

Radiación como Fenómeno Corpuscular

Aaron Castillo, Alberto Medina, Bianca Cordova

Departamento de Física de la Universidad de Sonora

Semestre 2019-1 — Introducción a la Física Moderna I



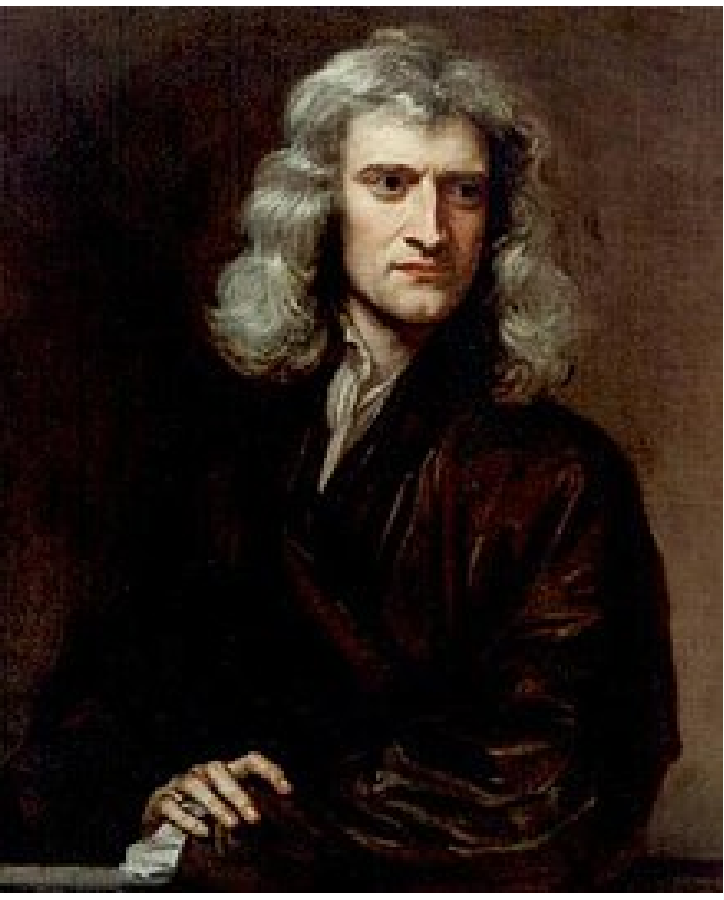
“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”

Resumen

En el siguiente trabajo exploraremos la naturaleza de la luz como un fenómeno corpuscular. Empezaremos por dar un repaso a la historia de esta teoría planteada por primera vez por Isaac Newton y que 200 años después fue rechazada pues todo indicaba que el verdadero comportamiento de la luz era en forma de ondas. Exploraremos también los diferentes experimentos que dieron la necesidad de reformular esta teoría como lo son la radiación de cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton. Por último veremos los tipos de radiación y su clasificación.

Historia

La luz es una forma de energía que emiten los cuerpos luminosos y que percibimos mediante la vista. Se propaga en forma de ondas aunque también en línea recta en forma de corpúsculos. La luz es estudiada por una de las ramas de la física más antiguas, la óptica. Esta empieza cuando el hombre trata de explicar el fenómeno de la visión considerándolo como aquello que le permite relacionarse con el mundo exterior. Ya desde la antigua Grecia se conocían y se manejaban fenómenos de la luz como la reflexión, la refracción y su carácter rectilíneo de propagación. En esta época se creía que el ojo era un emisor y receptor de rayos luminosos, es decir, los rayos salían del ojo se proyectaban sobre un objeto, se reflejan sobre él y así se produce la visión. Fue a partir de esta primera explicación y con la evolución de la ciencia que se fueron desarrollando las primeras teorías al respecto.



Isaac Newton (1642-1727)

corto alcance que provocan un cambio en la velocidad y su dirección de propagación.



Christian Huygens (1629-1695)

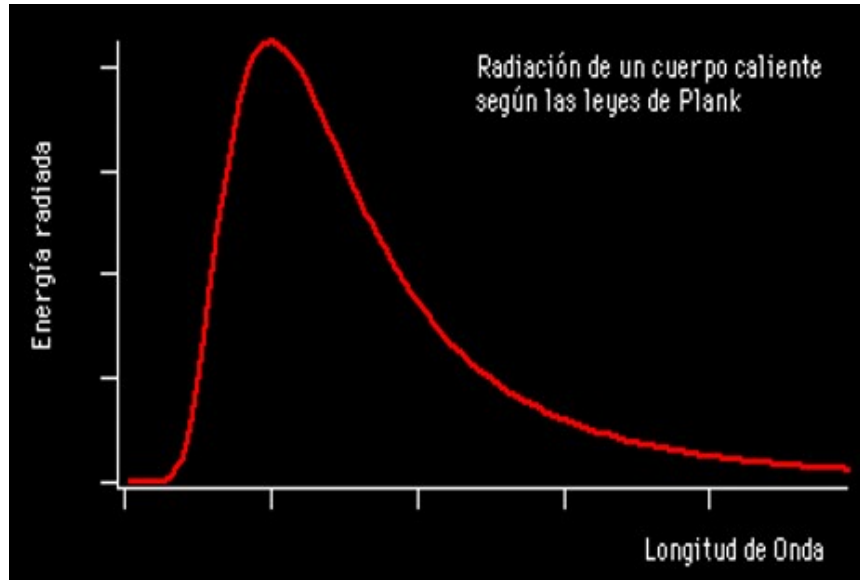
Por un lado, tenemos la teoría corpuscular de Newton, quien afirmaba que el comportamiento de la luz, como la reflexión y la refracción, podía explicarse con sencillez suponiendo que esta consistía en una corriente de partículas generadas, no por el ojo, si no por una fuente luminosa dirigiéndose a un objeto a gran velocidad describiendo trayectorias rectilíneas. Así logro explicar la reflexión luminosa asimilándola a los fenómenos del choque elástico que se produce cuando partículas elásticas chocan con una pared rígida. De igual manera pero con algunas suposiciones un tanto artificiales, logro explicar el fenómeno de la refracción, afirmando que cerca de la superficie de separación de dos medios transparentes distintos, como el aire y el agua, los corpúsculos luminosos sufren unas fuerzas atractivas de

