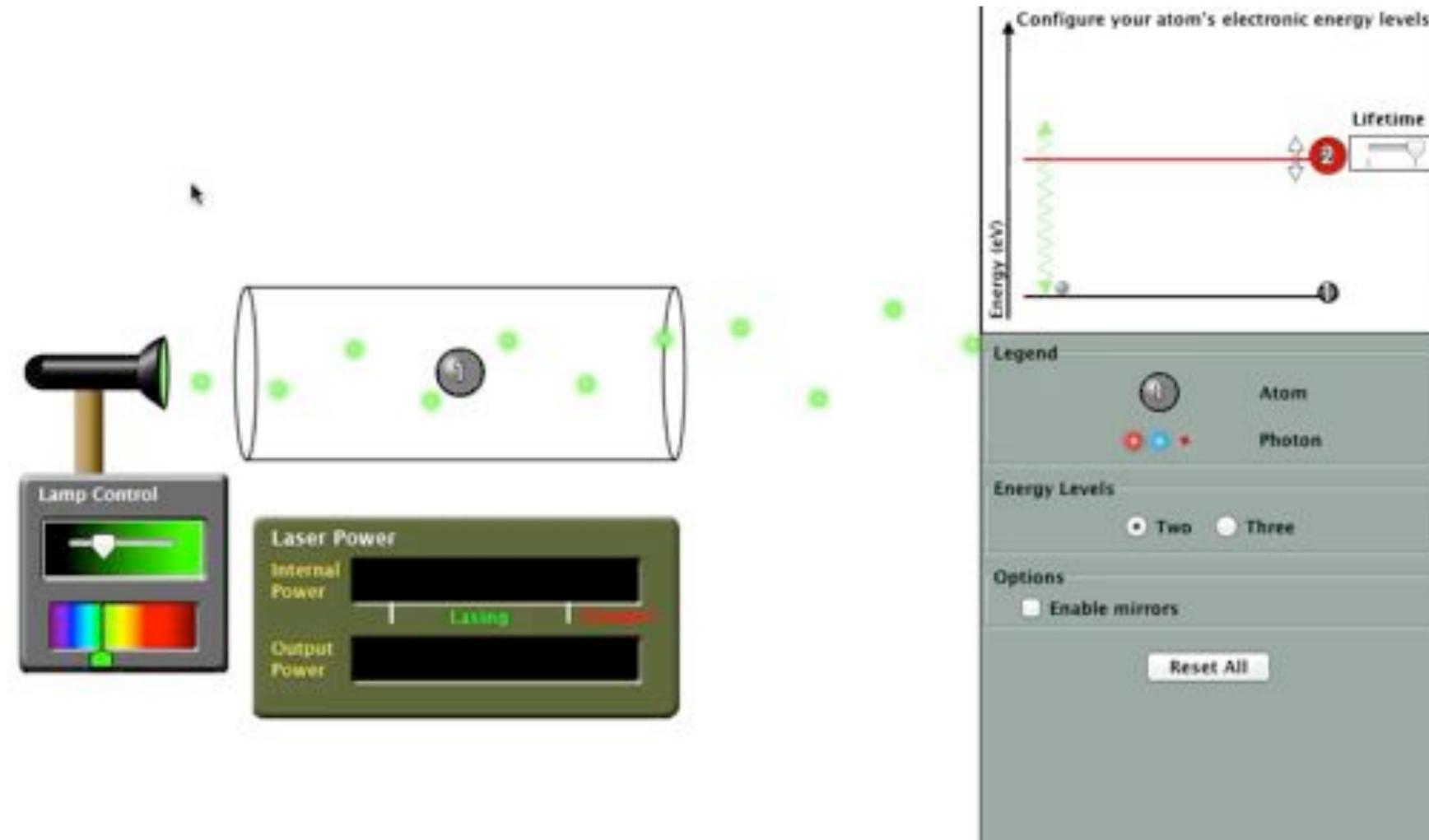
SAMPLE USE ONLY

PRINCIPLES AND WORKING OF A LASER

Primero se estimula la inversión de población y posteriormente se emiten fotones con la misma fase.

