

	masa kg	carga C
protón	$1,672 \cdot 10^{-27}$	$+1,602 \cdot 10^{-19}$
neutrón	$1,674 \cdot 10^{-27}$	0
electrón	$9,11 \cdot 10^{-31}$	$-1,602 \cdot 10^{-19}$

	masa u	carga relativa
protón	1,0073	+1
neutrón	1,0089	0
electrón	0	-1

Energía de enlace

La masa del protón es $1,672 \cdot 10^{-27}$ kg y la del neutrón $1,674 \cdot 10^{-27}$ kg. Si queremos calcular la masa de un núcleo a partir de las partículas que lo componen nos damos cuenta de que la masa del núcleo es menor que la masa de los componentes. A esa diferencia le llamamos defecto másico.

Como la masa y la energía están relacionadas por la ecuación $E = mc^2$ vamos a llamar energía de enlace al equivalente en energía de esa diferencia de masa y energía de enlace por nucleón (EEN) al resultado de dividir esa energía entre el número de partículas que componen el núcleo (nucleones).

Ejemplo:

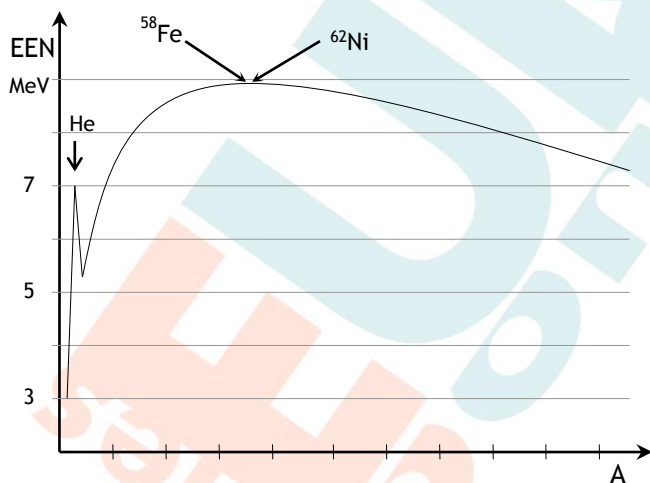
El ${}^7_3\text{Li}$ tiene una masa real de $1,164656 \cdot 10^{-26}$ kg

El ${}^7_3\text{Li}$ tiene 4n y 3p en el núcleo, por lo que su masa teórica sería:

$$4 \cdot (1,674 \cdot 10^{-27}) + 3 \cdot (1,672 \cdot 10^{-27}) = 1,1712 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

el defecto de masa es $\Delta m = m_{\text{TEORICA}} - m_{\text{REAL}} = 1,1712 \cdot 10^{-26} - 1,164656 \cdot 10^{-26} = 6,544 \cdot 10^{-29}$ kg

y la energía de enlace es $E = \Delta m \cdot c^2 = 6,544 \cdot 10^{-29} (3 \cdot 10^8)^2 = 5,8896 \cdot 10^{-12}$ J, como el ${}^7_3\text{Li}$ tiene 7 nucleones, la energía de enlace por nucleón será $8,4137 \cdot 10^{-13}$ J.



Cuando se trata de átomos la energía suele expresarse en eV ($1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ J). Para el caso del Li, la energía de enlace es 36,81 MeV y la energía de enlace por nucleón 5,26 MeV

La energía de enlace por nucleón nos da una idea de la estabilidad de un núcleo.

Si representamos gráficamente la energía de enlace por nucleón frente al número másico, vemos que el ${}^{62}\text{Ni}$ es el elemento en el que se alcanza el valor máximo absoluto (8,8 MeV). Hay un máximo relativo en el He.

Estabilidad nuclear

En la naturaleza hay cuatro interacciones fundamentales:

Gravitatoria: La experimentan todas las partículas. Tiene un alcance infinito. Siempre es atractiva y es muy débil.