Por otro lado tenemos la teoría ondulatoria de Huygens que define la luz como un movimiento ondulatorio, convirtiéndose así en un rival de Newton y su teoría corpuscular. Huygens decía que la luz se comportaba como una onda del mismo tipo que el sonido. Para ese entonces se sabía que este tipo de ondas no se podía propagar en el vacío por lo que era necesario un medio ideal de propagación, “El éter”. Utilizo la analogía de una piedra que cae al agua creando así ondas en todas direcciones para explicar como la luz crea perturbaciones en el éter. A pesar de la enorme contradicción que suponía la existencia del éter, esta teoría ondulatoria lograba explicar de una manera más sencilla tanto la propagación rectilínea como los fenómenos de reflexión y refracción además de otros fenómenos que la teoría corpuscular de Newton no era capaz de hacer como las interferencias luminosas, constructivas y destructivas, así como la difracción. Sin embargo, el prestigio y gran influencia de Newton combinado con la falta de lenguaje matemático hicieron que esta teoría fuera rechazada por los científicos de la época.

No fue aceptada hasta casi 2 siglos después, cuando el físico inglés Thomas Young, en 1781 presentó su obra titulada “Esbozos de experimentos e investigaciones respecto a la luz y el sonido”, presentó los resultados de su experimento de la doble rendija. En el demostró que cuando dos ondas procedentes de una misma fuente se superponen en una pantalla, aparecen sobre ella zonas de máxima luz y zonas de oscuridad en forma alternada. El hecho de que, en diferentes zonas, luz más luz diera como resultado oscuridad solo podía ser explicado teniendo como base la teoría ondulatoria de Huygens, suponiendo que en ellas la cresta de una onda coincidía con el valle de la otra, produciendo una mutua destrucción. A pesar de esto estas ideas presentadas por Young tampoco fueron aceptadas hasta 14 años después, consiguiendo así poner fuera de duda de validez estas ideas y por lo tanto el modelo ondulatorio de Huygens.

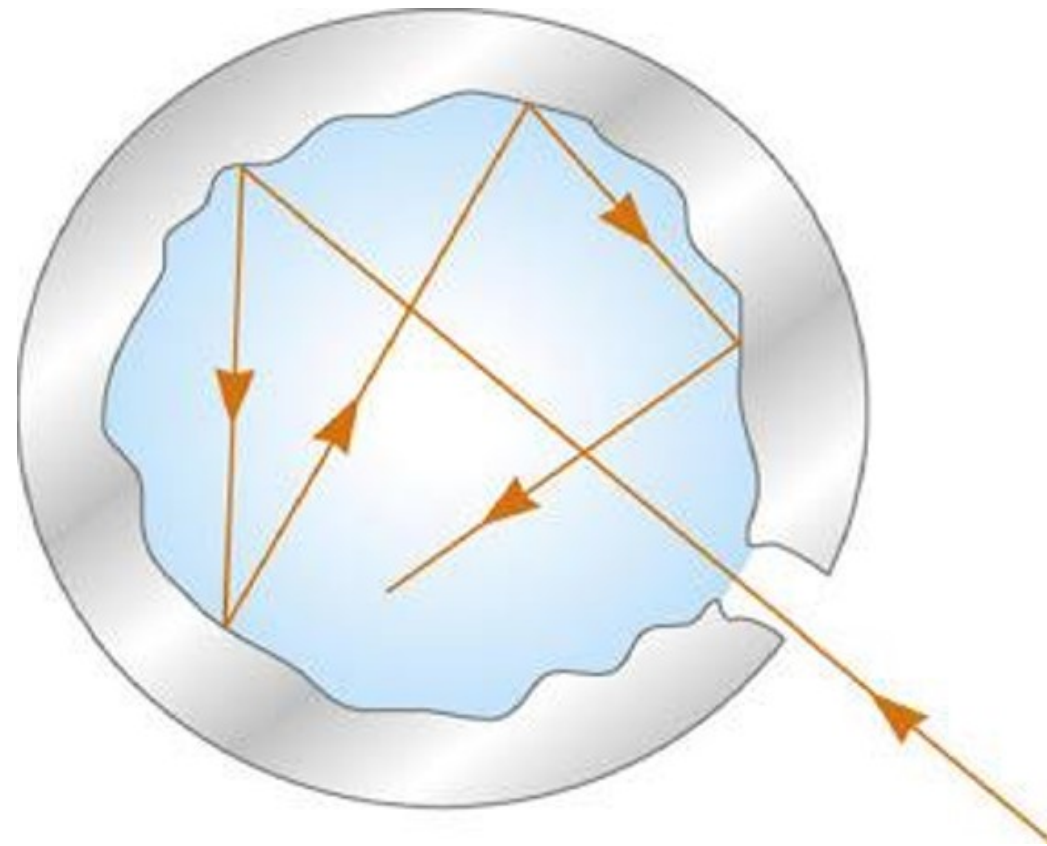
Fue en el año de 1865 que el físico escocés James Clerk Maxwell tomó las primitivas ideas de Huygens y las colocó en la cima, aclarando en que consistían las ondas luminosas. Al desarrollar su teoría electromagnética demostró la existencia de campos electromagnéticos que, a modo de ondas, podían propagarse tanto en el vacío como en diferentes sustancias materiales. Maxwell identificó las ondas luminosas con sus teóricas ondas electromagnéticas, prediciendo que estas deberían comportarse de forma semejante. Esto fue comprobado en el año de 1888 cuando el físico alemán Heinrich Hertz logró situar ondas electromagnéticas viajeras en el espacio, esto no solo comprobó la teoría de Maxwell sino que abrió la era de las telecomunicaciones. Posteriormente se descubrieron una gran variedad de ondas electromagnéticas con lo que se creía que la naturaleza ondulatoria parecía ser definitiva. Sin embargo, hechos experimentales posteriores demostrarían la ineficiencia de este modelo para describir el comportamiento de la luz por completo.

