



[Agujeros negros](#) [Asteroides y cometas](#) [Constelaciones](#) [Eclipses](#) [Medio ambiente](#)
[Ecuaciones](#) [Estrellas](#) [Evolución](#) [Exoplanetas](#) [Galaxias](#) [Lunas](#) [Luz](#) [Materia](#)
[Nebulosas](#) [Niños](#) [Planetas y planetas enanos](#) [Sol](#) [Sondas y telescopios](#) [Tierra](#)
[Universo](#) [Volcanes](#) [Zodiaco](#) [Nuevos artículos](#) [Archivos](#)

[Home](#) > [España](#) > [Articulos](#) > [Efecto túnel de la mecánica cuántica](#)

Actualización 16 de diciembre 2012

Efecto túnel de la mecánica cuántica

Dualidad onda-partícula

Para entender el **Efecto túnel**, debe volver a la **dualidad onda-partícula** de la mecánica cuántica.

En 1911, Ernest Rutherford (1871 - 1937) especifica la estructura del átomo y da un tamaño al núcleo atómico de aproximadamente 10^{-14} metros, la pequeñez de este tamaño es difícil de imaginar en nuestra mente, pero es en estas dimensiones que las leyes de la mecánica cuántica se expresan.

En la **física clásica** los átomos son constituido de algunos número de electrones puntuales cargados negativamente y un núcleo cuasi puntual con carga positiva, pero plantea una paradoja.

La materia debe desaparecer, aniquilar-se porque un electrón que irradia alrededor de un núcleo pierde de la energía (teoría de James Clerk Maxwell) y por lo tanto debe caer en el núcleo. Esto significa que la estabilidad de un átomo es incomprensible en el contexto de la teoría clásica.

Por contra, la física cuántica explica el misterio del átomo y la estabilidad de la materia.

La **física cuántica** ha aparecido entre 1925 y 1927, derivado de de la mecánica cuántica iniciada por Max Planck (1858 - 1947) en 1900 y desarrollado por los grandes científicos del siglo XX, entre 1905 y 1924, Einstein, Bohr, Sommerfeld, Kramers, Heisenberg, Pauli y de Broglie. En el campo de infinitamente pequeño, una partícula se comporta simultáneamente, como una onda y como una partícula. La teoría cuántica es una teoría, por definición, no determinista, es decir, que aunque sabemos todos los parámetros en la salida, hay fenómenos que no podemos predecir.

Esta **incertidumbre** y esta **indeterminación** que son intrínsecas a la teoría y por lo tanto a las partículas subatómicas, constituyentes de la materia.

Además de la incertidumbre sobre la localidad, la mecánica cuántica tolerar la existencia de estados entrelazados, es decir que a la escala cuántica varios objetos separados en el espacio puede formar un único objeto cuántico, que reacciona globalmente, es importante para prever el efecto túnel.

En resumen, en el mundo cuántico, lo de las partículas subatómicas, los objetos pueden ser a la vez aquí y allí, en un estado u otro. Podemos determinar el estado de un "sistema cuántico" que en observando lo, lo que tiene para efecto de destruir el estado de que se trate. La mecánica cuántica, no se equivoca nunca hasta hoy, explica la existencia de la materia.

Esta es la gran aventura intelectual del siglo 20, pero teníamos imágenes para representarse la estructura de la materia cuántica.

Desde la invención de los primeros microscopios, el hombre siempre ha querido representarse el mundo microscópico. En 1981, dos investigadores de IBM, Gerd Binnig y Heinrich Rohrer fueron capaces de "ver" dimensiones muy, muy pequeñas del átomo inventando el microscopio de efecto túnel (STM), que reciben el Premio Nobel de Física 1986.

N.B.: en 1928 el físico estadounidense George Gamow descubre el Efecto túnel de la mecánica cuántica.