Electromagnética: La experimentan todas las partículas con carga. Tiene un alcance infinito. Es atractiva o repulsiva, dependiendo del signo de las cargas. Para el caso de protones es 10^{36} veces mayor que la gravitatoria.

$$\frac{F_E}{F_G} = \frac{k \cdot q^2}{G \cdot m^2} = 1,35 \cdot 10^{36}$$

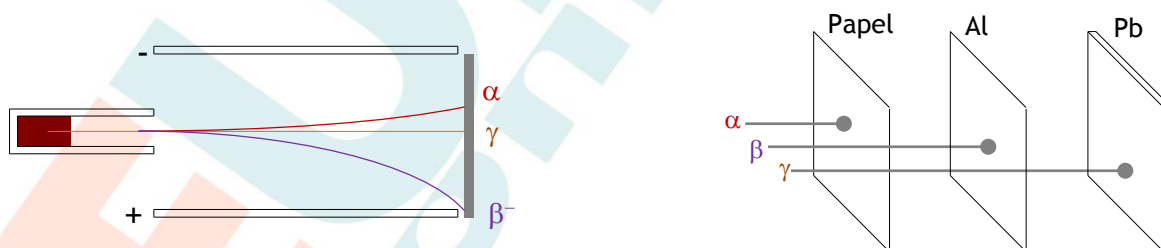
Nuclear fuerte: En el núcleo están alojados los protones a una distancia muy pequeña y el átomo no se rompe, por lo que tiene que existir una fuerza, superior a la repulsión entre cargas, que los mantenga juntos. Esta fuerza tiene un alcance muy corto. Es atractiva hasta una distancia de 10^{-15} m y es del orden de 100 veces mayor que la electromagnética. Es independiente de la carga eléctrica y tiene el mismo valor para las uniones p-p, n-n y n-p. Cada nucleón interactúa con un número determinado de nucleones independientemente del tamaño del núcleo.

Nuclear débil: la experimentan los nucleones. Tiene un alcance muy corto (10^{-17} m). Es menor que la fuerza electromagnética. Se pone de manifiesto en partículas en las que no actúa la interacción fuerte.

Interacción	Actúa sobre	Alcance	Valor relativo
Gravitatoria	Masas	infinito	10^{-38}
Electromagnética	Cargas	infinito	10^{-2}
Nuclear débil	Leptones y quarks	10^{-17} m	10^{-5}
Nuclear fuerte	Quarks	10^{-15} m	1

Radiactividad

Descubierta accidentalmente por Becquerel en 1896. El fenómeno se debe a un núcleo inestable que emite radiación y se transforma en otro más estable. Las radiaciones emitidas pueden ser partículas (α, β^-, β^+), ondas electromagnéticas (rayos X, rayos γ) o ambas. Entre los elementos ligeros, las radiaciones más frecuentes son las de tipo beta (β^-, β^+), que son electrones o positrones procedentes del núcleo y gamma (γ), que son ondas electromagnéticas.



Las leyes que rigen los distintos tipos de desintegración fueron descubiertas por Soddy y Fajans.

Radiación Alfa. Son núcleos de Helio. Un núcleo emite una partícula alfa y se convierte en otro que tiene dos unidades menos de número atómico y cuatro unidades menos de masa:



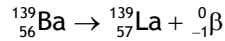
Es una radiación poco penetrante; se puede detener con un papel, pero es muy ionizante: si choca con un átomo puede arrancarle un electrón. Se produce en núcleos con número atómico elevado, $Z > 80$, y su emisión va acompañada de un desprendimiento grande de energía. La partícula α emitida lleva una velocidad del orden de 10^7 m·s⁻¹.

Radiación Beta. Es una radiación más penetrante que la alfa pero menos ionizante; se puede detener con una lámina metálica. Puede ser de dos tipos:

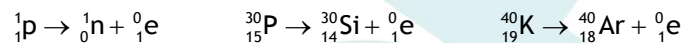
Beta- Son electrones procedentes del núcleo ¿? En el núcleo, para reducir las repulsiones, se producen las siguientes reacciones:



Cuando un núcleo emite una partícula β^- aumenta el número atómico en una unidad y se mantiene la masa.

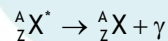


Beta + Son positrones, iguales que los electrones pero con carga positiva. Proceden del núcleo como resultado de la descomposición de los protones:



Cuando un núcleo emite una partícula β^+ disminuye el número atómico en una unidad pero se mantiene la masa.

Radiación gamma. Cuando un núcleo la emite se desprende energía y el núcleo se estabiliza pero no se produce ninguna transformación. Es una radiación electromagnética de longitud de onda muy corta y muy penetrante; solo se detiene con planchas de plomo o muros de hormigón.