A continuación examinaremos los procesos en los cuales la radiación interacciona con la materia. En cada caso se obtendrá evidencia experimental de que la radiación es de carácter corpuscular en su interacción con la materia a diferencia de su naturaleza ondulatoria cuando se propaga. Los procesos que implican la dispersión y absorción de radiación son cuatro: la radiación de cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico, el efecto Compton y la producción de pares.



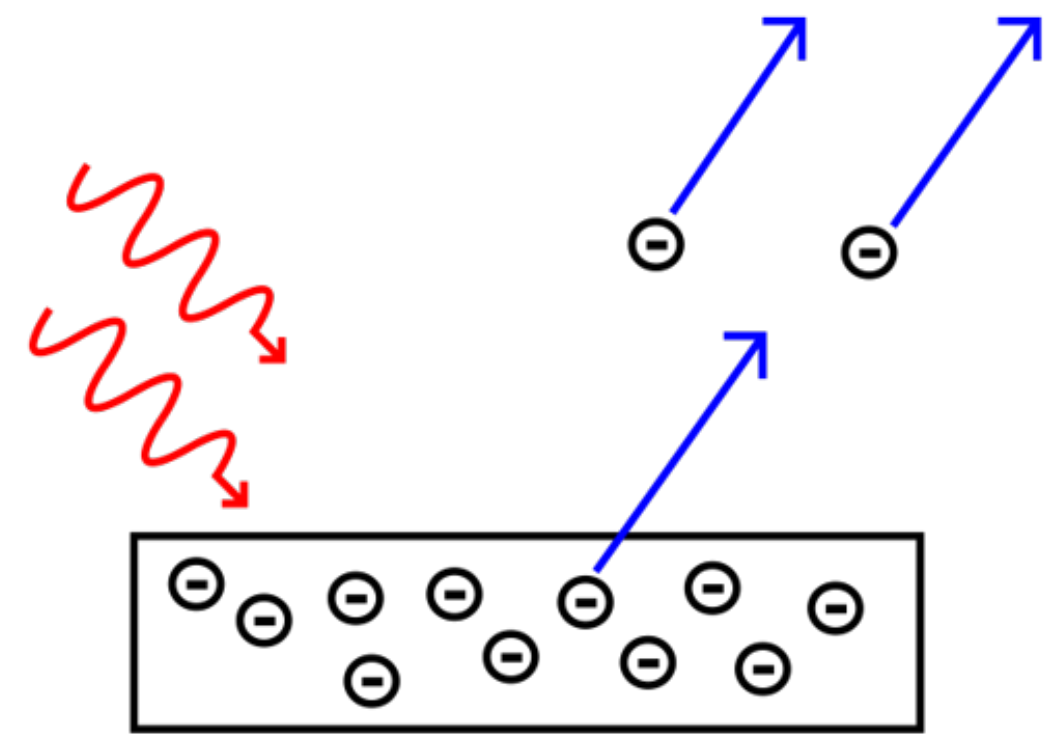
Este sistema es ciertamente ideal pues, en la vida real no existe nada que absorba todas las frecuencias por igual.

Como el cuerpo negro está cerrado, el sistema alcanza el equilibrio térmico en su interior. A la radiación que hay en su interior se le conoce como “Radiación de Cuerpo Negro”. Esta radiación que entra no escapa de él, pero comienza a reflejarse en las paredes. En este proceso, las paredes se calientan, lo que provocará la emisión de nuevas ondas electromagnéticas, que a su vez, rebotarán de nuevo en las paredes. De esta forma, en el interior del cuerpo negro tendremos una determinada energía electromagnética. La energía que irradia del cuerpo negro es característica solamente de este sistema radiante y no depende del tipo de radiación que incide sobre él. De antemano, sabemos que la radiación es emitida en todas las frecuencias, pero emite más intensamente para una frecuencia determinada que se puede calcular para conocer la temperatura del cuerpo negro.



