

Fundamentos teóricos: Simulación espectro de radiación de cuerpo negro

Maryi Alejandra Carvajal¹ and Valentina Bedoya Aristizábal²

¹⁻²Instituto de Física, Universidad de Antioquia U de A, Medellín, Colombia

14 de octubre de 2021

Resumen

En este documento encontrarás las bases teóricas para la simulación de Radiación de cuerpo negro, la cual se divide en dos temáticas, El espectro electromagnético y la Radiación de cuerpo negro. Adicionalmente este documento puede complementarse con el documento de **Actividades de la simulación: Espectro de radiación de cuerpo negro** en donde encontrarás diferentes actividades para llevar a cabo sobre la simulación y aprender más sobre el tema.

1. Espectro Electromagnético

Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Esta distribución permite diferenciar toda la radiación electromagnética y crear una identificación para cada tipo de ella. Adicional a la energía el espectro electromagnético también contiene información de la longitud de onda y la frecuencia para cada tipo de radiación. La longitud de una onda, simbolizada con la letra λ es el período espacial de una onda, corresponde a la distancia que hay entre dos puntos de igual altura en una onda, tal como se enseña en la figura 1. Por otra parte la frecuencia es una magnitud que mide

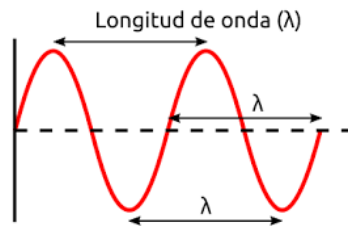


Figura 1: Longitud de onda para una onda sinusoidal

el número de repeticiones por unidad de tiempo, para el caso de las ondas equivale a la cantidad de veces que la onda se repite por unidad de tiempo. Así, si una onda se repite diez veces por segundo, significa que tiene una frecuencia de diez ciclos por segundo. Esto puede expresarse como una frecuencia de 10 hercios o 10 Hz. Es así como tanto longitud de onda y frecuencia están relacionadas y en la medida que una aumenta la otra disminuye. Las ondas electromagnéticas a diferencia de las ondas mecánicas pueden propagarse incluso en ausencia de medio, de hecho en el vacío se propagan a la velocidad de la luz $c = 3 \cdot 10^8 m/s$. Así obtenemos una nueva relación entre la longitud de onda y la frecuencia.

$$v = \lambda f \quad (1)$$

Donde v es la velocidad de propagación de la onda (en el caso del vacío $v = c$), λ la longitud de onda y f la frecuencia. Como mencionamos anteriormente, esta información sobre la radiación nos permite catalogarla e

identificarla tal y como si fuera su huella dactilar, a su vez la interacción de la radiación con la materia también nos permite identificar y catalogar la materia, en este caso existen dos diferentes espectros: el de absorción y el de emisión (radiación de cuerpo negro). El espectro de absorción de la materia muestra la fracción de la radiación electromagnética incidente que un material absorbe dentro de un rango de frecuencias. En cierto sentido es opuesto de un espectro de emisión. Cada elemento químico posee líneas de absorción en algunas longitudes de onda, hecho que está asociado a las diferencias de energía de sus distintos orbitales atómicos y en este sentido podemos catalogar cada elemento de forma única conociendo su espectro. Los espectros se pueden contemplar mediante espectroscopios que, además de permitir observar el espectro, permiten realizar medidas sobre el mismo, como la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de la radiación. El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos cósmicos, los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio. Se cree que el límite para la longitud de onda más pequeña posible es la longitud de Planck que es del orden de 10^{-35} mientras que el límite máximo sería el tamaño del Universo aunque formalmente el espectro electromagnético es infinito y continuo. La figura 2 enseña el espectro electromagnético presente en la simulación.

