

Radiación EM y Radiactividad

Ondas Electromagnéticas

En el siglo XIX, durante un tiempo, algunos físicos (como Faraday) comenzaron sospechaban que la luz tenía naturaleza EM, pero no había ninguna teoría y mucho menos experimentos contundentes que confirmaran dichas sospechas. Fue a finales de ese siglo que **James C. Maxwell** proporcionó la base teórica para confirmar su naturaleza EM, y al mismo tiempo, sugerir una forma de generar ondas EM en un laboratorio.



En 1887 **Heinrich R. Hertz** “inspirado” en los trabajos de Maxwell, logra por primera vez en la historia, generar y transmitir ondas EM entre una antena emisora y otra receptora. Más aun, tiempo después demostró la similitud entre las ondas (hertzianas^a) generadas en su experimento y la luz, confirmando así, la naturaleza EM de la luz, sospechada por anteriores físicos, y predicha en la teoría electromagnética de Maxwell.

Por estos y otros logros, para hacerle el honor a Hertz, la unidad internacional de la frecuencia es el hertz (Hz), sin mencionar hasta ahora, que este experimento fue el precursor de la radio, iy de las telecomunicaciones en general!



^aSon ondas de radio.

Pero en definitiva, ¿qué es una onda EM? *Una onda EM representa la propagación de una perturbación en un campo EM.* Por lo tanto, una onda EM tiene dos componentes: una eléctrica y otra magnética.

Noción de radiación electromagnética

La radiación electromagnética (EM), como indica su nombre, es de naturaleza electromagnética, y representa una forma de transmisión de energía prescindiendo de cualquier medio material, o sea, puede propagarse en el vacío. El Sol es la fuente natural de radiación EM, que nos proporciona energía en forma de luz, infrarrojo (IR), ultravioleta (UV), y en menor medida, otras radiaciones EM.

La propagación de la radiación EM puede ser como una onda EM, o como un “gas” de fotones, que se propaga desde la fuente de radiación en ciertas direcciones dependiendo de la fuente radiante. Los fotones son partículas de energía que se mueven a la velocidad de la luz.

En 1900, **Max Planck** estableció una relación entre la frecuencia (f o ν) de oscilación de la onda EM, y la energía (ϵ) de los fotones que forman dicha radiación EM: *Entre la energía de los fotones y la frecuencia de oscilación de la onda EM, existe una relación de proporcionalidad directa...* en definitiva (lo que hay que retener): **a mayor frecuencia, más energía tendrán los fotones**. La ecuación que relaciona, la energía de los fotones con la frecuencia de la onda, es bien sencillita y **fundamental** al mismo tiempo:

$$\epsilon = h \cdot f$$

siendo: $h = 6,626 \times 10^{-34}$ Js, la constante de Planck (o mejor dicho, unas de las constantes fundamentales de la naturaleza).



La radiación EM puede ser **ionizante** o **no ionizante** según sea más o menos energética. De aquí se sigue que las radiaciones ionizantes les corresponden ondas EM de alta frecuencia, o fotones muy energéticos. Así, si un átomo que es eléctricamente neutro, absorbe la energía de un fotón lo suficientemente energético, dicho átomo podría, por ejemplo, perder un electrón periférico convirtiéndose así en un ión positivo.