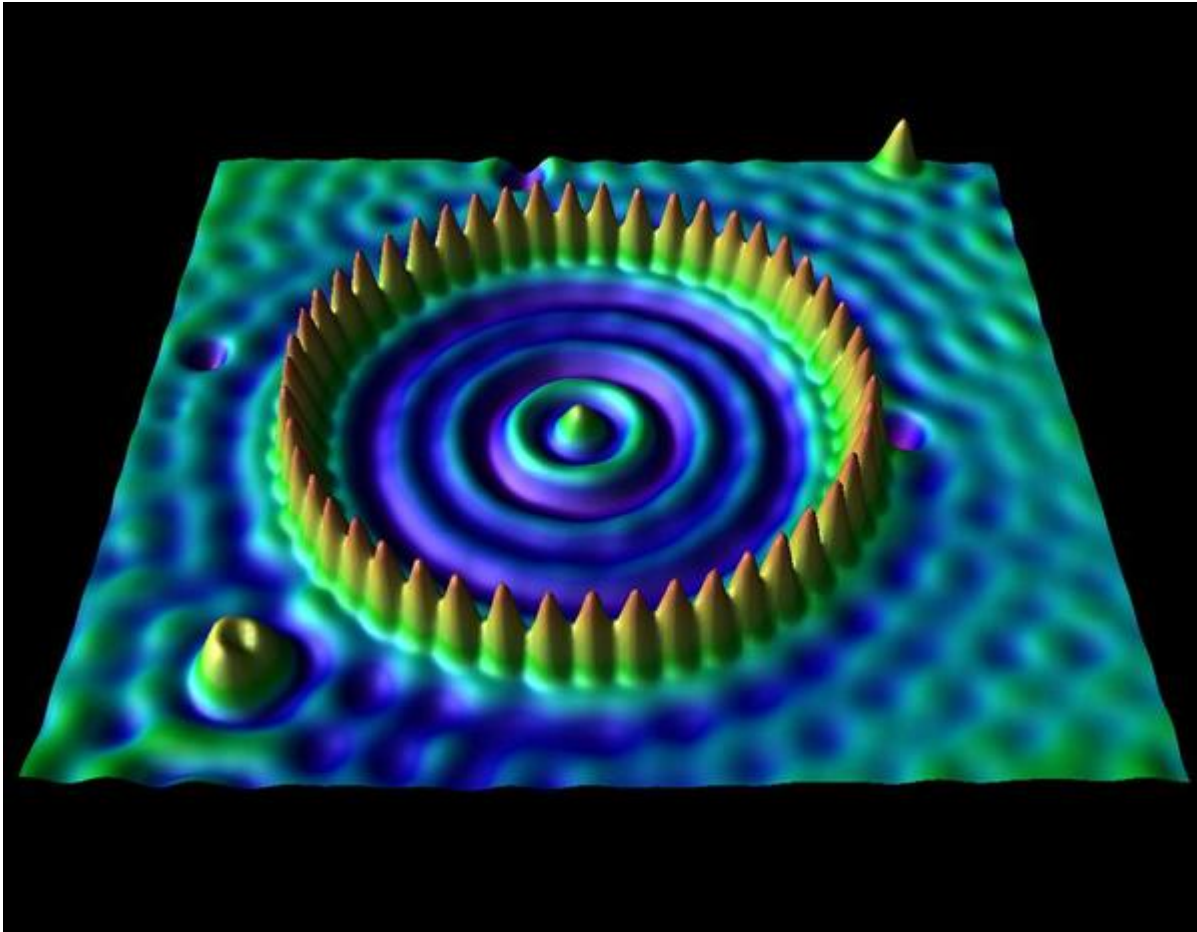


Imagen: Imagen tomada con un microscopio de efecto túnel. Esta imagen es de aproximadamente 5 nanómetros muestra una superficie de cobre, donde los átomos de cobre están contenidos dentro de un recinto cuántico de 48 átomos de hierro. La barrera circular del hierro tiene un radio de 71,3 Angstroms ($71,3 \times 10^{-10}$) metros. Vemos que los electrones se comportan como ondas.

IBM Almaden Visualization Lab

Microscopio de efecto túnel (STM)

El **STM** es ampliamente considerado como el instrumento que abrió el camino para la nanotecnología, la ciencia de los semiconductores, la biología molecular y muchas otras disciplinas científicas.

En la década de 1980, no se puede ver los átomos, entonces los físicos alemanes **Gerd Binnig** y **Heinrich Rohrer** utilizan un fenómeno cuántico en el que los átomos escapados de la superficie de un sólido, forman una especie de nube sobre la superficie. Al mover la punta de un metal sobre la superficie a una distancia muy pequeña, la superposición de nubes atómicas produce un intercambio atómico. El intercambio atómico produce una cantidad muy pequeña de corriente eléctrica fluya entre la punta y la superficie. Esta corriente eléctrica puede ser medida. Es a través de estas variaciones de la corriente que STM proporciona información sobre la estructura y la topografía de la superficie. A continuación, a partir de esta información, un modelo tridimensional a la escala atómica está construido lo que da una imagen de la superficie de la muestra. Así podemos ver hoy en día, este nuevo mundo cuántico y representarse la estructura de la materia en lo infinitamente pequeño. Para esta invención, Gerd Binnig y Heinrich Rohrer obtienen el Premio Nobel de Física en 1986.

El **microscopio de efecto túnel** ha precedido a todos los otros microscopios de campo cercano, más modernos, como el microscopio de fuerza atómica (AFM) y el microscopio óptico de campo cercano.