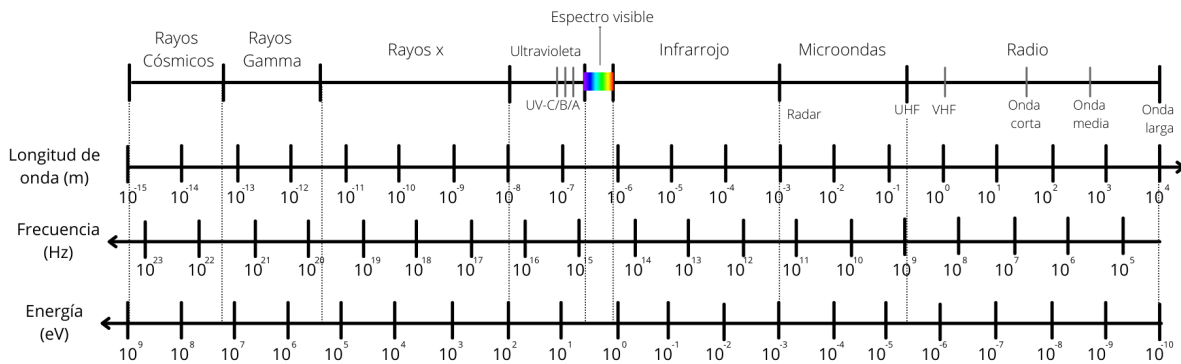


Figura 2: Espectro electromagnético

2. Radiación de cuerpo negro

Desde una perspectiva la radiación se refiere a la emisión de energía de un cuerpo, esta energía es transportada por ondas electromagnéticas y en el caso del vacío pueden propagarse a la velocidad de la luz ($c = 3 \cdot 10^8 m/s$). El tipo de onda y la energía que transportan está clasificado por el espectro electromagnético, el cual se encuentra descrito en la sección anterior.

Un cuerpo negro es un cuerpo opaco y no reflectante, por lo tanto, este cuerpo en teoría podría absorber toda la radiación incidente sobre él e irradiar únicamente la energía que lo caracteriza. Primero, discutamos un poco sobre como es el proceso de emisión, absorción y reflexión en la interacción radiación materia para entender la radiación del cuerpo negro.

Sobre la superficie de un cuerpo incide constantemente energía radiante, la que incide desde el exterior. Cuando la energía radiante incide sobre la superficie una parte se refleja y la otra parte se transmite. Pero

