

# 14 - Líneas espectrales y Efecto Doppler

A diferencia de un cuerpo sólido (-> cuerpo negro), hemos aprendido que los átomos (y también las moléculas) solo pueden absorber y emitir fotones de energías especiales (y por tanto frecuencias) según sus estados cuánticos.

Estas energías son diferentes para diferentes átomos y moléculas.

En ese laboratorio podemos medir las energías de los fotones que un determinado átomo de un elemento o una molécula puede emitir o absorber.

Esta fue, por ejemplo, la forma en que se detectaron nuevos elementos en el pasado.

# Líneas espectrales

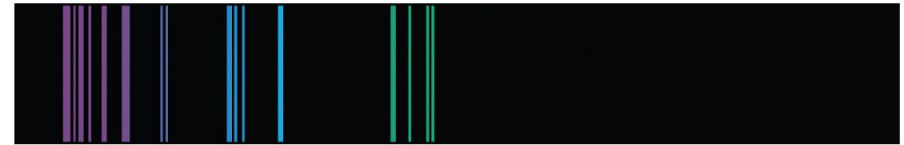
## SPECTRA SHOWING DIFFERENT ELEMENTS

---

**CARBON**



**OXYGEN**



**NITROGEN**



**IRON**



líneas espectrales de diferentes elementos

Una línea espectral es una línea oscura o brillante en un espectro uniforme y continuo, resultado de un exceso o una carencia de fotones en un estrecho rango de frecuencias, comparado con las frecuencias cercanas.

Cuando existe un exceso de fotones se habla de una línea de emisión. En el caso de existir una carencia de fotones, se habla de una línea de absorción.

El estudio de las líneas espectrales permite realizar un análisis químico de cuerpos lejanos, siendo la espectroscopia uno de los métodos fundamentales usados en la astrofísica, aunque es utilizada también en el estudio de la Tierra.



