

Efecto Doppler

Considere un observador que escucha el sonido de una fuente sonora. Supongamos que la fuente sonora genera un sonido continuo de frecuencia f_0 . Si la separación de la fuente y el observador varía en función del tiempo, entonces la frecuencia que escucha el observador no será f_0 . Este fenómeno se conoce con el nombre de **Efecto Doppler**.

Si no te quedo claro lo que es el Efecto Doppler, la forma más fácil de poder entenderlo es mediante un ejemplo. El más utilizado, es :

Una persona esta en la calle y escúchala sirena de una ambulancia,

si la ambulancia esta detenida las ondas emitida por la sirena van a ser constantes, es decir no va a variar (en este caso la fuente esta sin movimiento); cuando la ambulancia empiece a moverse hacia el oyente las ondas van a ir aumentando su rapidez, haciendo que el oyente escuche el sonido más agudamente a medida que se acerca la sirena de la ambulancia (en este caso la fuente se está acercando al oyente u observador); y cuando la ambulancia se empieza a alejar las ondas van a ir disminuyendo su rapidez, haciendo que el sonido se escuche gravemente y cada vez menos (en este caso la fuente se está alejando del oyente). Cuanto mayor es la velocidad de la ambulancia mayor es mayor el cambio de frecuencia.

Y Cuando un avión supera la velocidad del sonido los frentes de ondas se comprimen formando una onda de choque que escuchamos como estallido sónico.

Una causa conocida en la cual podemos nombrar el efecto Doppler es la del desplazamiento hacia el rojo, que desplaza la longitud de onda de la luz emitida por los objetos celestes hacia el rojo (mayor longitud de onda) cuando los objetos se alejan de la Tierra. Objetos distantes como las galaxias se apartan de la Tierra a causa de la expansión del Universo. Por la cantidad de desplazamiento hacia el rojo, los astrónomos pueden calcular la velocidad de ese alejamiento. La Ley de Hubble, que establece que la velocidad de alejamiento causada por la expansión del Universo es directamente proporcional a la distancia del objeto, indica que el quásar 3C 273 está a 1.500 millones de años luz de la Tierra.

Fizeau en 1848 extendió el efecto Doppler a las ondas luminosas; seis años antes Christian Doppler había descrito este efecto en relación a las ondas sonoras. Fizeau demostró, en 1850, que la propagación de la carga eléctrica no es instantánea, y fue uno de los primeros en comprobar la existencia del espectro infrarrojo. Por último, tuvo la idea de utilizar las longitudes de onda luminosas como patrón de longitud, tras los trabajos sobre la llama de sodio realizados en 1864.

El efecto Doppler también se encuentra en la astronomía radar : La longitud de onda de la señal de retorno es distinta de la longitud de onda de la señal emitida porque el objeto estudiado se acerca o se aleja de la Tierra. Esta diferencia de longitud de onda se mide cuidadosamente porque, al aplicar el efecto Doppler, se puede utilizar para conocer la velocidad del objeto con respecto a la Tierra. Por esta razón, si el objeto está girando, las señales que provienen de sus distintas partes cambiarán de longitud de onda. La difusión de longitudes de onda en la señal de retorno es utilizada, por tanto, para medir la velocidad de rotación del objeto en relación con la Tierra. Si estas mediciones se realizan durante unos cuantos meses, la dirección del objeto respecto a la Tierra habrá cambiado, y se puede determinar la dirección en la que gira alrededor de su eje. Otro método de procesamiento de la señal, sobre todo a partir de datos de las sondas espaciales, permite construir mapas de la reflexibilidad de las ondas de radio de la Luna o de un planeta. Al seleccionar señales en zonas adecuadas y regiones de cambio de longitud de onda, se puede trazar un mapa de la superficie completa de un planeta .

Muchos experimentos interesantes y valiosos en física han sido posibles gracias al uso de la radioastronomía.

Por ejemplo, una señal de radar que pasa a través del campo gravitatorio del Sol se compararía si es correcta la teoría general de la relatividad. A finales de 1970, el vehículo espacial *Viking*, enviado hacia Marte, estaba equipado con transmisores-receptores para recibir y retransmitir las señales de radar desde la Tierra con la finalidad de examinar este efecto. En 1980 habían proporcionado valores que estaban dentro del 0,002% de los previstos por la relatividad general.