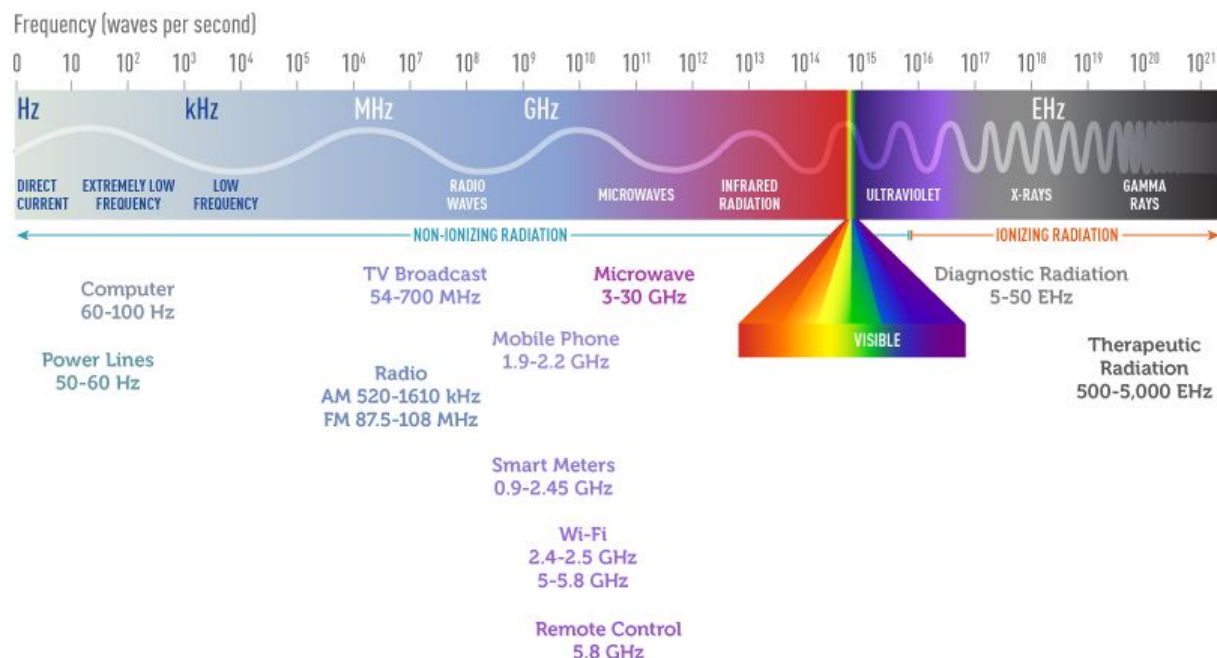
Espectro EM

Por conveniencia la radiación EM se dividió en “regiones” siguiendo cierto criterio razonable (como debe ser en ciencia). Para delimitar estas regiones, cada una con su nombre, se eligieron ciertos valores de frecuencia (y por ende de energía) ordenadas de menor a mayor. Al resultado de esta división de la radiación EM, en regiones limitadas por ciertos valores de frecuencias crecientes, se le denomina **espectro electromagnético**. Así por ejemplo, la luz representa una de las regiones del espectro EM limitada entre las frecuencias 385 THz y 789 THz. A su vez la luz (blanca o natural) se descompone en los colores del arco iris, y a cada franja de color le corresponde un valor mínimo y máximo de frecuencia como se detalla en la siguiente tabla.

Color	Frecuencia (THz)
rojo	de 385 a 484
anarajado	de 484 a 500
amarillo	de 500 a 517
verde	de 517 a 612
azul	de 612 a 667
violeta	de 667 a 789

A continuación el espectro electromagnético en todo su esplendor (el crédito de la imagen que tomé prestada le corresponde al National Cancer¹ Institute de EE.UU).

¹Con relación a las incidencia de las radiofrecuencias en la salud de las personas, lean **éste** artículo extraído de: <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/radiation-exposure/radiofrequency-radiation.html>.



Notar lo estrecha que es la región correspondiente a la luz... ¡representa menos del 1 % del espectro EM!

Lo otro a tener en cuenta, es que recorriendo el espectro EM de izquierda a derecha, la energía de los fotones crece² con la frecuencia: los fotones menos energéticos son los de la radio, y los más energéticos son los de los rayos cósmicos.

Preguntas. ¿Cuánto vale la energía del fotón menos energético de la luz?, ¿y cuánto vale la energía del fotón más energético de la luz?

Tip: antes de responder a las preguntas, tener en cuenta que: $1 \text{ THz} = 1 \times 10^{12} \text{ Hz}$.

²Tal como establece la ley de Planck.