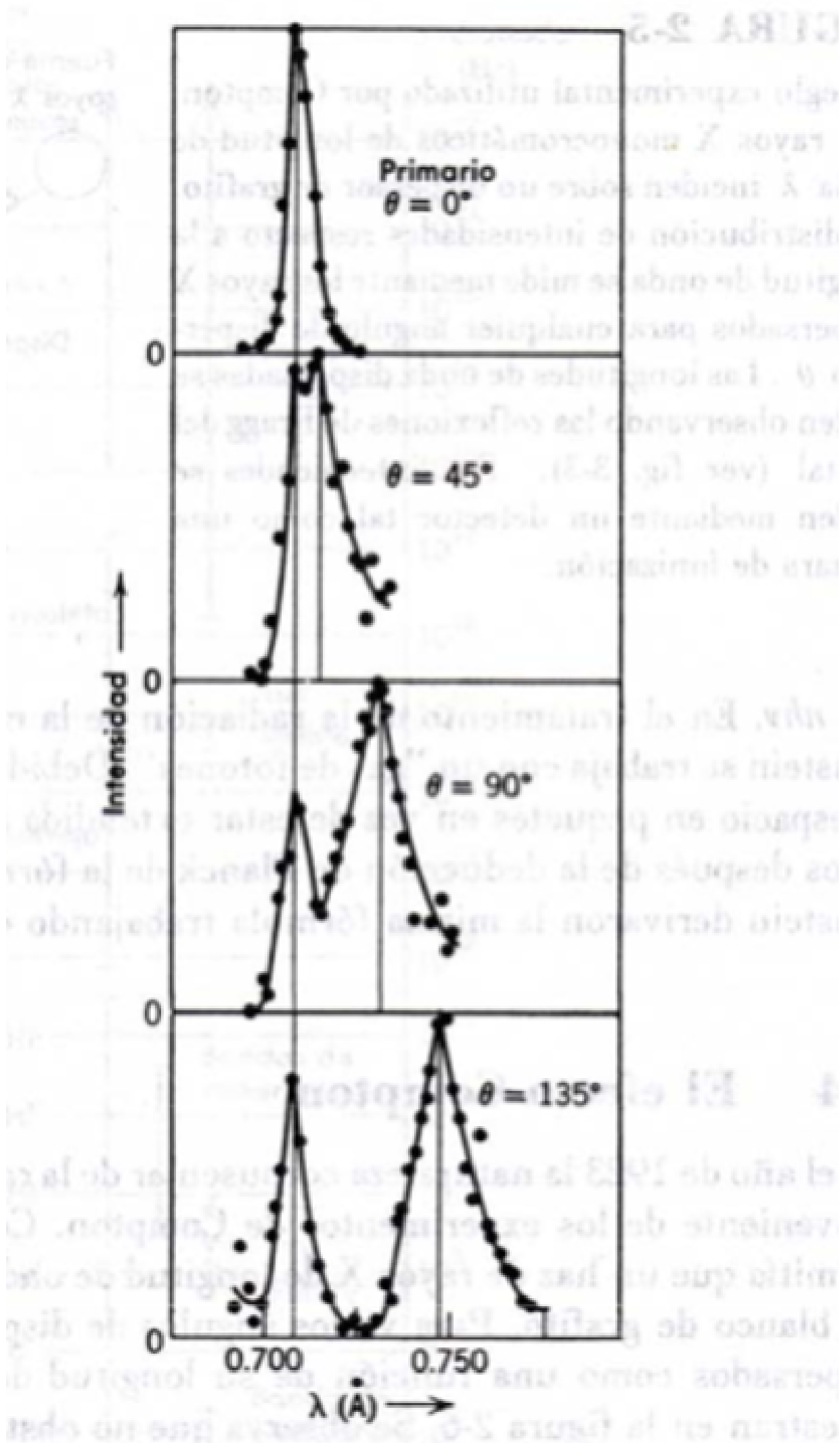
Efecto Fotoeléctrico

Los experimentos que confirmaron por primera vez la existencia de ondas electromagnéticas y la teoría electromagnética de Maxwell acerca de la propagación de la luz fueron realizados por Heinrich Hertz en 1886 y 1887. Es uno de los hechos más fascinantes y paradójicos en la historia de la ciencia. Este lo usaría Einstein después para contradecir otros aspectos de la teoría electromagnética clásica. Hertz descubrió que una descarga eléctrica entre dos electrodos ocurre más fácilmente cuando sobre uno de ellos incide luz ultravioleta. Lenard, continuando algunos experimentos de Hallwachs demostró en seguida que la luz ultravioleta facilita la descarga debido a que ocasiona la emisión de electrones desde la superficie del cátodo, a esta emisión de electrones desde una superficie por la acción de la luz se le denomina efecto fotoeléctrico.



Efecto de la interacción o choque entre la radiación que incide sobre una materia y los elementos atómicos de esta. Consiste en la transmisión de toda la energía de la radiación incidente sobre un electrón, pasando esta una capa de mayor energía o quedando libre en el medio.

Efecto Compton



En el año de 1923 la naturaleza corpuscular de la radiación recibió confirmación dramática proveniente de los experimentos de Compton. En estos, permitía que un haz de rayos X de longitud de onda λ perfectamente definida incidiera sobre un blanco de grafito. Para varios ángulos de dispersión, medía la intensidad de los rayos X dispersados como una función de su longitud de onda.

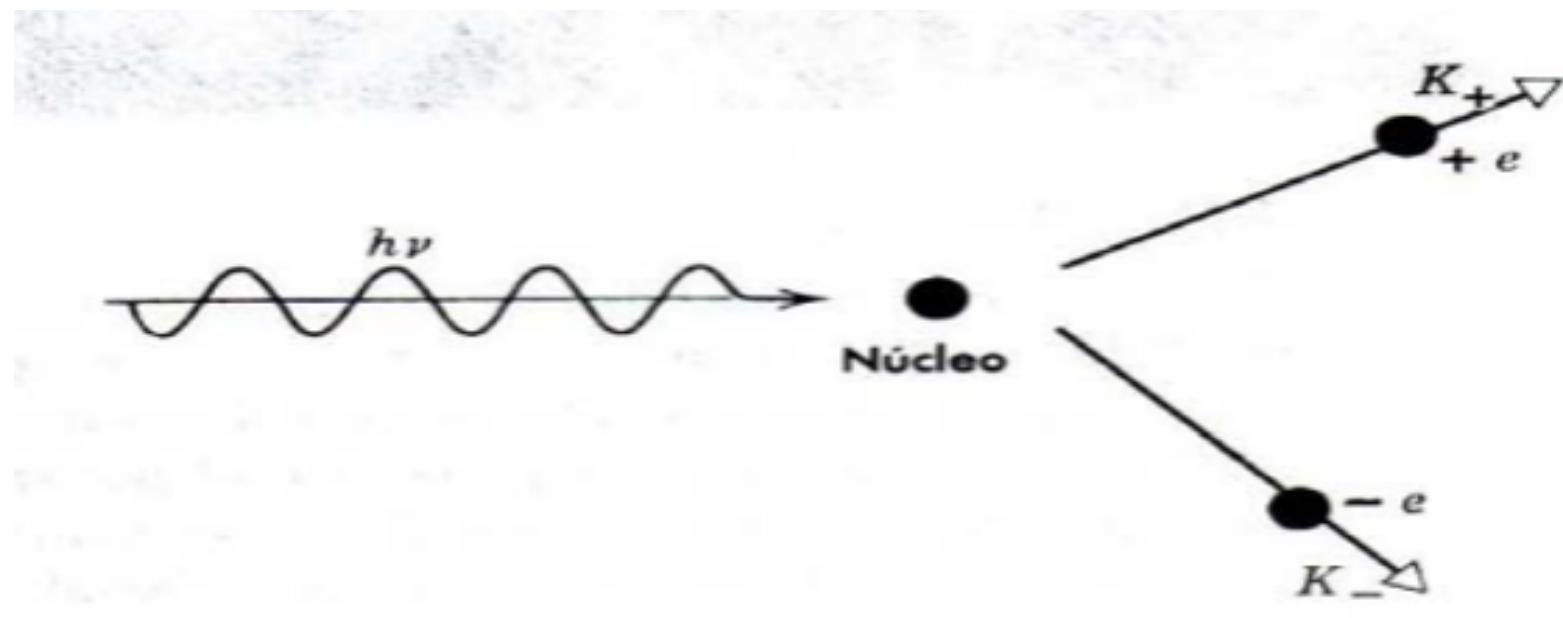
No obstante, se observa que el haz incidente consiste esencialmente de una sola longitud de onda λ , los rayos X dispersados tienen picos de intensidad para dos longitudes de onda; una de las cuales es la misma longitud de onda incidente y la otra λ' , es mayor por una cantidad $\Delta\lambda$. Este corrimiento, llamado corrimiento Compton, $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$, varía con el ángulo al que se observan los rayos X dispersados.