Espectro continuo



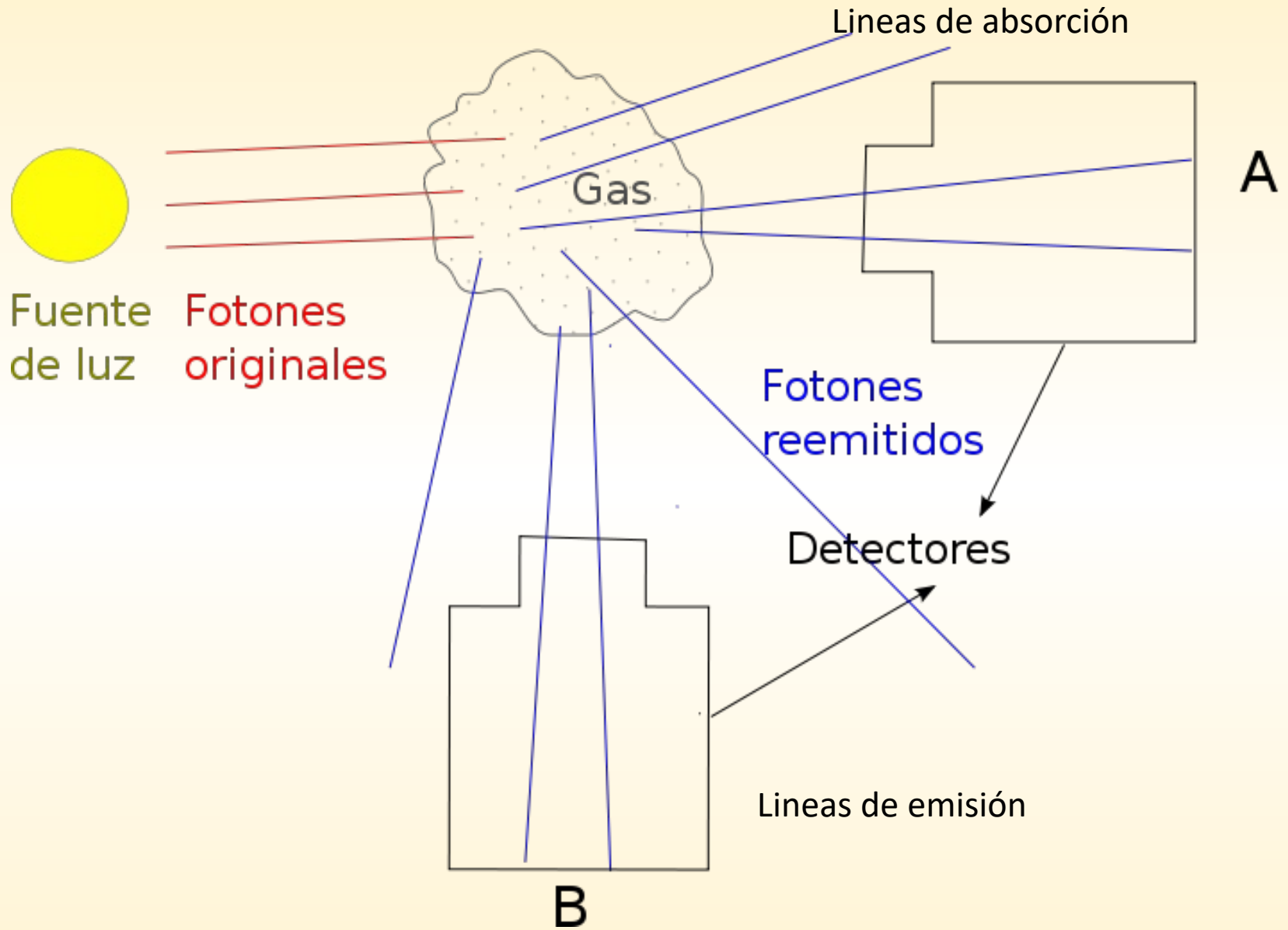
Líneas de emisión



Líneas de absorción

# Las tres leyes de espectroscopía de Kirchhoff

1. Un objeto sólido caliente produce luz en un espectro continuo.
2. Un gas tenue produce luz con líneas espectrales en longitudes de onda discretas que dependen de la composición química del gas.
3. Un objeto sólido a alta temperatura rodeado de un gas tenue a temperaturas inferiores produce luz en un espectro continuo con huecos en longitudes de onda discretas cuyas posiciones dependen de la composición química del gas.



Las líneas espectrales son el resultado de la interacción entre un sistema cuántico —por lo general, átomos, pero algunas veces moléculas o núcleos atómicos— y fotones.

Cuando un fotón tiene una energía muy cercana a la necesaria para cambiar el estado de energía del sistema (en el caso del átomo el cambio de estado de energía sería un electrón cambiando de orbital), el fotón es absorbido.

Tiempo después, será reemitido, ya sea en la misma frecuencia —o longitud de onda— que originalmente tenía, o en forma de cascada, es decir una serie de fotones de diferente frecuencia. La dirección en la que el nuevo fotón será reemitido estará relacionada con la dirección de donde provino el fotón original.



La posición de las líneas espectrales depende del átomo o molécula que las produzca.

Debido a lo anterior, estas líneas son de gran utilidad para identificar la composición química de cualquier medio que permita pasar la luz a través de él.

Varios elementos químicos se han descubierto gracias a la espectroscopia.

Entre algunos de éstos están el helio, el talio y el cerio.

Las líneas espectrales también dependen de las condiciones físicas del gas.

Por esta razón, son comúnmente utilizadas para determinar las características físicas, además de la composición química, de estrellas y otros cuerpos celestes, para los cuales no existe ningún otro método de análisis.