A ya por el año 1896 **Henri Becquerel** tenía pensado hacer una serie de experimentos que implicaban luz natural (de Sol). Quiso el destino que ese día estuviese nublado, lo que obligó a Henri a postergar los experimentos para otro día con Sol, y a guardar en el cajón de su escritorio unas placas fotográficas que pensaba usar en el experimento, cada una de ellas prolijamente envueltas en papel negro. Para fortuna inesperada de Henri, en el mismo cajón había una piedra de mineral (o sal) de uranio. A la mañana siguiente Henri le dio por revisar las placas fotográficas, y se encontró con que estaban veladas. No paso mucho tiempo para que Henri comprendiera que la causa que estropeó las placas, había sido algún tipo de radiación emitida por el mineral de uranio: Se había producido el descubrimiento de la **radioactividad natural**^a, una propiedad de la materia hasta ese momento desconocida. Hoy día se prefiere el término **radiactividad** (sin la “o”).

No pasó mucho tiempo para que se desencadenara una carrera, por la búsqueda de nuevas sustancias que emitieran radiación capaz de velar las placas fotográficas. Los científicos más exitosos en esa búsqueda, y que contribuyeron a la comprensión del fenómeno radiactividad fueron los esposos **Pierre Curie** y **Marie Skłodowska**, más conocida como Marie Curie^b. Las siguientes sustancias radioactivas que se sumaban al uranio fueron, el torio, el polonio, y el radio. Hoy se conocen cerca de 70 isótopos radioactivos naturales, y más del doble artificiales.

Fue el estudio pionero de este matrimonio de científicos que permitió, en una primera instancia, discriminar la radiactividad en tres tipos de radiaciones (ionizantes cualquiera de ellas): radiación alfa (α), radiación beta (β^-), y radiación gama (γ), y más adelante, se sumó la radiación beta inversa (β^+).

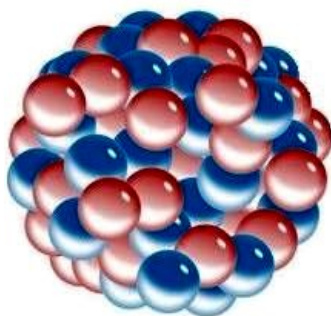
El descubrimiento de la radiactividad y la comprensión del fenómeno, fue fundamental, ya que permitió comprender mejor la estructura interna del átomo, y más concretamente, del núcleo atómico, que es precisamente donde se origina la radiactividad.

^apara distinguirla de la artificial.

^bPor haber estado casada con Pierre, y por ser la única persona con dos premios Nobel (nada más y nada menos)



Pero en definitiva, ¿qué es la radioactividad? Es un fenómeno que se produce espontáneamente en ciertos núcleos atómicos, los denominados **inestables**. Son núcleos con excedente de energía, y la forma en como el núcleo se transforma en un núcleo estable es mediante la liberación de ese excedente de energía.



Como ya sabemos, el núcleo está formado por protones, portadores de carga positiva, y los neutrones con carga neta cero. Ahora, los protones por tener carga eléctrica de igual signo deben repelerse, y debido a la proximidad entre ellos, esas fuerzas de repulsión deben ser de una intensidad enorme. . . ¡y sin embargo el núcleo no explota! Esto induce a pensar que debe existir dentro del núcleo una fuerza de atracción que se imponga a las fuerzas de repulsión, y de hecho, la hay: la **fuerza fuerte** (mejor nombre imposible). Aquí es donde entran los neutrones, los “coautores” de la fuerza fuerte, de muy corto alcance dentro de los límites del núcleo, es decir, con el alcance necesario para mantener la integridad del núcleo.

Sin embargo en los núcleos de los isótopos radioactivos el equilibrio entre las fuerzas eléctrica y fuerte es “frágil” ya que la relación entre el número de protones y neutrones no es el indicado para la estabilidad: los neutrones en el número preciso son los “estabilizadores” del núcleo, y si ese número no es el correcto la estabilidad no es posible.

Para lograr la estabilidad el núcleo inestable debe **modificar su estructura interna**, ¿cómo?, liberando partículas y energía (fotones). De hecho, la liberación de partículas implica necesariamente liberación de energía: las partículas son portadoras de energía cinética. Así el núcleo en “búsqueda” de la estabilidad se transforma (trasmuta) en otro núcleo, y continuará con el proceso, si es necesario, hasta alcanzar la estabilidad. Naturalmente, que cada transmutación implica un cambio de “identidad”: el átomo al que pertenece el núcleo cambia de elemento químico.