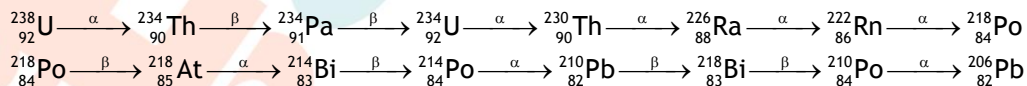


Series Radiactivas

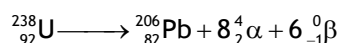
Cuando un núcleo se desintegra se transforma en otro que, si no es estable, sigue desintegrándose. Una serie radiactiva es un grupo de núcleos en el que cada uno se forma por desintegración del anterior. El primero de la serie es el elemento padre y el último, que es estable, es el producto final de la serie. Se conocen cuatro series radiactivas:

Serie	Origen	Final
4n	${}_{90}^{232}\text{Th}$	${}_{82}^{208}\text{Pb}$
4n+1	${}_{93}^{237}\text{Np}$	${}_{82}^{209}\text{Pb}$
4n+2	${}_{92}^{238}\text{U}$	${}_{82}^{206}\text{Pb}$
4n+3	${}_{92}^{235}\text{U}$	${}_{82}^{207}\text{Pb}$

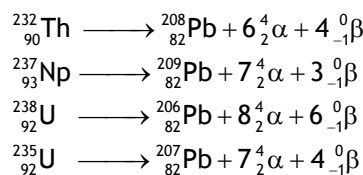
La serie 4n+2 es:



que se puede simplificar como:



La reacción global de cada una de las cuatro series es:



Ley de desintegración radiactiva

Si tenemos una muestra de un material radiactivo, el número de núcleos que se desintegran en un intervalo de tiempo depende del tiempo, de la cantidad de núcleos y del tipo de núcleo. Podemos escribir la velocidad de desintegración como:

$$v_{\text{DESINT}} = -\frac{dN}{dt} = kN$$

en donde k es la constante de desintegración, tiene un valor diferente para cada isótopo y representa la probabilidad de desintegración por unidad de tiempo.

Si ordenamos la ecuación y la integramos desde el estado inicial hasta el estado final, tenemos:

$$\int_{N_0}^{N_F} \frac{dN}{N} = \int_0^t k dt \rightarrow \text{Ln} N_F - \text{Ln} N_0 = -kt; \quad \text{Ln} \frac{N_F}{N_0} = -kt \rightarrow N_F = N_0 e^{-kt}$$

Periodo de semidesintegración $T_{1/2}$

Es el tiempo que tiene que pasar para que una muestra radiactiva se reduzca a la mitad. Para calcularlo, solo tenemos que utilizar la ley de desintegración teniendo en cuenta que

$$N_F = \frac{N_0}{2}; \quad \text{Ln} \frac{N_F}{N_0} = \text{Ln} \frac{1}{2} = -k T_{1/2} \rightarrow T_{1/2} = \frac{\text{Ln} 2}{k}$$

Vida media τ

Es el promedio de vida de un núcleo antes de desintegrarse. Es la inversa de la constante de desintegración: $\tau = \frac{1}{k} = \frac{T_{1/2}}{\text{Ln} 2}$ ¡Ojo! No confundir vida media y periodo de semidesintegración.

Actividad de una muestra

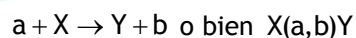
También llamada velocidad de desintegración es el número de núcleos que desaparecen por unidad de tiempo. $A = kN = v_{\text{DESINT}}$

La actividad se mide en Bq (Becquerel). 1 Bq = 1 desintegración/s.

A veces se utiliza el Curio, 1Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq.

Reacciones nucleares

Son interacciones entre núcleos o entre núcleos y partículas elementales. Los núcleos a y X interaccionan para dar lugar a los núcleos Y y b . La reacción se puede indicar como



La primera reacción nuclear artificial se realizó en 1919: ${}^1_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$

Para que una reacción nuclear esté ajustada tiene que coincidir la suma de números atómicos y de números másicos antes y después de la reacción.

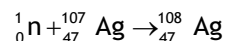
Tipos de reacciones nucleares:

Dispersión

La partícula emergente es de la misma naturaleza que el proyectil. Puede ser elástica o inelástica. Es elástica cuando la energía de los reactivos es igual a la de los productos. Es inelástica si la diferencia de energía es absorbida por el blanco y queda excitado. Los núcleos X,Y son iguales.