Este tipo de microscopios de campo cercano ha permitido el desarrollo de la nanotecnología que necesita manipular objetos del tamaño nanométrico (menos de la longitud de onda de la **luz visible** de 400 a 800 nm).

El microscopio de efecto túnel ilustra vívidamente la mecánica cuántica, midiendo los "recintos cuánticos".

Las imágenes de los recintos cuánticos nos muestran la analogía entre las ondas de materia asociados con los electrones y las olas en la superficie del agua (imagen superior).

La microscopía de efecto túnel requiere el uso de un conductor de electricidad, pero si la muestra es aislante, se utiliza una técnica similar a la microscopía de fuerza atómica (AFM Atomic Force Microscope).

Hoy en día, los materiales amorfos, no cristalinos, son observados por el microscopio de fuerza atómica.

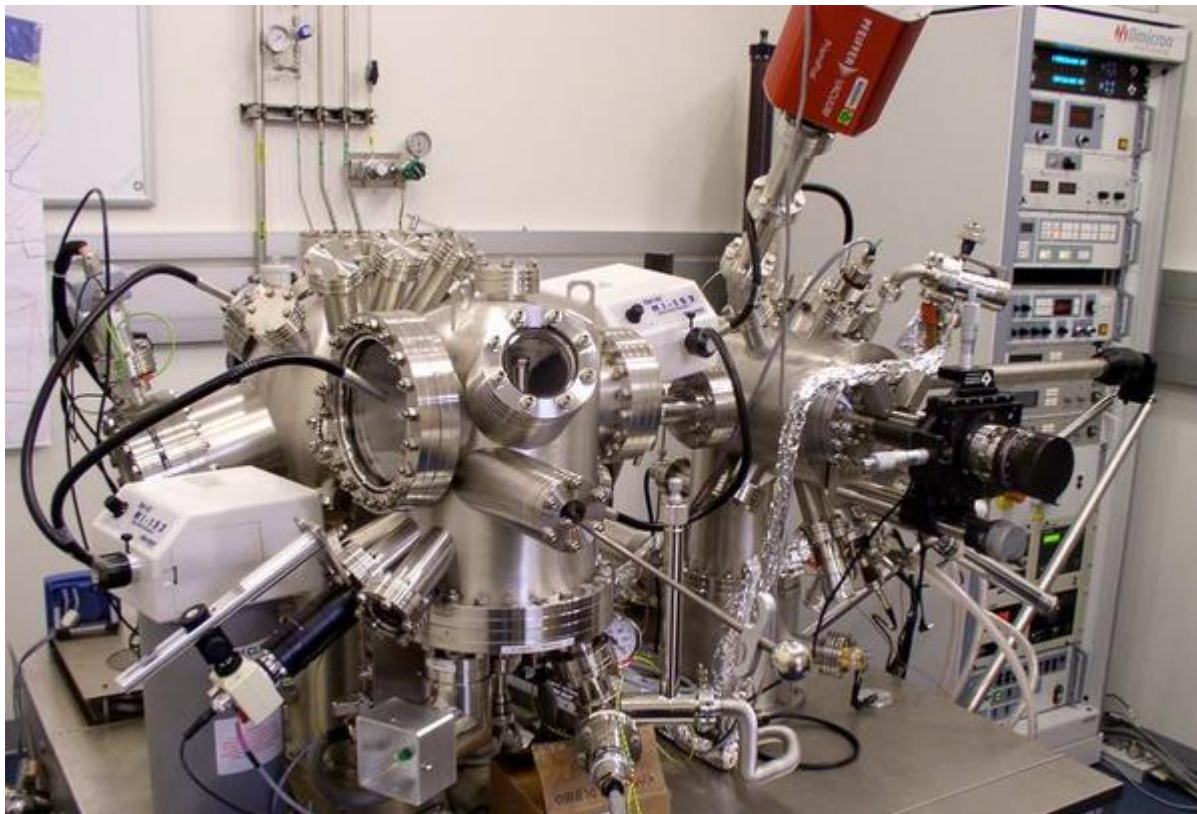


Imagen: La microscopía de efecto túnel requiere el uso de una muestra de material conductor de la electricidad, pero si la muestra es un aislante, entonces se utiliza la microscopía de fuerza atómica. Omicron VT-AFM XA (AFM Atomic Force Microscope - STM Scanning Tunneling Microscope)

Efecto túnel

Llegamos ahora al efecto túnel. En cualquier onda está asociado una partícula, se llama la dualidad onda-partícula. En la física clásica, la partícula no puede escapar de su núcleo, si su energía cinética es mayor que la energía potencial de su enlace con el núcleo. Para un electrón, el límite para pasar es la energía potencial de su enlace, que es la fuerza electromagnética que lo mantiene en su recinto.