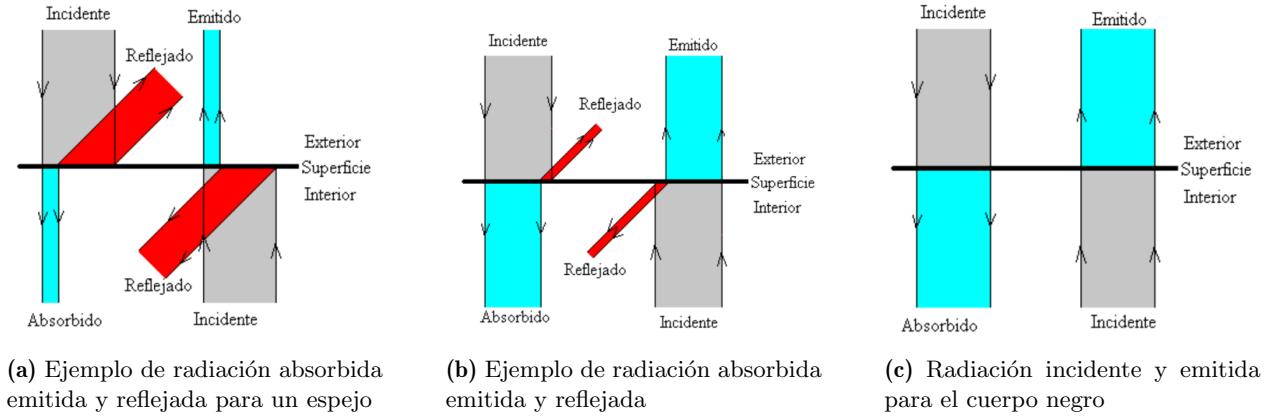


Figura 3: Ejemplos de radiación incidente

la radiación puede ser emitida nuevamente por los cuerpos, donde la porción de radiación emitida será proporcional a la radiación absorbida por el mismo. En la figura 3, podemos ver tres ejemplos diferentes de la incidencia de radiación (gris), la absorción y emisión de radiación de un cuerpo (cian) y la radiación reflejada (rojo). En el primer ejemplo **a** tenemos el caso de un cuerpo que es muy bueno reflejando la radiación, como puede ser el caso de un espejo, en este caso muy poca de la radiación incidente es absorbida y por lo tanto esa misma pequeña porción será la única que podrá ser emitida. En el caso **b** se representa un cuerpo que refleja una cantidad mucho menor de radiación, por ende absorbe y emite en mayor proporción. Finalmente, en el **c** tenemos el comportamiento de un cuerpo negro, un cuerpo negro es una idealización o caso límite, en el cual no se refleje nada de radiación y por lo tanto toda la radiación pueda ser absorbida y emitida en su totalidad. Así pues, un buen absorbedor de radiación es un buen emisor, y un mal absorbedor es un mal emisor. También un buen reflector es un mal emisor, y un mal reflector es un buen emisor. Por lo tanto, el cuerpo negro sería el mejor absorbiendo y emitiendo radiación.

La radiación del cuerpo negro es la radiación electromagnética térmica emitida por un cuerpo negro. Tiene un espectro y una intensidad específicos que dependen solo de la temperatura del cuerpo, que se asumen para simplificar como uniformes y constantes. Si bien este cuerpo es una idealización muchos objetos pueden aproximarse bastante a él.

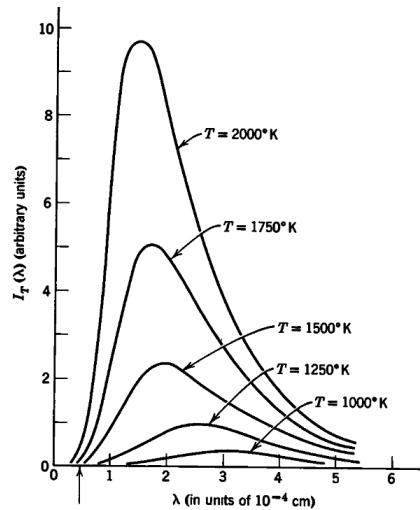


Figura 4: Distribución espectral de la radiación de cuerpo negro para diferentes temperaturas[2]

La radiación térmica emitida espontáneamente por muchos objetos ordinarios puede aproximarse a la radiación de cuerpo negro. Un recinto perfectamente aislado que se encuentra en equilibrio térmico interna-

mente contiene radiación de cuerpo negro y lo emitirá a través de un agujero hecho en su pared, siempre que el agujero sea lo suficientemente pequeño como para tener un efecto insignificante en el equilibrio.

En cuanto al espectro de emisión de un cuerpo negro depende de la temperatura al que este se encuentre, el ojo humano es un instrumento que es capaz de detectar radiación en un rango limitado del espectro electromagnético, llamado rango visible, por lo tanto en el caso de un cuerpo negro a temperatura ambiente es percibido como un objeto negro, ya que la mayor parte de la energía que irradia es infrarroja y no puede ser percibida por el ojo humano. Pero en la medida que vaya aumentando su temperatura comienza a lucir más rojo y si aumenta su temperatura más, se vuelve amarillo, blanco y, finalmente, azul-blanco.

Con el modelo de cuerpo negro se modela también, en una primera aproximación la energía que emiten los planetas y las estrellas. A su vez, los agujeros negros son cuerpos negros casi perfectos, en el sentido de que absorben toda la radiación que incide sobre ellos. Incluso, se ha propuesto que emitan radiación de cuerpo negro, cuya temperatura dependa de la masa del agujero negro y conocida como radiación de Hawking. En la figura 4, se enseña la distribución típica de radiación de cuerpo negro en la medida que se varía la temperatura. Se sugiere al lector que desee profundizar más en las temáticas desarrolladas sobre cuerpo negro consultar en la referencia [2].

Referencias

- [1] Héctor Alzate L., Física de las ondas. Universida de Antioquia.
- [2] Robert M. Eisberg, Fundamentos de física moderna. Capítulo 2: Radiación térmica y el origen de la mecánica cuántica.
- [3] Alessandro Fabbri, José Navarro-Salas. Modeling black hole evaporation. Chapter 1: Introduction. Imperial College Press.
- [4] Imágenes radiación de cuerpo negro <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/negro/radiacion/radiacion.htm>