Captura

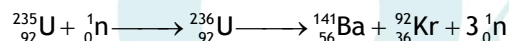
En esta reacción la partícula que llega es absorbida por el núcleo sin que se desprenda ninguna partícula:



Fisión

Un núcleo pesado se rompe en dos núcleos de tamaño intermedio. Al mismo tiempo se produce una emisión de neutrones, radiación gamma y se desprende una gran cantidad de energía. Este tipo de reacciones se produce por la captura de un neutrón.

La reacción típica de fisión es:



Aunque el ${}^{235}\text{U}$ puede descomponerse de otras formas:



En cada una de estas reacciones se desprende una energía del orden de 200 MeV.

Cada uno de los neutrones emitidos puede colisionar con otros átomos de Uranio y dar lugar a una reacción en la que intervienen 3, 9, 27, 81, 243, 729, 2187, ... núcleos, con lo que se produce una explosión. Si somos capaces de conseguir absorber 2 de los 3 neutrones desprendidos tenemos una reacción en cadena en la que se va desprendiendo energía de forma controlada. Esto es lo que ocurre en los reactores nucleares.

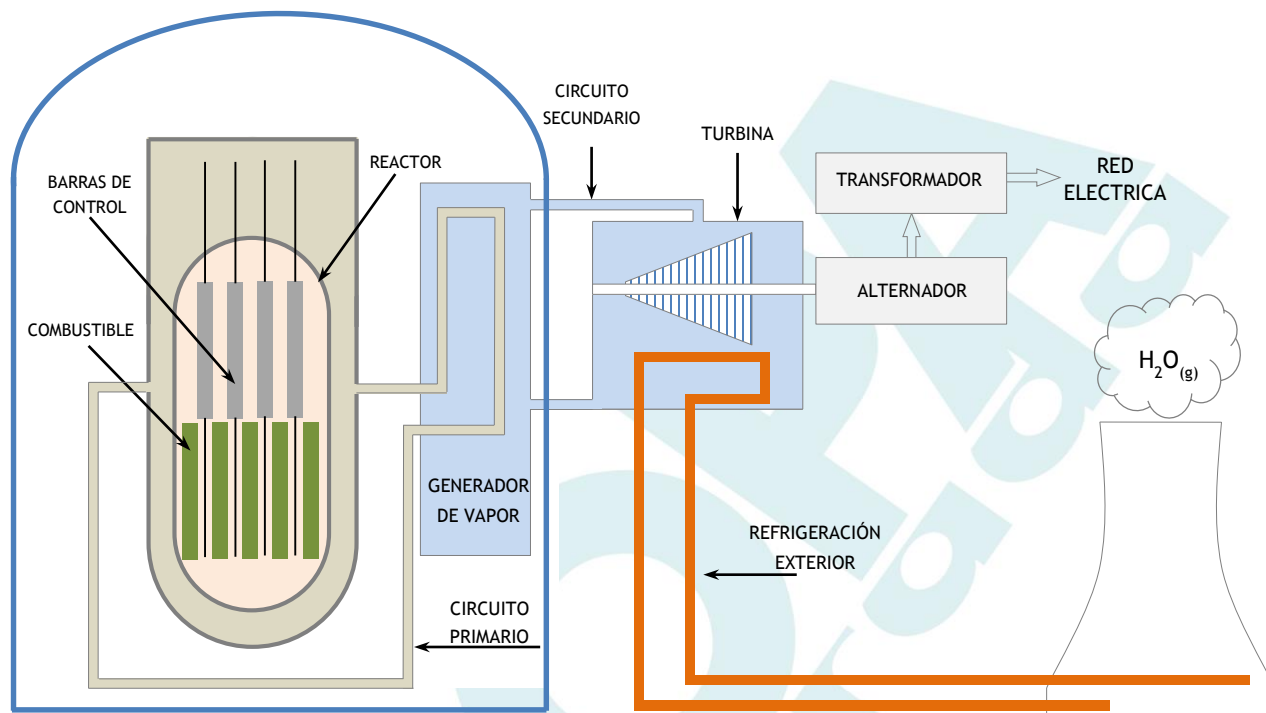
Un reactor nuclear es una instalación en la que se mantiene y se controla una reacción de fisión y se extrae la energía generada en forma de electricidad. Los elementos más importantes son:

Combustible: es cualquier material que contiene núcleos fisionables o que los puede producir por bombardeo con neutrones, generalmente se trata de compuestos de uranio, torio o plutonio. El uranio natural contiene un 0,72% de ${}^{235}\text{U}$ y el enriquecido un 3%.