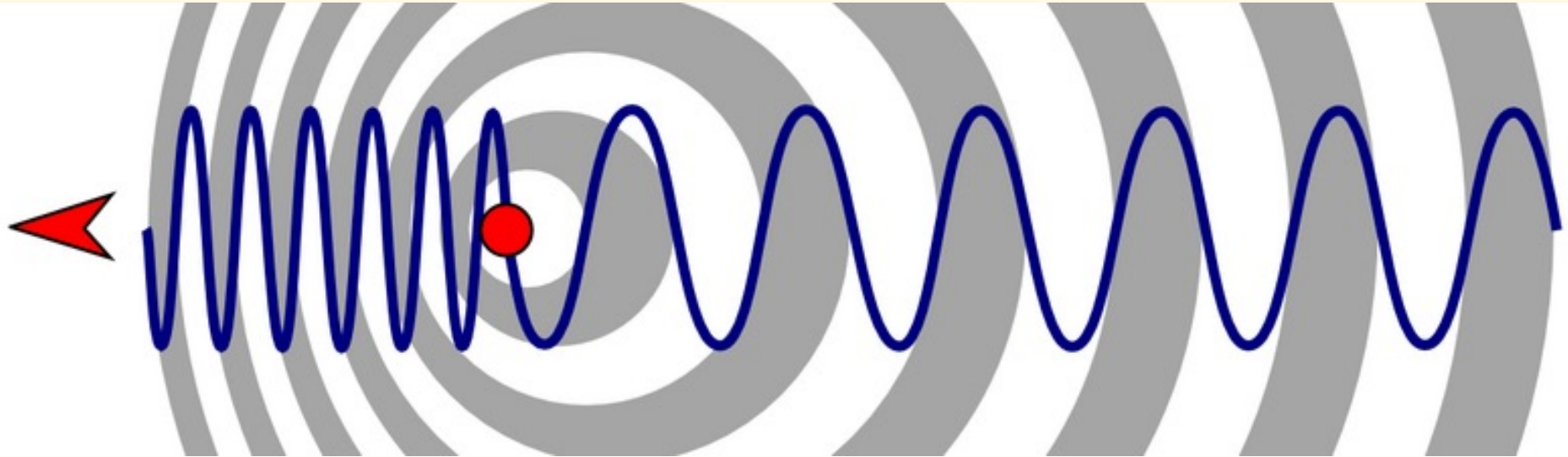
# Efecto Doppler



Sheldon Cooper

Gracias a él, sabemos lo que es el Efecto Doppler

# Efecto Doppler



El efecto Doppler, llamado así por el austríaco Christian Doppler, es el aparente cambio de frecuencia de una onda producido por el movimiento de la fuente respecto a su observador.



# Christian Andreas Doppler (1803-1853)

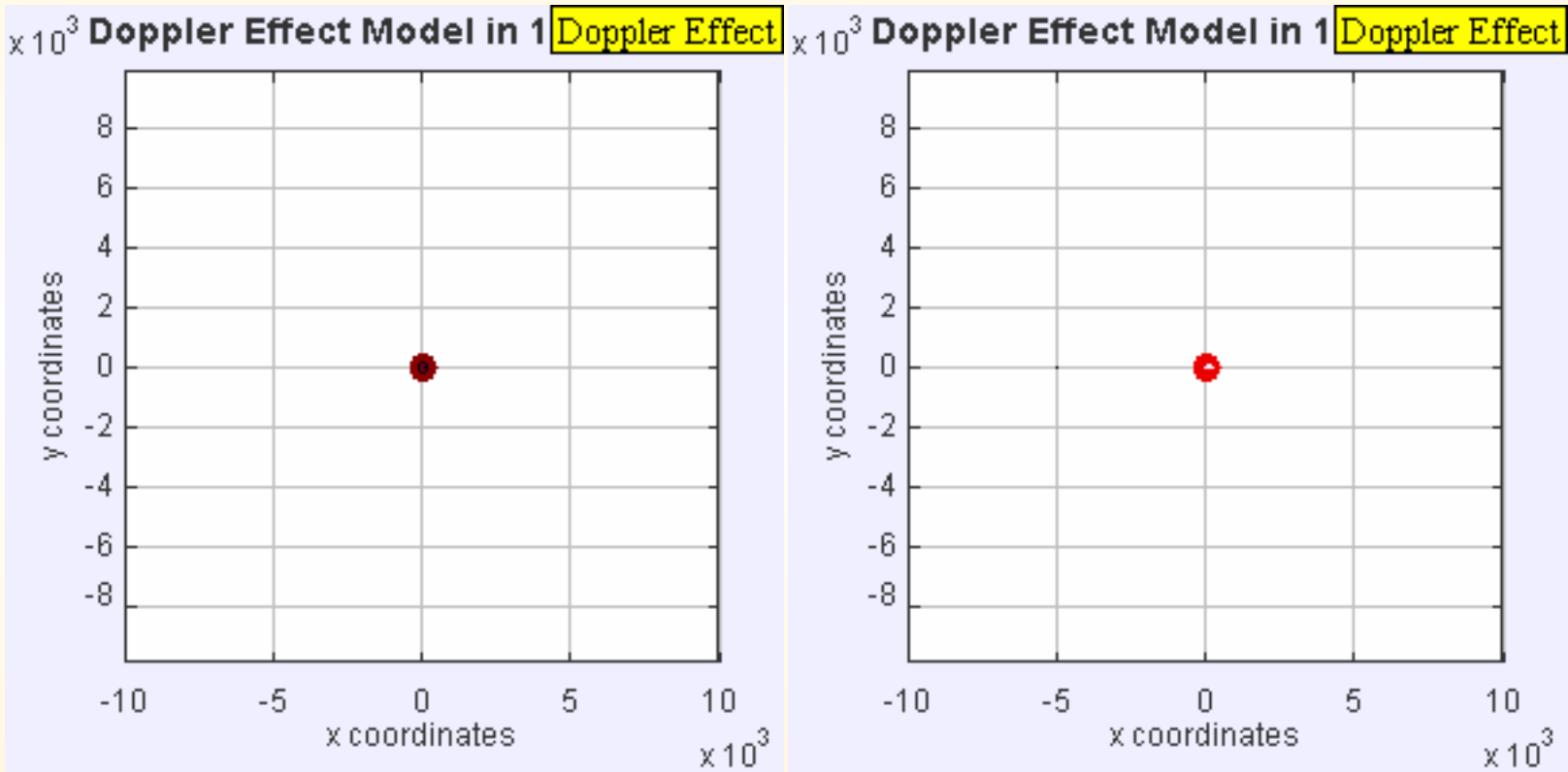
fue un matemático y físico austríaco.