Para el protón, el límite para pasar es la energía potencial de su enlace, es decir la fuerza nuclear fuerte que lo mantiene pegado a los otros nucleones.

En la física cuántica, se pasa otramante, la partícula está representada por su onda y esta onda no está completamente atrapado dentro de la caja alrededor del núcleo, que puede ir hasta el otro lado de la barrera potencial incluso si su energía cinética es menor que la energía potencial. Por supuesto, la probabilidad de escaparse del núcleo es extremadamente pequeña, pero existe. Además, esta propiedad de de la mecánica cuántica explica la desintegración de la materia.

Todo ocurre como si la onda cavó un "túnel" a través de la barrera de potencial para ser en el otro lado de la pendiente, así liberado del pegamento electromagnética o nuclear, la repulsión electrostática se hace cargo, esto es conoce como el efecto túnel de la mecánica cuántica.

Así, el electrón puede pasar a través del vacío del átomo, salir del metal que lo contiene y alcanzar otro metal conductor. Pero la imagen de la transición cuántica es más sutil, que es comparable a la imagen de un fantasma que cruza una pared.

La parte del nube electrónico o protónico cruza la barrera de potencial de protones o electrones nube puerta de paso mientras que el otro permanece en el átomo 'biseca' la nube se recuperará en un lado o el otro, como si no hubiera un nano túnel.

El nube electrónico o protónico por lo tanto, pasar o no en función de su energía cinética.

En resumen, más la barrera de potencial esta mayor mas el grosor a través esta grande y más el núcleo 'vive mucho tiempo'. De hecho, esto explica los tiempos de media vida de los isótopos (ver nota más abajo).

Los tiempos de media vida es muy largo para algunos isótopos de los elementos químicos, tales como el uranio-238 (4,5 millones de años), uranio-234 (240 000 años) o radio 226 (1600 años). Por contra, la intensa radiactividad del radón acorta su media vida es de 3,8 días para el radón-222 utilizado en radioterapia.

Si representamos mediante un diagrama, la energía potencial de una partícula, como el electrón o el protón unido a un núcleo, se puede imaginar una colina baja a lejos del centro de atracción.

Deducimos que más la radiactividad es fuerte, menos será larga la excavación del túnel (foto de abajo contras).

Pero la onda no se detuvo en un punto preciso, se extiende en la barrera, aunque su amplitud disminuye rápidamente si

la barrera de potencial es muy delgada, la onda atraviesa como un fantasma y se extiende al siguiente punto de atracción.

Esta es una consecuencia directa de la naturaleza probabilística de la onda asociada con la evolución de una partícula cuántica, porque incluso si la función de onda de la partícula debilitado a través de la barrera, hay una probabilidad distinta de cero pase a su través.

N.B.: la media vida es el período radiactivo. Este es el tiempo requerido para que la mitad de los núcleos radiactivos de un isótopo decaea a convertirse en un elemento estable.

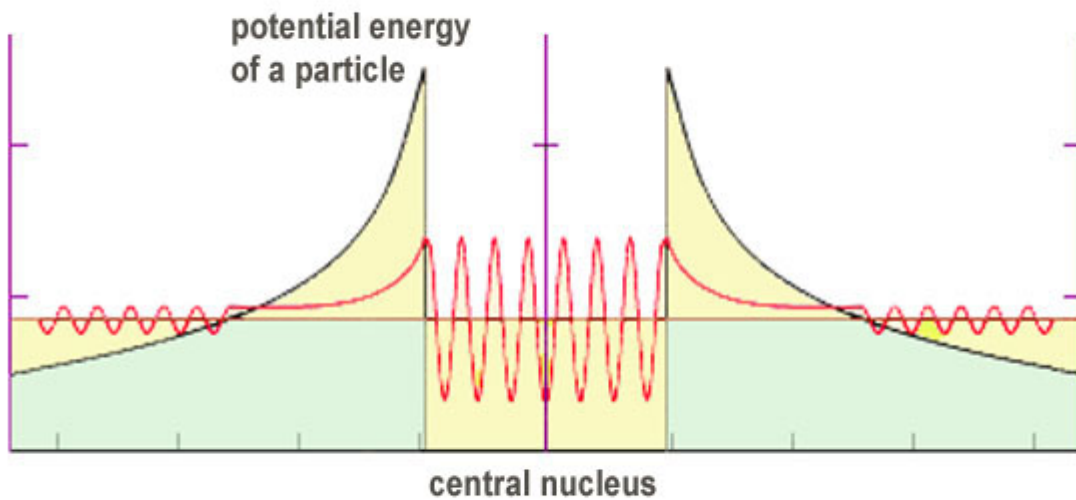
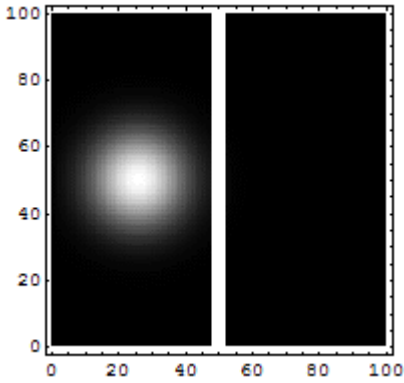
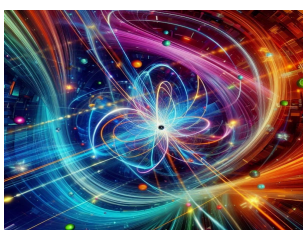
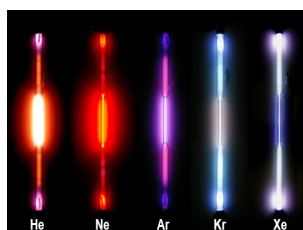