Moderador: se encarga de disminuir la velocidad de los neutrones para que puedan interactuar con otros átomos. El moderador ideal tiene que ser barato, químicamente estable y tener una densidad elevada. Suele ser H_2O , grafito o agua pesada (D_2O).

Refrigerante: extrae el calor generado por el combustible del reactor y lo lleva hasta un intercambiador de calor. Si no hay refrigerante el reactor se funde. Generalmente se usa agua, agua pesada, anhídrido carbónico o helio.

Barras de control: absorben neutrones y controlan el número de neutrones emitidos para evitar la progresión geométrica del número de neutrones.



Blindaje: evita el escape de radiación gamma y de neutrones. Generalmente se utiliza hormigón y plomo. Las medidas de seguridad utilizadas en este tipo de instalaciones son extremas. El único inconveniente de los reactores nucleares consiste en los residuos radiactivos que se generan y en el posterior almacenamiento de los mismos.

Circuito primario: Absorbe el calor de la reacción de fisión. Está aislado del exterior. El líquido que circula por él coge el calor del reactor y es bombeado hasta el generador de vapor que no es más que un intercambiador de calor.

Circuito secundario: Genera la corriente eléctrica. El vapor producido hace girar las turbinas y el giro de estas produce energía eléctrica en el alternador. El vapor que sale de la turbina se condensa volviendo al generador de vapor y vuelve a comenzar el ciclo.

Refrigeración exterior: Enfía el vapor que acaba de pasar por las turbinas. El sistema está formado por torres gruesas y bajas que expulsan vapor de agua. El agua evaporada se sustituye por agua de un embalse o surtidor próximo a la central.

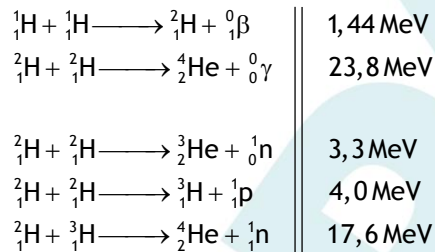
Centrales nucleares en España y en el mundo:

	Año	Potencia MW
Almaraz I	1980	980
Almaraz II	1983	984
Ascó I	1982	1032
Ascó II	1985	1027
Cofrentes	1984	1092
Garoña	1970	466
Trillo	1987	1066
Vandellós II	1987	1087

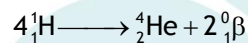
País	Nro	País	Nro	País	Nro
Estados Unidos	104	China	17	Pakistán	3
Francia	58	Ucrania	15	Bulgaria	2
Japón	44	Suecia	10	Brasil	2
Rusia	33	Alemania	9	Sudáfrica	2
Corea	23	Suiza	5	México	2
Canadá	20	Finlandia	4	Rumanía	2
India	20	Hungría	4	Argentina	2
Reino Unido	18	Eslovaquia	4	Irán	1

Fusión

Es una reacción en la que varios núcleos pequeños se unen para dar lugar a un núcleo de mayor tamaño. La reacción más conocida es la que ocurre en el interior de las estrellas en la que el H se convierte en He. Transcurre en los siguientes pasos:



La reacción total será la suma de todas ellas:



El defecto de masa, y por tanto la energía desprendida, es menor que en la reacción de fisión, pero es mucho más grande en relación con la masa que se pone en juego.

La producción de energía a partir de la fusión necesita un gran desarrollo de la tecnología, es necesario generar temperaturas de 10^8 °C y el material más resistente funde a 4500°C.

Ventajas respecto a la reacción de fisión:

Mayor seguridad: No hay peligro de explosión ya que una pequeña desviación en las condiciones de la reacción hace que no se produzca.

Menos residuos: El producto final es helio, un gas inerte y no radioactivo. El residuo radioactivo (tritio) tiene un periodo de semidesintegración de 12 años.

Los elementos utilizados como combustibles, son muy abundantes y baratos.

Aplicaciones de la radiactividadAplicaciones médicas

Diagnóstico: Se introduce en el enfermo una sustancia que contiene un isótopo radiactivo que emita radiación con poca energía. La sustancia se fija en un órgano determinado y se observa por la radiación que emite.

Radioterapia: Las radiaciones emitidas por los isótopos radiactivos destruyen más células cancerosas que células normales. ${}^{60}\text{Co}$, ${}^{131}\text{I}$, ${}^{99}\text{Tc}$ y ${}^{133}\text{Xe}$ son los más utilizados.

En la industria:

Detectores de humos y de fugas en tuberías.