Con base en la teoría cuántica, Compton afirmó que el efecto se debía a que el cuanto de rayos X actúa como una partícula material al chocar contra el electrón, por lo cual la energía cinética que el cuanto le comunica al electrón le representa una pérdida en su energía original.

Como consecuencia de estos estudios, Compton ganó el Premio Nobel de Física en 1927. Este efecto es de especial relevancia científica, ya que no puede ser explicado a través de la naturaleza ondulatoria de la luz. Esta debe comportarse como partícula para poder explicar dichas observaciones, por lo que adquiere una dualidad onda corpúsculo característica de la mecánica cuántica.

Producción de pares

A demás de los efectos fotoeléctrico y Compton existe otro proceso mediante el cual los fotones pierden su energía e interaccionan con la materia, este proceso se conoce como la producción de pares. Este también es un ejemplo excelente de la conversión de energía radiante en energía de masa en reposo y cinética. Este proceso se ilustra esquemáticamente en la figura: un fotón de alta energía pierde toda su energía en una colisión con un núcleo creando un electrón y positrón y proporcionándoles energía cinética.



La presencia de un núcleo masivo es necesaria para permitir que tanto la energía como el momento se conserven en el proceso. La carga se conserva automáticamente ya que el fotón no tiene carga y el par de partículas creada no tiene carga neta. Al analizar este proceso se ignoran los detalles de la interacción misma, considerando solamente la situación antes y después de ésta. Los principios que nos guían son la conservación del momento y la energía. El fenómeno de producción de pares es un fenómeno de altas energías, los fotones pertenecen a las regiones de rayos X cortos o rayos gamma en el espectro electromagnético.

Clasificación

Por lo visto anteriormente se lleo a la conclusión de que las radiaciones tienen una doble naturaleza, ondulatoria y corpuscular simultáneamente, lo que se conoce como dualidad onda-partícula. Estas radiaciones las podemos clasificar en dos tipos:

1. Según su naturaleza.
2. Según su efecto biológico.

Según Efecto Biológico

Se pueden clasificar en dos tipos:

- Ionizantes o de alta energía.
Estas radiaciones al incidir sobre los tejidos, pierden parte de la energía, separando electrones de los átomos sobre los que inciden y transformándose en iones.
- No ionizantes o de baja energía.
Estas no son capaces de ionizar átomos, por lo que su efecto biológico es menor, actuando mas bien a través del efecto termino, mecánico y fotoquímico en los tejidos.