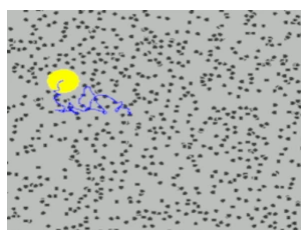
Imagen: Onda que representa una partícula en el núcleo. La onda asociada con la partícula no es completamente localizada en el centro del núcleo, pero se solape ligeramente con el otro lado de la barrera de potencial con una probabilidad extremadamente pequeña. Más la barrera de potencial es mayor, más el espesor a cruzar es grande. Wikipedia.



El Pentaquark: ¿una nueva pieza del rompecabezas



¿Por qué son raros los Gases Raros?

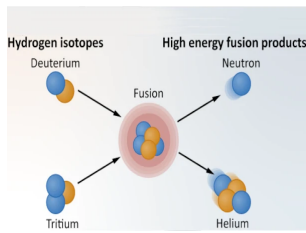


El Movimiento Browniano: un Vínculo entre Dos

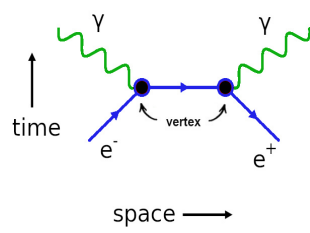


Los 4 artículos de Albert Einstein del año 1905

cósmico!

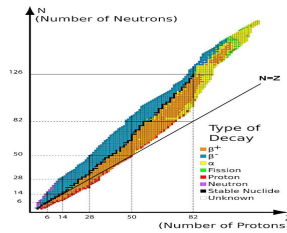


¿Por qué la fusión nuclear requiere tanta energía?

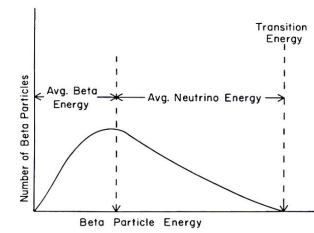


Diagramas de Feynman y física de partículas

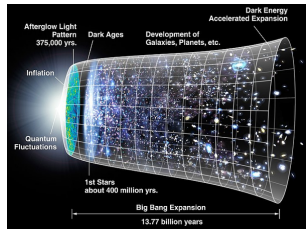
Mundos



Las estrellas no pueden crear elementos más pesados que el hierro debido a la barrera de inestabilidad nuclear



¿Qué es la radiactividad β?



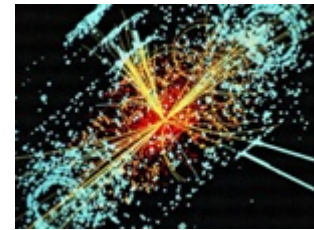
Teoría del muro de Planck



¿Está realmente vacío el vacío?