Control de calidad en la detección de errores de soldadura.

Medida de espesores de piezas.

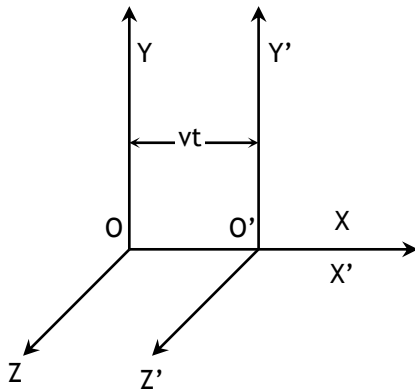
Esterilización de alimentos y prolongar su conservación.

Control de plagas en agricultura.

Datar objetos arqueológicos o artísticos.

Relatividad de Galileo

Supongamos dos sistemas de referencia: uno fijo (XYZ) con origen en O y otro móvil (X'Y'Z') con respecto al primero que tiene su origen en O'. Para simplificar las cosas, vamos a suponer que el móvil sólo se mueve en el eje X respecto al fijo con una velocidad v .



Si una partícula se mueve con respecto a los ejes móviles con origen en O' ¿cómo serán las ecuaciones del movimiento respecto a O?

$$x = x' + vt$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

Esta es la relatividad de Galileo.

Los postulados de Einstein

Un postulado es algo que se establece sin demostración a partir del que se deducen unas consecuencias. Si estas pueden comprobarse experimentalmente entonces los postulados son válidos.

Primer Postulado:

Las leyes físicas son idénticas en todos los sistemas inerciales y se expresan mediante ecuaciones análogas. No hay forma de saber el estado de movimiento de un observador a partir de un experimento físico que se realice por el observador dentro de su sistema de referencia. Una bombilla tarda el mismo tiempo en llegar al suelo de un ascensor si este está en reposo o si se mueve con velocidad constante. ¡Piénsalo!

Segundo Postulado:

La luz siempre se propaga en el vacío con una velocidad c , que es independiente del estado de movimiento del cuerpo que emite la luz o del observador.

Transformación de Lorentz

Relaciona las coordenadas de un sistema de referencia fijo y un sistema de referencia móvil teniendo en cuenta los postulados de Einstein.

$$\left. \begin{aligned} x' &= a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z + a_{14}t \\ y' &= a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z + a_{24}t \\ z' &= a_{31}x + a_{32}y + a_{33}z + a_{34}t \\ t' &= a_{41}x + a_{42}y + a_{43}z + a_{44}t \end{aligned} \right\} (1)$$

Si suponemos que el sistema móvil se desplaza a lo largo del eje X, no hay movimiento relativo en los otros ejes y tendríamos que:

$$a_{22} = a_{33} = 1$$

$$a_{21} = a_{23} = a_{24} = 0$$

$$a_{31} = a_{32} = a_{34} = 0$$

como no hay variaciones en los ejes Y y Z, se considera:

$$a_{42} = a_{43} = 0$$

debido al movimiento de los ejes sabemos que $x' = x - vt$, luego:

$$a_{14} = -va_{11}$$

con estos valores, el sistema de ecuaciones (1) se transforma en:

$$\left. \begin{aligned} x' &= a_{11}(x - vt) \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= a_{41}x + a_{44}t \end{aligned} \right\} (2)$$

Supongamos que en el instante $t=0$ los dos orígenes de coordenadas coinciden y en ese momento sale una onda electromagnética desde el origen con velocidad c . El espacio recorrido por esa onda en cada sistema de referencia será:

$$\left. \begin{aligned} x^2 + y^2 + z^2 &= c^2 t^2 \\ x'^2 + y'^2 + z'^2 &= c^2 t'^2 \end{aligned} \right\} (3)$$

Sustituyendo los valores del sistema (2) en la última ecuación de (3), tenemos:

$$\begin{aligned} a_{11}^2(x - vt)^2 + y^2 + z^2 &= c^2(a_{41}x + a_{44}t)^2 \\ a_{11}^2x^2 - 2a_{11}^2xvt + a_{11}^2v^2t^2 + y^2 + z^2 &= c^2a_{41}^2x^2 + 2c^2a_{41}a_{44}xt + c^2a_{44}^2t^2 \end{aligned}$$

si ordenamos los términos

$$(a_{11}^2 - c^2a_{41}^2)x^2 + y^2 + z^2 - 2(a_{11}^2v - c^2a_{41}a_{44})xt = (c^2a_{44}^2 - a_{11}^2v^2)t^2$$

para que esta expresión coincida con la primera ecuación de (3) tiene que ocurrir que:

$$\left. \begin{aligned} a_{11}^2 - c^2a_{41}^2 &= 1 \\ a_{11}^2v - c^2a_{41}a_{44} &= 0 \\ c^2a_{44}^2 - a_{11}^2v^2 &= c^2 \end{aligned} \right\}$$

Se trata de un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas.