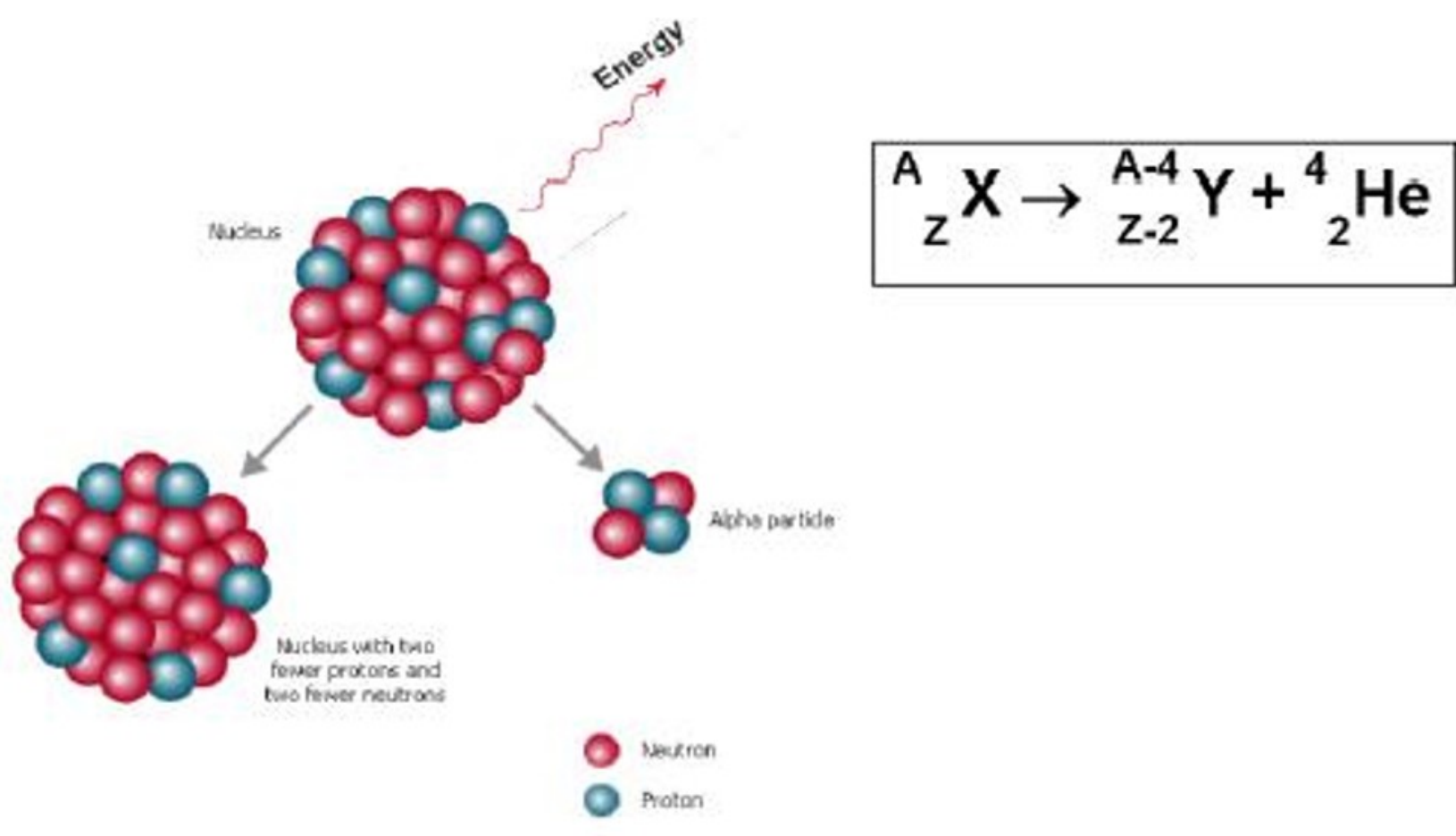
Según su naturaleza

Estas a su vez pueden clasificarse en dos:

- Radiación Electromagnética: Está formada por la combinación de campos eléctricos y magnéticos, que se propagan a través del espacio en forma de ondas portadoras de energía. Estas viajan a través del espacio sin necesidad de un medio material para propagarse. Lo que las caracteriza es que todas tienen la misma velocidad en el vacío, la velocidad de la luz (c), diferenciándose por sus diferentes longitudes de onda, de la que depende su energía. Entre las radiaciones electromagnéticas encontramos:
 - * Radiaciones Ionizantes
Es una característica común a muchos átomos en cuyo núcleo de neutrones resulta escaso o excesivo, lo que les hace inestables por lo que sus ligaduras nucleares se transforman buscando configuraciones mas estables, a la vez que se libera energía asociada a la radiación emitida. De este tipo podemos encontrar:
 - Rayos gamma
 - Rayos X
 - * Radiaciones Ópticas
Es toda radiación electromagnética cuya longitud de onda esté comprendida entre 100 nanómetros y 1 milímetro. Entre estas podemos encontrar:
 - Rayos Ultravioleta (UV-C, UV-B, UV-A)
 - Luz Visible
 - Rayos infrarrojos
 - Radiofrecuencias
- Radiación corpuscular: Es energía ligada a partículas subatómicas que están dotadas de gran velocidad, y por tanto, energía, unas veces cargadas y otras neutras. La radiación ligada a partículas suele tener su origen en la inestabilidad de los núcleos de determinados átomos. Por lo mismo a estas se les considera ionizantes. Estas son en las que nos enfocaremos en este trabajo. A su vez, estas radiaciones las podemos separar en:
 - * Alfa.
 - * Beta.
 - * De neutrones.
 - * Rayos cósmicos.

Radiación alfa

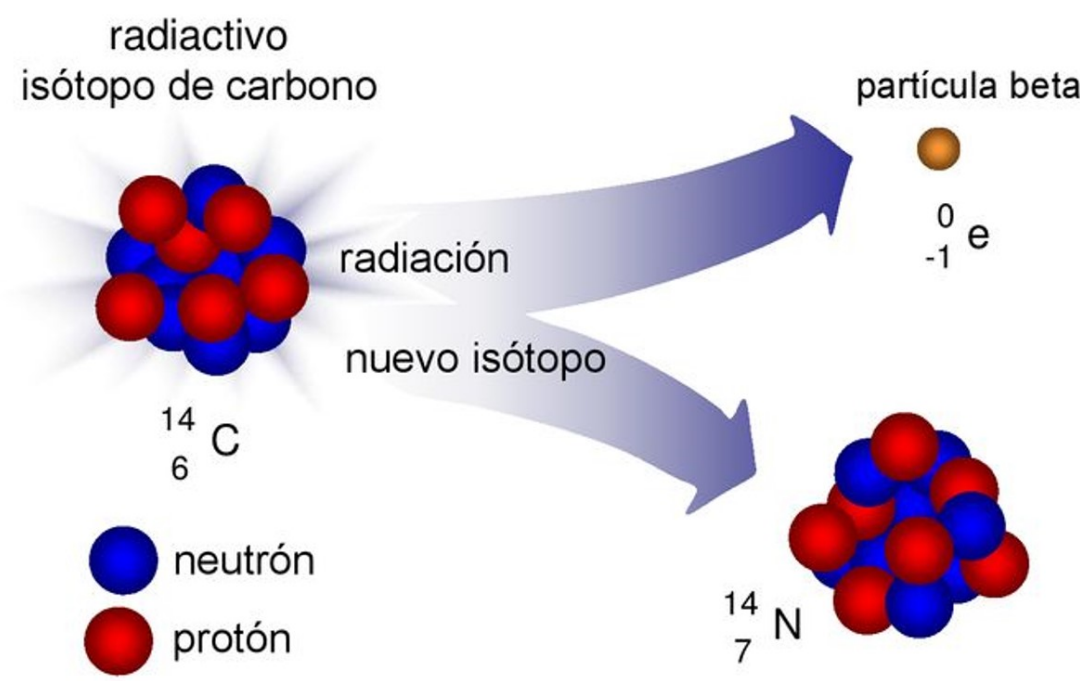
Es un tipo de radiación corpuscular constituida por partículas alfa, que están formadas por 2 protones y 2 neutrones, es decir, el núcleo de un átomo de Helio, por lo que tiene 2 cargas positivas. La emisión de este tipo de radiactividad ocurre por lo general en átomos de elementos muy pesados como el uranio, el torio o el radio. El núcleo de estos es átomos es bastante rico en neutrones lo que los hace inestables. Al emitir una partícula alfa, el átomo cambia la composición de su núcleo, y queda transformado en otro distinto, con dos protones y dos neutrones menos, transformándose en el elemento que ocupa dos lugares anteriores en la tabla periódica. Se dice que ha tenido lugar una transmutación de los elementos. Las partículas alfa pueden capturar dos electrones y constituir un átomo de helio. Comparada con otros tipos de radiaciones, las partículas alfa son muy pesadas y llevan mucha mayor energía. Ello les hace interactuar con casi cualquier otra partícula que encuentren en su trayecto, incluyendo los átomos que constituyen el aire, causando un gran número de ionizaciones en corta distancia. Poseen un gran poder de ionización, pero tienen escasa capacidad de penetración, ya que es detenida por una simple hoja de papel o una lámina de aluminio de 0.1 mm de espesor. No suelen constituir un riesgo por vía externa, aunque sí por ingestión, inhalación o sedimentación.