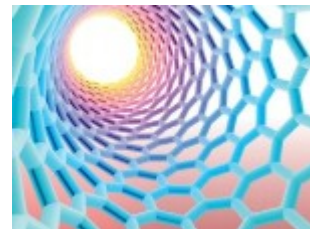
El gran colisionador de hadrones



El hadrón no es un objeto fijo



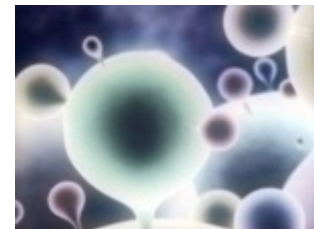
Radiactividad, natural y artificial



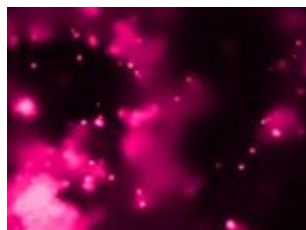
La escala de las nanopartículas



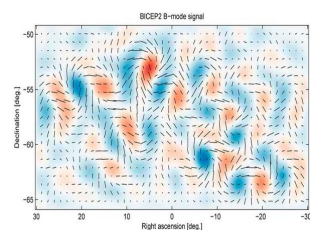
El gato de Schrödinger



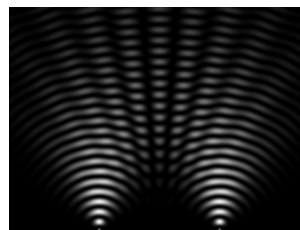
Antes del big bang el multiverso



Inflación eterna



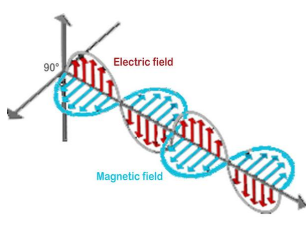
Las ondas gravitacionales



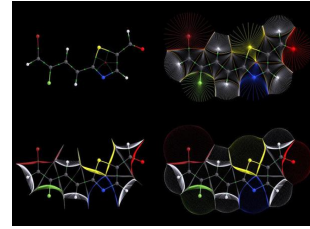
Principio de absorción y de emisión atómica, naturaleza de la luz



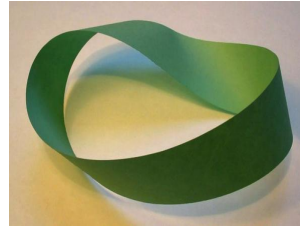
Más allá de nuestros sentidos



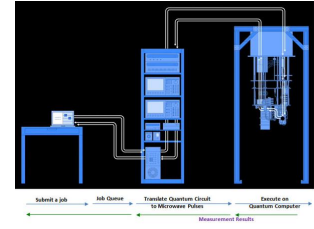
¿Qué es una onda?



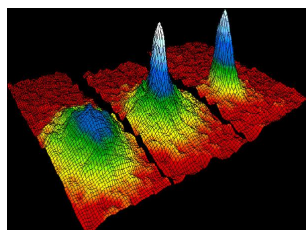
Los campos de la realidad: ¿qué es un campo?



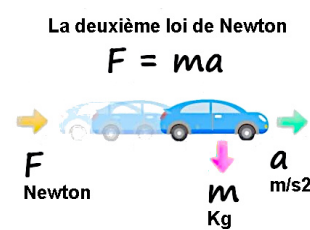
Espacio en el tiempo



Calculadora o computadora cuántica



Condensado de Bose-



Ecuación de las tres leyes

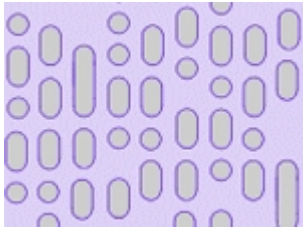


Concepto de campo en



El electrón, una especie de

Einstein



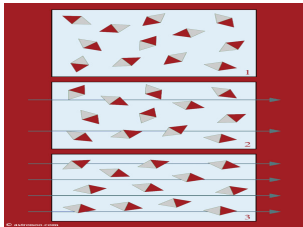
Entropía y desorden

Constituents de la matière				Bosons de jauge		
1 ^{ère} famille	2 ^{ème} famille	3 ^{ème} famille	Interaction forte	Interaction électro-magnétique	Interaction faible	Bosons de Higgs
Quarks Up (u) (0.23 GeV)	Charm (c) (1.3 GeV)	Top (t) (174 GeV)	Gluons (g) (8)	Photon (γ)	W ⁺ (80.4 GeV) W ⁻ (80.4 GeV) Z ⁰ (91.2 GeV)	Boson de Higgs (125 GeV)
Down (d) (0.06 GeV)	Strange (s) (0.14 GeV)	Bottom (b) (4.3 GeV)				
Leptons Electron (e) (0.0005 GeV)	Muon (μ) (0.106 GeV)	Tau (τ) (1.7 GeV)				
Neutrinos Neutrino électronique (ν _e) (~0 GeV)	Neutrino muonique (ν _μ) (~0 GeV)	Neutrino tauique (ν _τ) (~0 GeV)				

El neutrino y la radiactividad beta



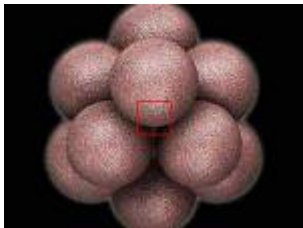
Espectroscopia, una fuente inagotable de informaciones