La solución del sistema es:

$$a_{11} = a_{44} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad a_{41} = \frac{-v}{c^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Sustituyendo estos valores en el sistema (2) obtenemos:

$$\left. \begin{aligned} x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} & y' &= y & z' &= z & t' &= \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned} \right\} \text{Transformada de Lorentz}$$

Si la velocidad v es despreciable frente a la velocidad de la luz c la transformada de Lorentz se convierte en la de Galileo. Para obtener las ecuaciones de x , y , z y t en función de x' , y' , z' y t' solo tenemos que sustituir v por $-v$. Si v es mayor que c los valores de x' y t' se hacen imaginarios por lo que el movimiento con velocidad superior a la de la luz es imposible.

Al término $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ se le llama factor de Lorentz.

Las transformadas de Lorentz nos llevan a consecuencias contradictorias sobre las propiedades del espacio y del tiempo basadas en la experiencia diaria. Estas consecuencias son:

- ✓ La longitud se acorta en la dirección del movimiento:

$$L = \frac{L_0}{\gamma} = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

en donde L_0 es la longitud en reposo. La longitud solo varía en la dirección del movimiento; permanece constante en las direcciones perpendiculares al movimiento.

Acortamiento de la longitud: Supongamos que estamos en reposo. Vemos un deportivo de 4,5 m de longitud detenido delante de un semáforo. Justo en el momento de abrirse el semáforo pasa otro deportivo, igual que el anterior, moviéndose con una velocidad de $0,98c$ pero lo vemos más corto porque la longitud se contrae. Para nosotros, que estamos en reposo, apenas mide 1m de largo, pero mantiene la misma altura que el que está en reposo.

$$L = \frac{L_0}{\gamma} = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 4,5 \sqrt{1 - \frac{0,98^2 c^2}{c^2}} = 0,895 \text{ m}$$

- ✓ El volumen de un cuerpo también se contrae puesto que se contrae la longitud en la dirección del movimiento, mientras las longitudes en otras direcciones se mantienen constantes.

$$V = \frac{V_0}{\gamma} = V_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

- ✓ El tiempo se dilata en función de la velocidad con la que se mueve un objeto: $t = \gamma t_{\text{MOVTO}}$

Dilatación del tiempo: La paradoja de los gemelos:

Supongamos dos hermanos gemelos de 25 años de edad: X e Y. X viaja hacia un planeta lejano durante 20 años a una velocidad de $0,98 c$. A la vuelta, después de otros 20 años se encuentran de nuevo. El gemelo Y, que ha quedado en la Tierra, está a punto de jubilarse y tiene una edad de 65 años, ha envejecido 40 años, mientras que el gemelo viajero X todavía no ha cumplido 33 años, ha envejecido casi 8 años:

$$40 \text{ años} = \frac{t_{\text{MOVTO}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{t_{\text{MOVTO}}}{\sqrt{1 - \frac{0,98^2}{1^2}}} \rightarrow t_{\text{MOVTO}} = 7,96 \text{ años}$$

- ✓ La masa aumenta con la velocidad: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

- ✓ La energía de un electrón en movimiento será: $E = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Efecto fotoeléctrico

Hertz observó en 1887 que al iluminar la superficie de un metal con una radiación electromagnética se desprenden electrones. Hay tres hechos experimentales que no puede explicar la mecánica clásica:

- ✓ Sólo se emiten electrones cuando la frecuencia de la radiación incidente es mayor que un valor mínimo al que se denomina frecuencia umbral y que es diferente para cada metal. Si la radiación tiene menos frecuencia, por muy grande que sea la intensidad, no se produce emisión de electrones.
- ✓ Si la frecuencia de la radiación es superior a la frecuencia umbral, el número de electrones emitidos es proporcional a la intensidad de la radiación. La velocidad con la que se mueven los electrones no depende de la intensidad de la radiación.
- ✓ La llegada de la radiación al metal y la emisión de electrones se producen a la vez.