Para lograr una configuración de estabilidad en el núcleo, la naturaleza ideó cuatro mecanismos:

radiación alfa (α): consiste en la emisión de una “partícula” α formada por dos protones y dos neutrones, es decir, la partícula α no es otra cosa que núcleo de helio.

radiación beta (β^-): se produce cuando un neutrón del núcleo se desintegra en un protón y un electrón, donde éste último sale expulsado del núcleo junto a otra partícula denominada antineutrino³.

radiación beta inversa (β^+): como lo indica su nombre es la inversa de la anterior, pues un protón se desintegra en un neutrón y un positrón⁴, que sale expulsado del núcleo junto con un neutrino.

³la antipartícula del neutrino, una partícula diminuta cuya masa de tener es casi nula.

⁴La antipartícula del electrón, que tiene carga positiva.

radiación gama (γ): no es otra cosa que un fotón gama, energía pura... energía en forma de radiación electromagnética. La radiación γ no implica una transmutación del núcleo, ya que el número de protones y neutrones, a diferencia de las radiaciones anteriores, no se ve alterado.

Normalmente la emisión de cualquiera de las tres primeras emisiones (α , β^- , y β^+), van acompañadas de la emisión de algún fotón γ .

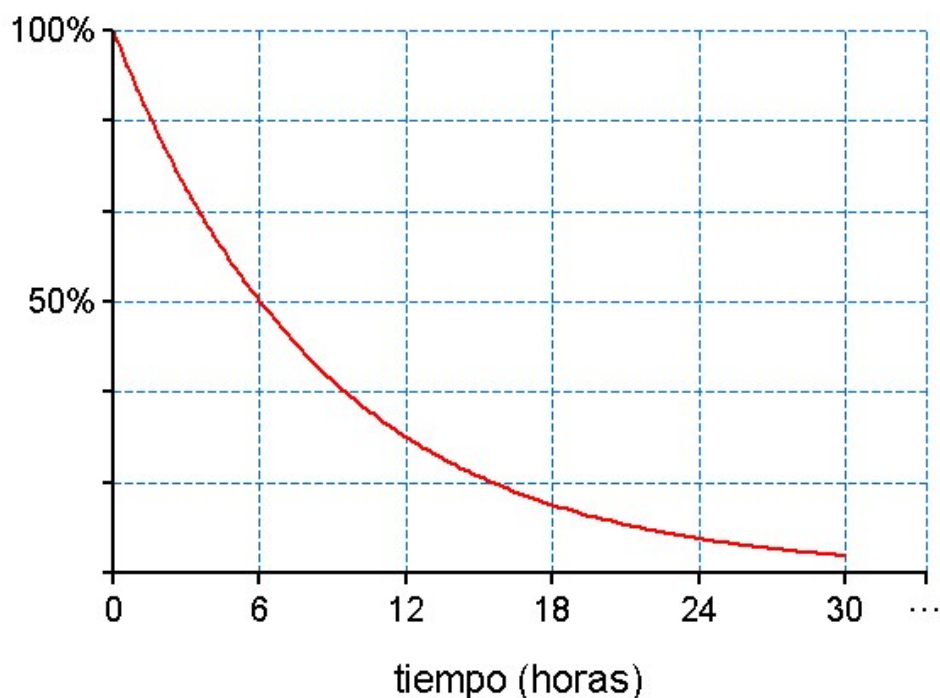
La radiación γ es la que mayor capacidad de atravesar la materia tiene, seguida por la las betas (β^- y β^+), y finalmente la α .

Se denomina:

tiempo de vida media al tiempo promedio transcurrido hasta que un núcleo inestable emite alguna radiación.

período de semidesintegración al tiempo transcurrido para que la mitad de los núcleos de cierta sustancia radioactiva se convierte en otro elemento químico.

A continuación se muestra la curva de decaimiento radioactivo de cierta muestra del tecnecio 99 metaestable (Tn-99m), isótopo radioactivo muy usado en medicina nuclear.



Preguntas: según la grafica, ¿de cuanto es el período de semidesintegración del Tn-99m?, y ¿a qué puede deberse que se eligió al Tn-99m como isótopo trazador en medicina?