Principalmente conocido por su hipótesis sobre la variación aparente de la frecuencia de una onda percataada por un observador en movimiento relativo frente al emisor.

A este efecto se le conoce como efecto Doppler.



# Efecto Doppler en Sonido



Sin movimiento

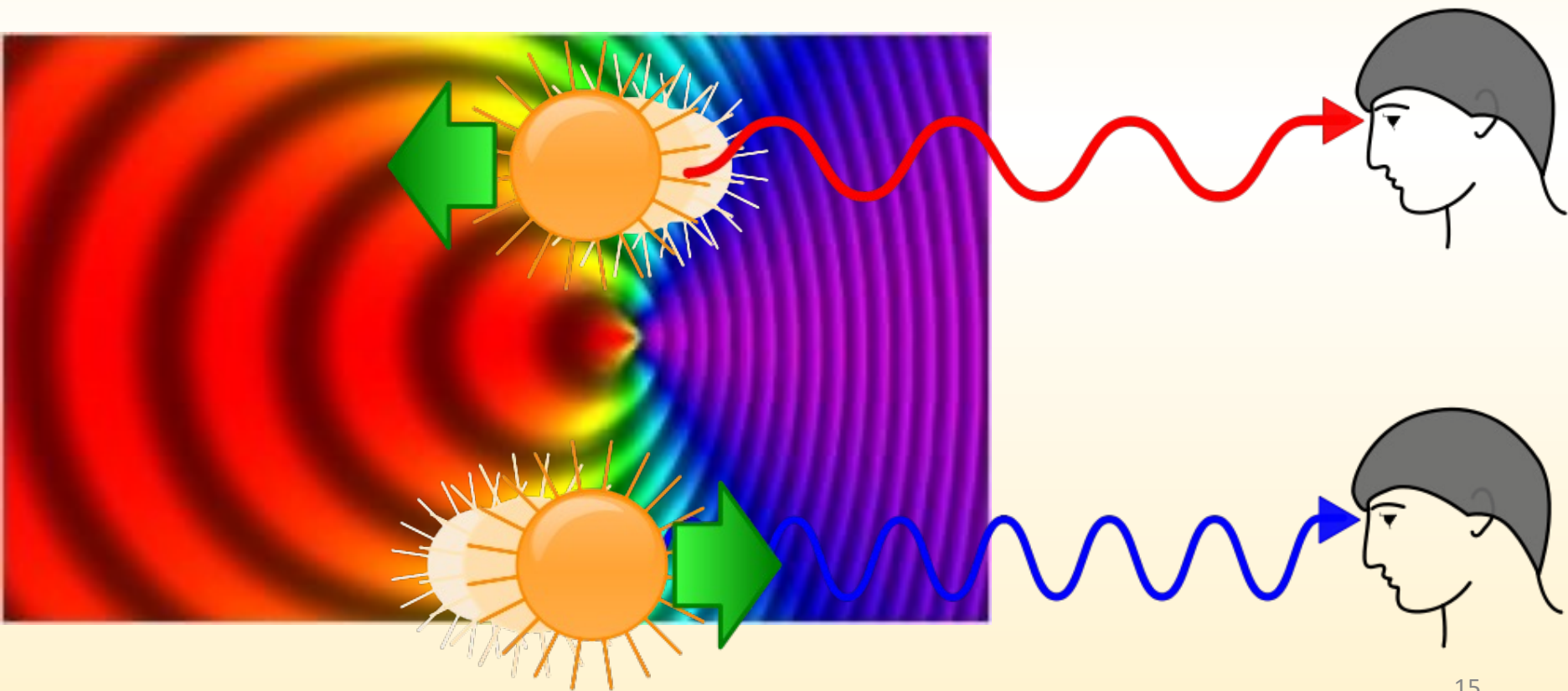
Con movimiento

La razón del efecto Doppler es que cuando la fuente de las ondas se mueve hacia el observador, cada cresta de onda sucesiva se emite desde una posición más cercana al observador que la cresta de la onda anterior.