El orden magnético y la magnetización

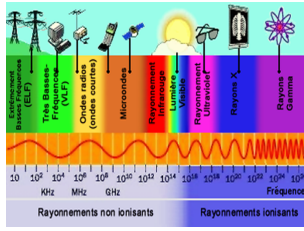


Ecuación de inducción electromagnética

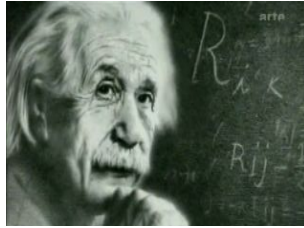


El misterio de la estructura del átomo

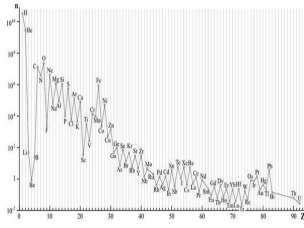
de Newton



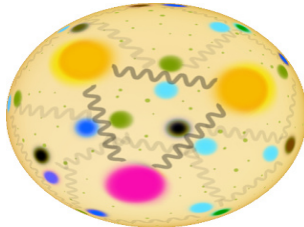
Luz, toda la luz del espectro



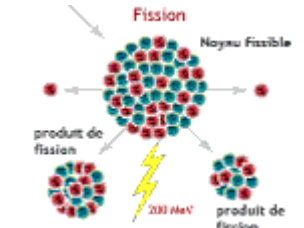
El espacio-tiempo de Einstein



Abundancia de elementos químicos en el universo



El confinamiento de los quarks

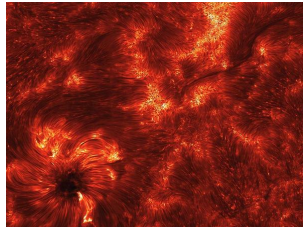


Fusión nuclear, fuente de energía natural

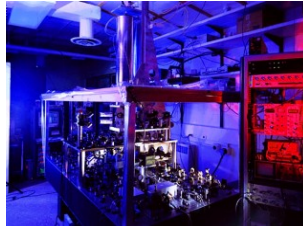


El misterio de la materia, de dónde viene la masa

física



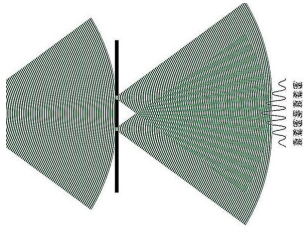
El viaje infernal del fotón



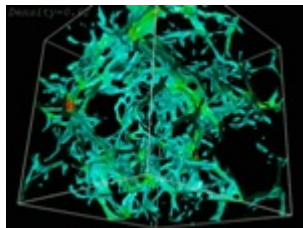
La increíble precisión del segundo



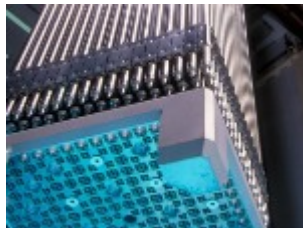
Efectos de la aberración de la luz



Superposiciones de estados cuánticos

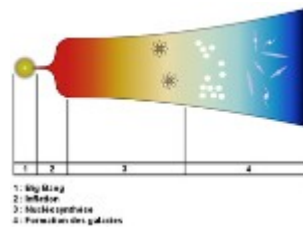


¿Existe la materia oscura?

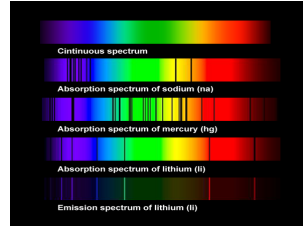


Energía nuclear y uranio

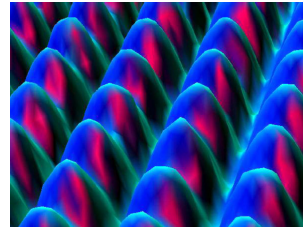
punto eléctrico



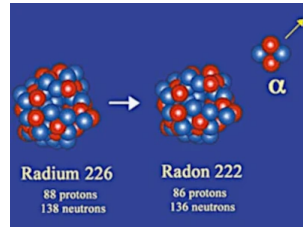
Misterio del Big Bang, el problema del horizonte



¿Por qué la física tiene constantes?



El tamaño de los átomos



Radioactividad alfa (α)



Materia no bariónica



El universo de los rayos X



¿Cuántos fotones para calentar un café?