Albert Einstein

L ight
A mplification
S timulated
E mission
R adiation



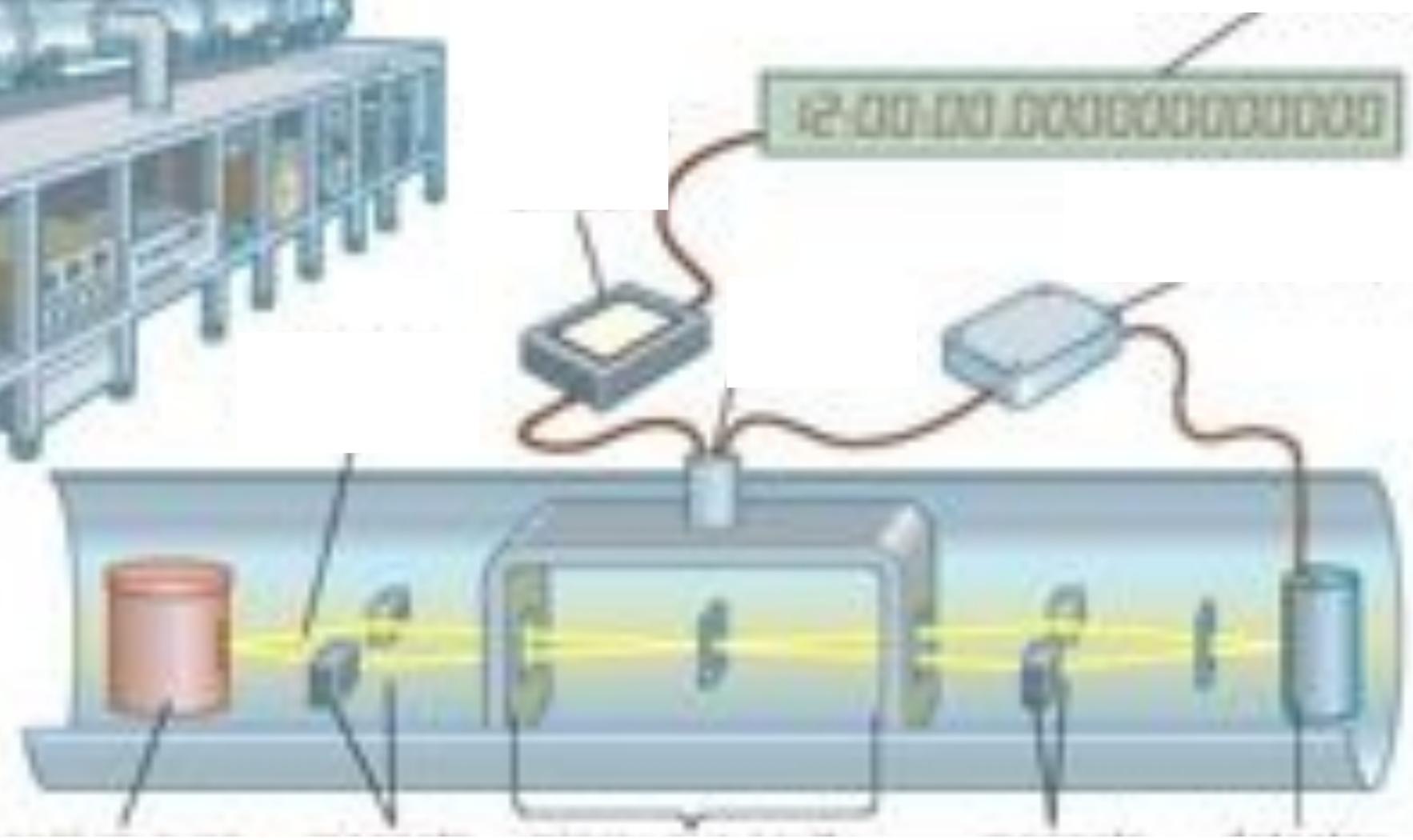
Láser.

En determinadas circunstancias, un cuerpo puede emitir luz formada por fotones de la misma frecuencia y emitidos en la misma dirección.

Diodos emisores de luz (LED)