Por lo tanto, cada onda tarda un poco menos de tiempo en llegar al observador que la onda anterior. Por lo tanto, el tiempo entre las llegadas de crestas de onda sucesivas al observador se reduce, lo que provoca un aumento en la frecuencia.

Por el contrario, si la fuente de ondas se aleja del observador, cada onda se emite desde una posición más alejada del observador que la onda anterior, por lo que el tiempo de llegada entre sucesivas ondas aumenta, reduciendo la frecuencia. La distancia entre frentes sucesivos de olas aumenta entonces, por lo que las olas se "extienden".

# Efecto Doppler relativista (luz)



En física, el efecto Doppler relativista es el cambio observado en la frecuencia de la luz procedente de una fuente en movimiento relativo con respecto al observador.

El efecto Doppler relativista es distinto del efecto Doppler de otro tipo de ondas como el sonido debido a que la velocidad de la luz es constante para cualquier observador independientemente de su estado de movimiento.

A su vez, requiere para su explicación el manejo de la teoría de la relatividad especial.

El cambio en frecuencia observado cuando la fuente se aleja viene dado por la siguiente expresión:

$$f_{observada} = f_{emitida} \sqrt{\frac{1 - v/c}{1 + v/c}}$$



$$f_{obs} = f_{emit} \cdot \gamma \cdot \frac{c \pm v}{c}$$

Efecto Doppler relativista

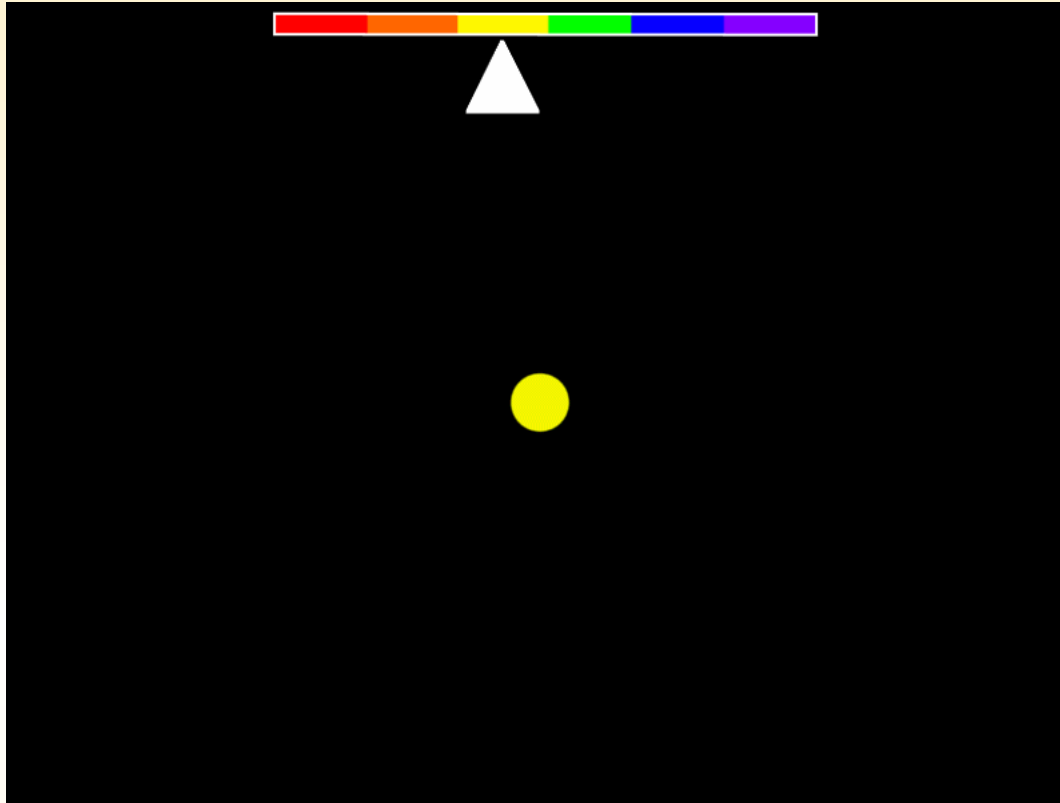
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Factor de Lorentz