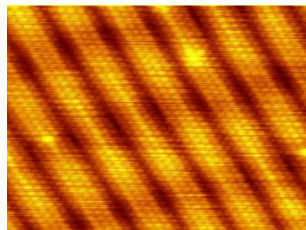
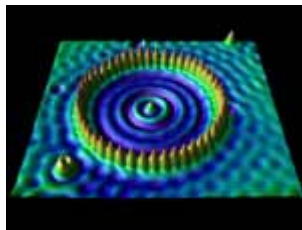


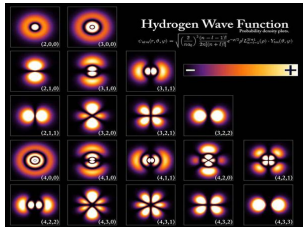
Imagen del átomo de oro, microscopio de efecto túnel



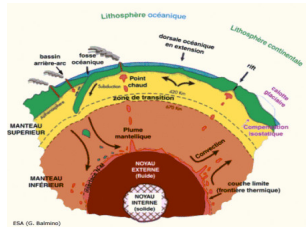
Efecto túnel de la mecánica cuántica

u up 1/6	c charm 2/3	t top 2/3	γ photon 0
d down -1/6	s strange -1/6	b bottom -1/6	g gluons 0
ν _e neutrinos 0	ν _μ neutrinos 0	ν _τ neutrinos 0	Z ⁰ bosons 0
e electron -1/6	μ muon -1/6	τ tau -1/6	W [±] bosons ±1

Las 12 partículas de materia



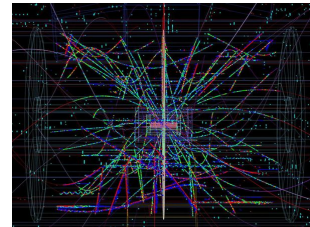
Átomo o orbital atómico



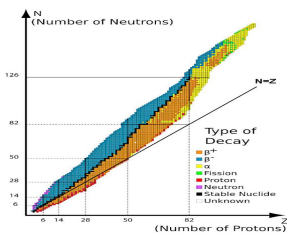
La radiactividad de la Tierra



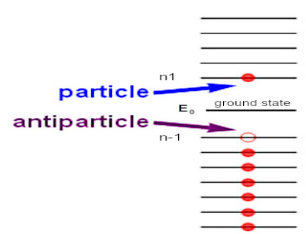
Segundo intercalar



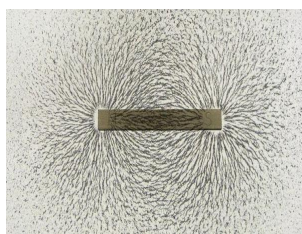
El vacío tiene una energía considerable



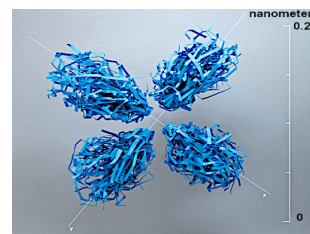
El valle de estabilidad de los núcleos atómicos



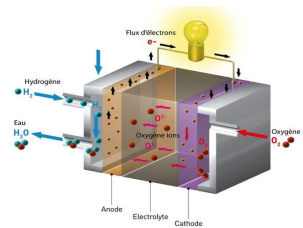
Antimateria y antipartícula



¿Qué es una carga eléctrica?



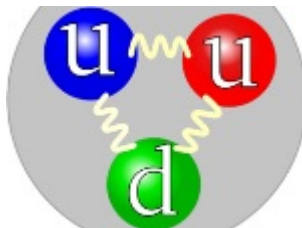
¿Nuestra materia no es cuántica!



¿Por qué utilizar hidrógeno en la pila de combustible?



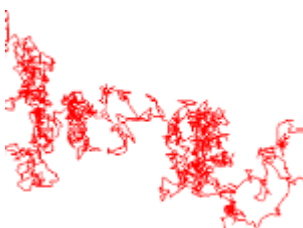
Los secretos de la gravedad



E=mc² explica la masa del protón



Imagen de la gravedad desde Albert Einstein



El año milagroso de Einstein: 1905

$$E = MC^2$$

$$E = \frac{1}{2} M_0 v^2 + \frac{3}{8} \frac{M_0 v^4}{c^2} + \frac{5}{16} \frac{M_0 v^6}{c^4} + \dots$$

$$M_0 c^2 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{v}{c} \right)^2 + \frac{3}{8} \left(\frac{v}{c} \right)^4 + \frac{5}{16} \left(\frac{v}{c} \right)^6 + \dots \right]$$

$$M_0 c^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right] = \frac{M_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\Delta P = \frac{M_0 c^2}{c} \frac{v}{c} = \frac{M_0 v}{c}$$

¿Qué significa realmente la ecuación E=mc²?



Relatividad especial y espacio y tiempo