Radiación Beta

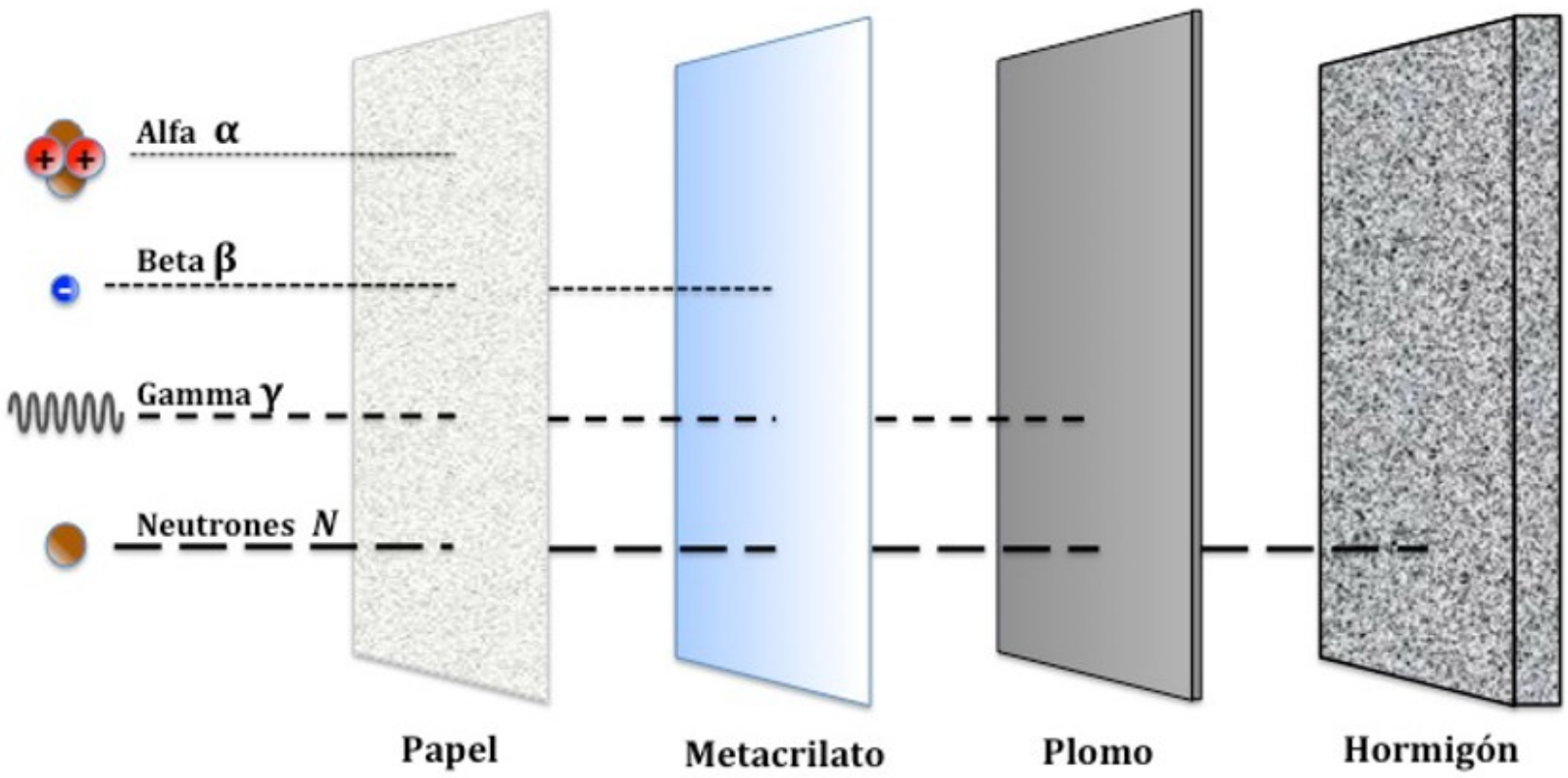
La radiación beta consiste en la emisión de electrones por un núcleo atómico, proveniente de la descomposición del neutrón (neutrón = 1proton + 1 electrón + 1 neutrino). La radiación beta tiene lugar en isótopos ricos en neutrones. La emisión beta puede tener lugar de dos formas diferentes:

1. Emisión Beta Negativa: Cuando un núcleo expulsa una partícula beta, un neutrón es transformado en un protón. El núcleo pierde una unidad de carga negativa, por lo que Z aumenta una unidad, convirtiéndose en el elemento inmediatamente superior en la tabla periódica y su masa atómica se mantiene constante.
2. Emisión Beta Positiva: Ocurre cuando un protón se convierte en un neutrón, emitiendo un positrón, es decir, el núcleo pierde una carga positiva, desaparece un protón y parece un positrón, lo que lleva a que el número atómico (Z) disminuya una unidad y, en este caso se convierte en el elemento inmediatamente anterior de la tabla periódica, conservándose la misma masa.