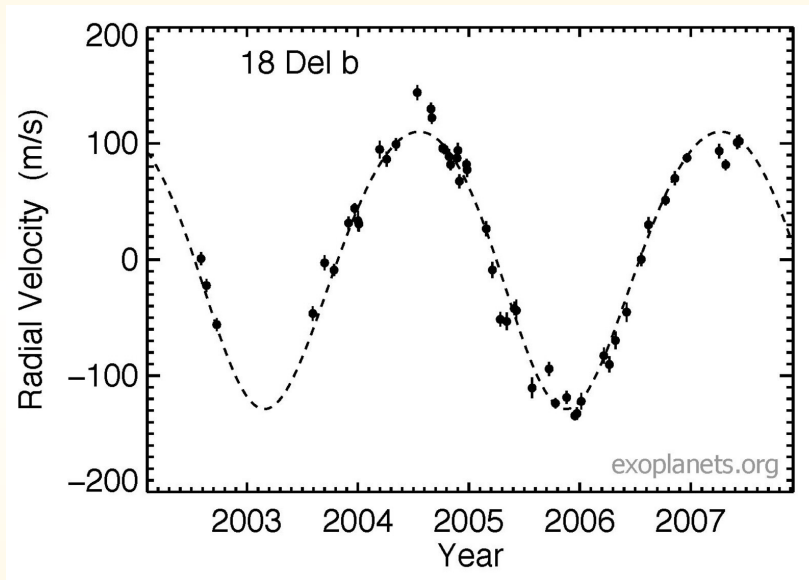
$$f_{obs} = f_{emit} \cdot \frac{1 \pm \frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = f_{emit} \cdot \sqrt{\frac{\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

+ alejando  
- acercando

$$f_{obs} = f_{emit} \cdot \sqrt{\frac{\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)}{\left(1 + \frac{v}{c}\right)\left(1 - \frac{v}{c}\right)}}$$



Efecto Doppler, la bola amarilla ( $\sim 575$  nm de longitud de onda) aparece verdosa (cambio de azul a  $\sim 565$  nm de longitud de onda) acercándose al observador, se vuelve naranja (desplazamiento al rojo a  $\sim 585$  nm de longitud de onda) a medida que pasa y vuelve a amarillo cuando el movimiento se detiene. Para observar dicho cambio de color, el objeto tendría que viajar a aproximadamente  $5,200$  km/s, o aproximadamente 75 veces más rápido que el récord de velocidad para la sonda espacial artificial más rápida.



Una estrella con un planeta se moverá en su propia órbita pequeña en respuesta a la gravedad del planeta.

Esto conduce a variaciones en la velocidad con la que la estrella se mueve hacia o desde la Tierra, es decir, las variaciones están en la velocidad radial de la estrella con respecto a la Tierra.

La velocidad radial se puede deducir del desplazamiento en las líneas espectrales de la estrella madre debido al efecto Doppler.

# Corrimiento al rojo

En física y astronomía, el **corrimiento al rojo**, corrimiento hacia el rojo o desplazamiento hacia el rojo (En inglés: Redshift), ocurre cuando la radiación electromagnética, normalmente la luz visible, que se emite o refleja desde un objeto es desplazada hacia el rojo al final del espectro electromagnético.

De manera más general, el corrimiento al rojo es definido como un incremento en la longitud de onda de radiación electromagnética recibidas por un detector comparado con la longitud de onda emitida por la fuente.

Este incremento en la longitud de onda se corresponde con un decremento en la frecuencia de la radiación electromagnética.

En cambio, el decrecimiento en la longitud de onda es llamado **corrimiento al azul**.