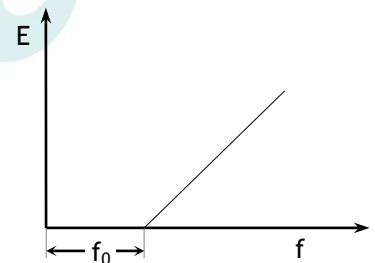
Explicación de Einstein

- ✓ La energía correspondiente a una radiación, de acuerdo con la teoría de Plank, es $E = hf$
- ✓ La energía mínima para arrancar un electrón, trabajo de extracción o energía de ionización, depende de la fuerza con la que el núcleo atrae al electrón, varía con el átomo y viene dado por $E = hf_0$, siendo f_0 la frecuencia umbral.
- ✓ Si la energía de la radiación es mayor que la correspondiente al trabajo de extracción el resto de la energía comunicada se convierte en energía cinética:

$$E_{\text{ONDA}} = E_{\text{UMBRAL}} + E_{\text{CINETICA}}$$

$$hf = hf_0 + E_C$$

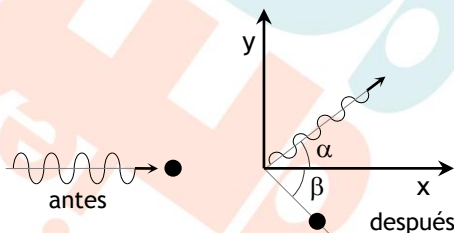
Si representamos gráficamente la energía cinética de los electrones emitidos frente a la frecuencia de la radiación incidente, tenemos:



Efecto Compton

El efecto Compton consiste en el aumento de la longitud de onda de una radiación X cuando choca con un electrón y pierde parte de su energía. La longitud de onda de la radiación dispersada depende del ángulo con el que sale dispersada. Este efecto solo puede explicarse si suponemos que la luz se comporta como una partícula.

Cuando un fotón choca con un electrón en reposo vamos a suponer que se trata de un choque elástico. En este tipo de choques la energía se conserva, $E_{\text{INICIAL}} = E_{\text{FINAL}}$



$$hf_0 + m_0c^2 = hf_f + \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$hf_0 = hf_f + m_0c^2(\gamma - 1) \quad (1)$$

Para el fotón: $p = mc = \frac{E}{c^2} c = \frac{hf}{c}$

Por tratarse de un choque la cantidad de movimiento se mantiene constante:

$$\text{En el eje X: } \frac{hf_0}{c} = \frac{hf_F}{c} \cos \alpha + \gamma m_0 v \cos \beta$$

$$\text{En el eje Y: } 0 = \frac{hf_F}{c} \sin \alpha - \gamma m_0 v \sin \beta$$

y resolviendo el sistema llegamos a:

$$\lambda_F = \lambda_0 + \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \alpha)$$

El efecto Compton es un fenómeno por el que la radiación electromagnética que incide sobre ciertas superficies sale con una longitud de onda mayor que la de entrada.

Hipótesis de De Broglie: Dualidad onda-corpúsculo

Al igual que la luz tiene un doble comportamiento como onda y como partícula, la materia también tiene ese comportamiento.

La energía, si se comporta como onda, es $E = hf$

La energía, si se comporta como partícula, es $E = mv^2$

Si igualamos las dos expresiones: $hf = mv^2$ y como $f \lambda = v$ llegamos a que todos los cuerpos que se mueven tienen asociada una longitud de onda dada por:

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

Cuanto más grande sea la cantidad de movimiento menor será la longitud de onda asociada. Así la longitud de onda asociada a un coche de 900 kg de masa moviéndose a 250 km/h es de $1,06 \cdot 10^{-38}$ m y la de un electrón de masa $9,1 \cdot 10^{-31}$ moviéndose a 200000 km/s tiene asociada una longitud de onda de $3,6 \cdot 10^{-12}$ m.

La longitud de onda asociada solo es apreciable cuando la masa es muy pequeña y la velocidad considerable. Para cuerpos grandes la longitud de onda es despreciable.

Principio de indeterminación de Heisenberg

Cuando se trabaja con magnitudes complementarias el producto de los errores cometidos en la determinación simultánea de ambas es mayor que la constante de Plank. En particular, no podemos determinar con total precisión y a la vez la posición y la velocidad de una partícula.

$$\Delta x \cdot \Delta v \geq \frac{h}{4\pi}$$