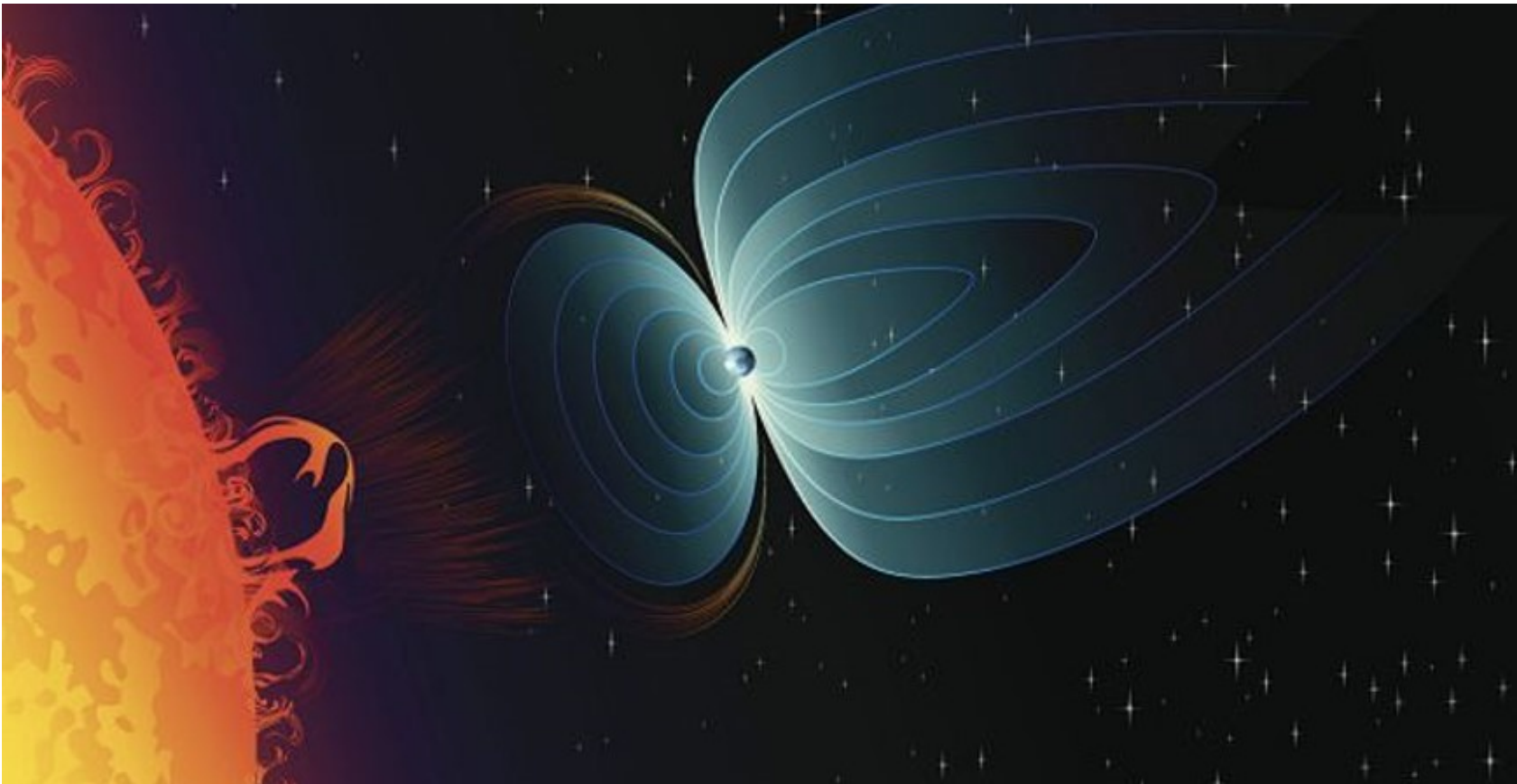
Radiación por Neutrones

Son partículas procedentes del espacio exterior, de colisiones entre átomos en la propia atmósfera o de desintegraciones radiactivas espontáneas o artificiales dentro de reactores nucleares. Son partículas de masa cuatro veces inferiores a las de las partículas alfa, y sin carga, por lo que tienen una gran energía y son muy penetrantes, al no sufrir apenas interacciones con la materia que van atravesando. Sólo pueden ser detenidas por gruesos muros de hormigón, plomo, parafina o agua.



Rayos Cósmicos

Los rayos cósmicos son partículas que llegan desde el espacio y bombardean constantemente a la Tierra desde todas las direcciones. La mayoría de estas partículas son núcleos de átomos o electrones. Algunas de ellas son más energéticas que cualquier otra partícula observada en la naturaleza. Los rayos cósmicos ultra-energéticos viajan a una velocidad cercana a la de la luz y tienen cientos de millones de veces más energía que las partículas producidas por cualquier acelerador en el mundo.



Bibliografía

1. Wikilibros [fecha de consulta: 15 de mayo de 2019] disponible en: <https://es.wikibooks.org/wiki/F%C3%ADsica/Naturalezadelaluz>
2. eHow [Fecha de consulta:15 de mayo de 2019] disponible en: <https://www.ehowenespanol.com/10-usos-radiacion-alfa-info350910/>
3. Foro nuclear. 14 de mayo del 2019, disponible en : <https://www.foronuclear.org/es/el-experto-te-cuenta/119909-que-sabes-de-la-radiacion>
4. Rincón educativo. 14 de mayo del 2019, disponible en: <http://rinconeducativo.org/contenidoextra/radiacio/2radiacionesionizantesynoionizantes.html>
5. Temas para la educación. 15 de mayo del 2019, disponible en: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd5396.pdf>
6. Course hero. 14 de mayo del 2019, disponible en: <https://www.coursehero.com/file/p4q2vea/radiaci%C3%B3n-corporcular-es-la-radiaci%C3%B3n-transmitida-en-forma-de-part%C3%ADculas/>
7. Radiación, ondas y partículas. 15 de mayo del 2019, disponible en: <https://steemit.com/stem-espanol/@oscarcede/radiacion-ondas-y-particulas>
8. Radiaciones electromagnéticas. 15 de mayo del 2019, disponible en: <https://astrojem.com/radiacionelectromagnetica.html>