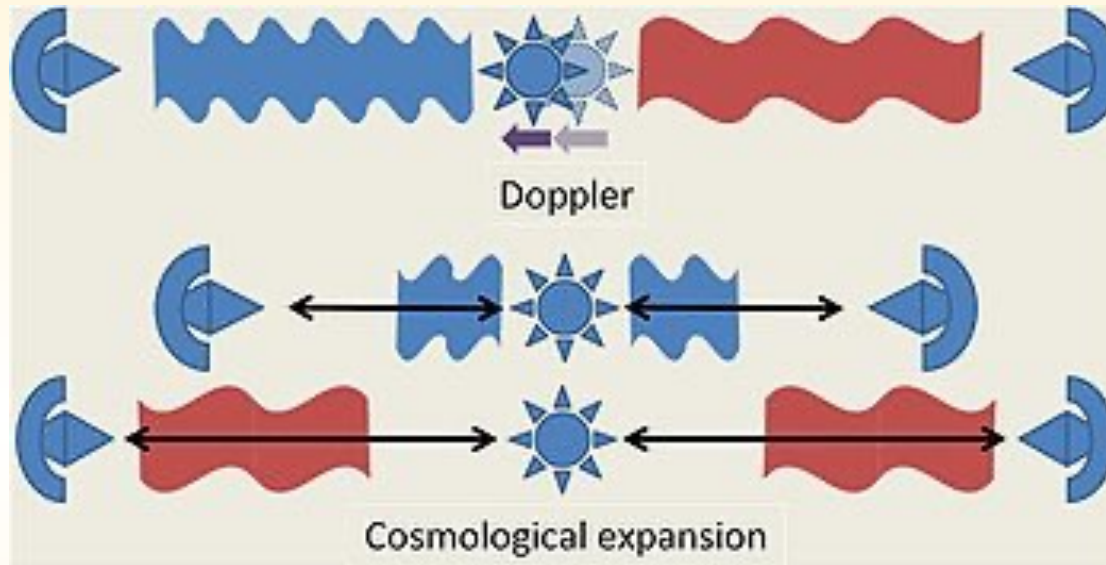
Cualquier incremento en la longitud de onda se llama "corrimiento hacia el rojo", incluso si ocurre en radiación electromagnética de longitudes de onda no visibles, como los rayos gamma, rayos X y radiación ultravioleta.

Esta denominación puede ser confusa ya que, a longitudes de onda mayores que el rojo (p.ej. infrarrojo, microondas y ondas de radio), los desplazamientos hacia el rojo se alejan de la longitud de onda del rojo.

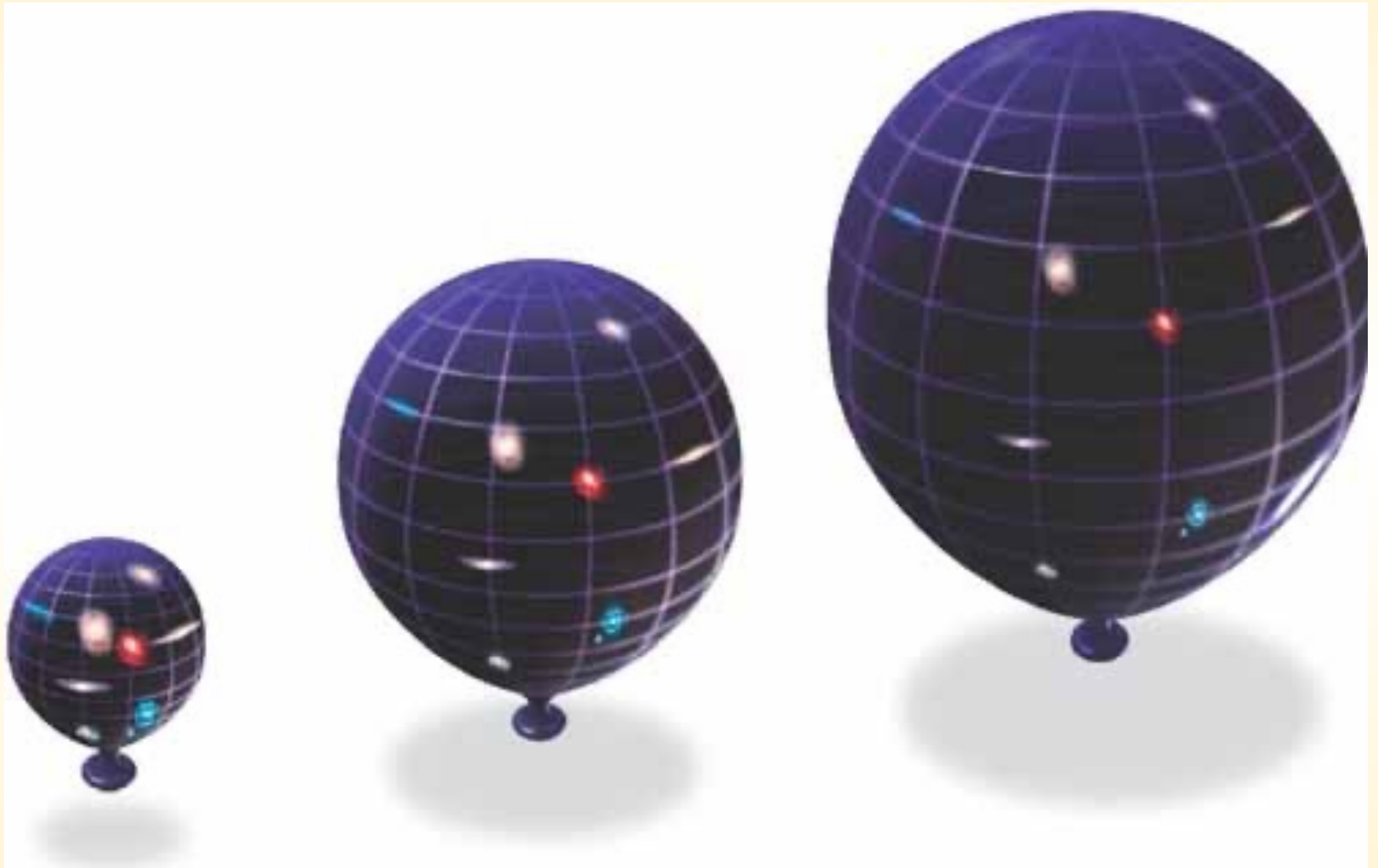
La espectroscopia astronómica utiliza los corrimientos al rojo Doppler para determinar el movimiento de objetos astronómicos distantes.