Relojes atómicos



Relojes atómicos

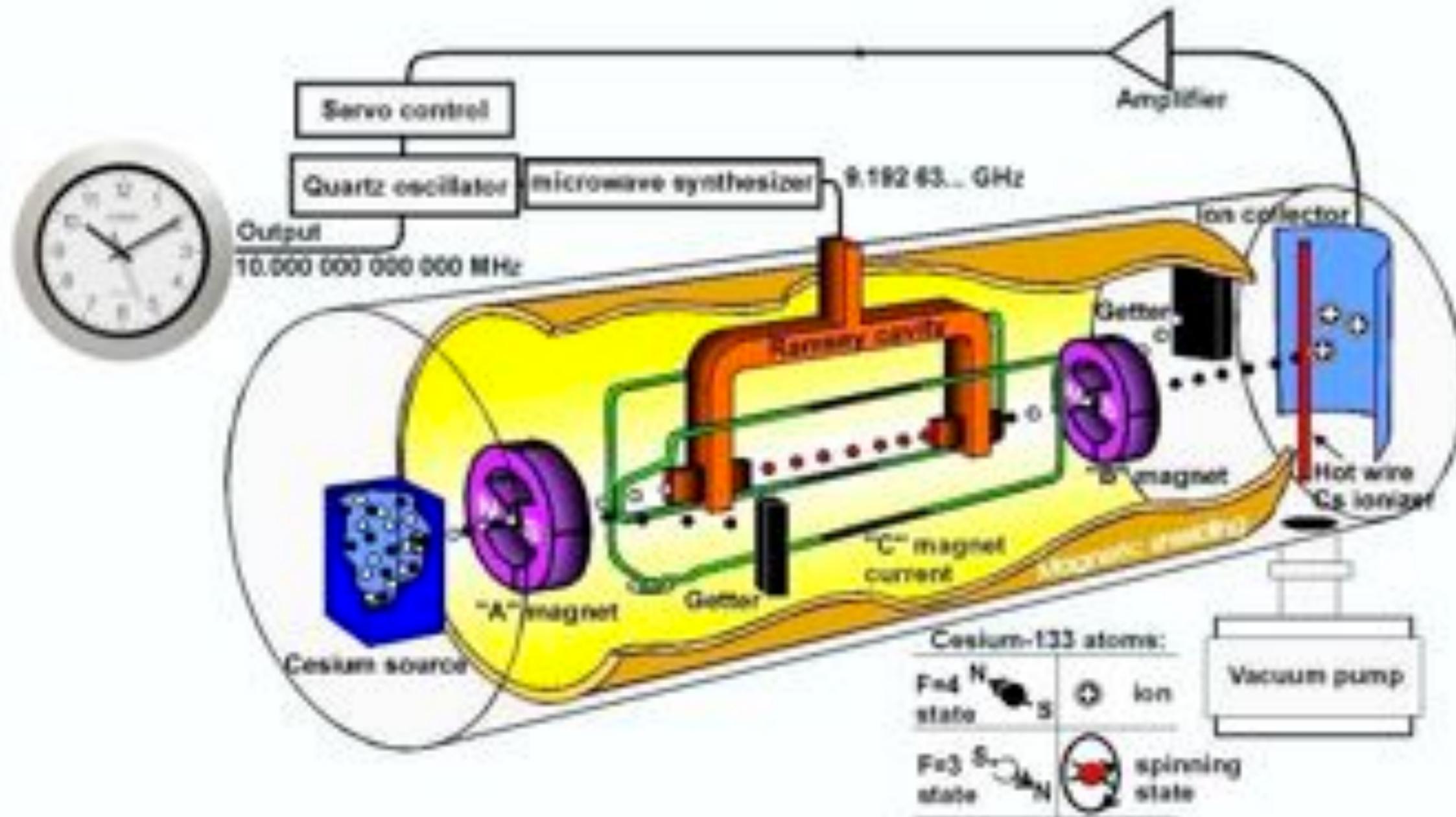
Los mejores patrones de frecuencia atómicos se basan en las propiedades físicas de las fuentes de emisión de **Cesio**. El primer reloj atómico de cesio se construyó en 1955 en el Laboratorio Nacional de Física (NLP), en Inglaterra. Sus creadores fueron Louis Essen y John V L Parry.

En el año 1967 los relojes atómicos basados en cesio habían conseguido fiabilidad suficiente como para que la Oficina Internacional de Pesas y Medidas eligiera la frecuencia de vibración atómica de los dispositivos creados y perfeccionados por Essen como nuevo patrón base para la definición de la unidad de tiempo físico.

Según este patrón, un segundo se corresponde con **9.192.631.770 ciclos** de la radiación asociada a la transición hiperfina desde el estado de reposo del isótopo de cesio 133: (^{133}Cs).

Lord Kelvin, en 1879, sugirió por primera vez la idea de utilizar la vibración atómica para medir el tiempo. El método práctico para su realización se convirtió en la resonancia magnética, desarrollada en el decenio de 1930 por Isidor Isaac Rabi. El primer reloj atómico fue un dispositivo de máser de amoníaco construido en 1949 en la Oficina Nacional de Normas de EE. UU.). Era menos exacto que los relojes de cuarzo existentes, pero sirvió para demostrar el concepto.

Relojes atómicos





Experimentos importantes en la Historia de la Física

Física cuántica y nuclear

Prof. J Güémez
Departamento de Física Aplicada
Universidad de Cantabria

Facultad de Ciencias, enero 2019