Este fenómeno fue predicho por primera vez y observado en el Siglo XIX cuando los científicos empezaron a considerar las implicancias dinámicas de la naturaleza ondulatoria de la luz.

# Corrimiento al rojo cosmologico

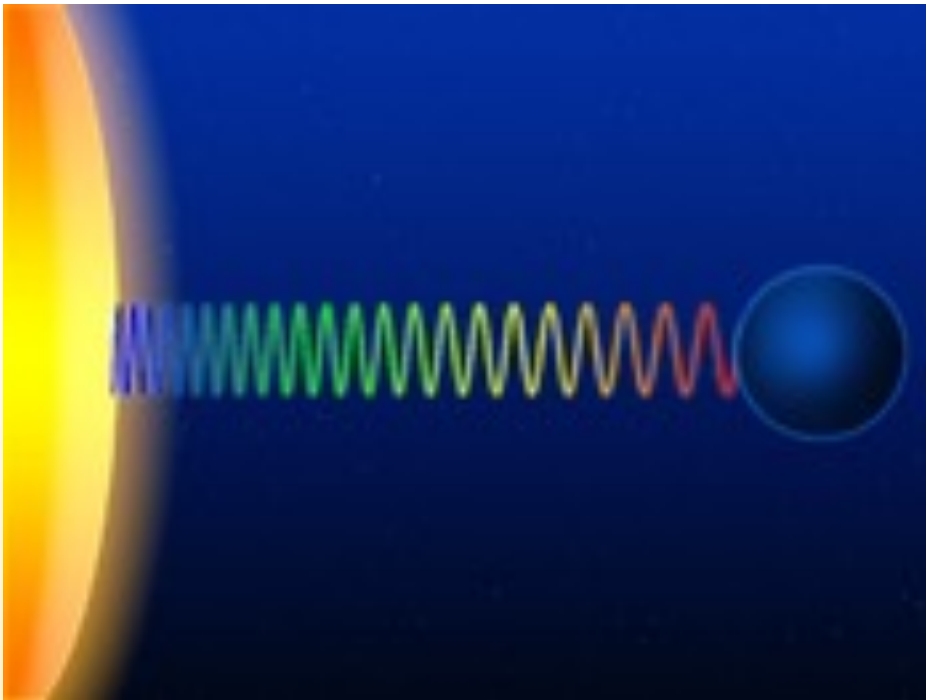


Otro mecanismo de corrimiento hacia el rojo es la expansión métrica del espacio, que explica la famosa observación de los corrimientos al rojo espectrales de galaxias distantes, quasars y nubes gaseosas intergalácticas se incrementan proporcionalmente con su distancia al observador. Este mecanismo es una característica clave del modelo del Big Bang de la cosmología física.



# Corrimiento al rojo gravitacional

Un tercer tipo de corrimiento al rojo, el corrimiento al rojo gravitacional (también conocido como efecto Einstein), es un resultado de la dilatación del tiempo que ocurre cerca de objetos masivos, de acuerdo con la relatividad general.





# Albert Einstein

Ulm, Alemania, 14.03.1879

Princeton, Estados Unidos,  
18.04.1955

fue un físico de origen alemán, nacionalizado posteriormente suizo y estadounidense. Está considerado como el científico más importante del siglo XX, además de ser el más conocido.