Otras aplicaciones son:

En los cúmulos móviles, como los miembros de un cúmulo nacen juntos, parece lógico que continúen moviéndose juntos por el espacio. Esto proporciona un método muy potente para hallar sus distancias. Si las estrellas se alejan de nosotros, parecen converger hacia un punto distante como resultado de la perspectiva. Midiendo el movimiento de las estrellas a lo largo de la línea de visión (sus velocidades radiales) utilizando el efecto Doppler y a través de la línea de visión (sus movimientos propios), según se mueven hacia el punto de convergencia, se pueden calcular sus distancias a nosotros a partir de la geometría simple. Esta técnica se conoce como el método del cúmulo móvil, y funciona bien, en particular para las Híadas, que es un cúmulo grande y relativamente cercano. De hecho, el hallazgo de la distancia a las Híadas por este método constituye un paso importante en la construcción de la escala de distancias del Universo.

En la espectroscopia (estudio de los espectros) un análisis espectroscópico cuidadoso muestra que las líneas espectrales tienen una estructura fina debida a tres causas: la forma elíptica de las órbitas de los electrones, el espín del electrón y el espín del protón. En la práctica, también hay que tener en cuenta los campos eléctricos y magnéticos parásitos que puedan existir, y el hecho de que el hidrógeno suele ser una mezcla de hidrógeno atómico y molecular, y de isótopos normales y pesados. Además, todas estas partículas se mueven de forma aleatoria, por lo que también aparecen efectos Doppler aleatorios. Todos estos fenómenos afectan a las líneas espectrales, por lo que el espectro observado en una muestra de hidrógeno gaseoso es más complejo de lo que predice la teoría.

Se encuentran en las estrellas binarias espectroscópicas, identificadas por primera vez en 1889, no son separables visualmente por medio del telescopio, pero se pueden reconocer duplicando o ensanchando las líneas del espectro cuando gira el par de estrellas. Cuando uno de los componentes se aleja de la Tierra, el otro se aproxima a ella; las líneas del espectro de la estrella que se aleja se desplazan hacia el rojo, mientras que las de la estrella que avanza se desplazan hacia el violeta.

Cualquier planeta extrasolar tendría una luminosidad miles de millones de veces menor que la estrella en torno a la cual gira, por lo que ni siquiera el telescopio espacial *Hubble* podría verlo. Por tanto, es necesario buscarlos por métodos indirectos intentando detectar los ligeros movimientos que una estrella realizaría al girar en torno a su centro de gravedad común con un planeta que no puede verse. Esto se puede realizar de dos formas: bien siguiendo la posición de la estrella y buscando un movimiento oscilatorio lateral, bien buscando un desplazamiento (debido al efecto Doppler) cíclico en su espectro, que indicaría un movimiento hacia atrás y hacia adelante a lo largo de la línea de visión. En un momento se pensó que una oscilación en la posición de una enana roja cercana, la estrella de Barnard, indicaba la presencia de planetas similares a Júpiter o Saturno, pero eso no llegó a confirmarse. En 1995, astrónomos del observatorio de Ginebra descubrieron mediante la técnica Doppler un planeta extrasolar con una masa comparable a la de Júpiter. Este planeta orbita en torno a 51 Pegasi, una estrella semejante al Sol, situada a 45 años luz de distancia. El planeta gira en torno a 51 Pegasi una vez cada cuatro días, a una distancia de sólo 8 millones de kilómetros un 5% de la distancia de la Tierra al Sol, por lo que sería extremadamente caliente. Más tarde, astrónomos estadounidenses detectaron mediante esa misma técnica sendos planetas en torno a otras dos estrellas, 47 Ursae Maioris y 70 Virginis, ambas similares al Sol. En estos dos casos los planetas son más masivos que Júpiter, pero puede haber otros planetas más pequeños alrededor de esas y otras estrellas que no han podido ser detectados.

Una de sus aplicaciones más importantes es la del radar (sistema electrónico que permite detectar objetos fuera del alcance de la vista y determinar la distancia a que se encuentran proyectando sobre ellos ondas de

radio) El radar de onda continua emite una señal continua, en vez de impulsos. El radar Doppler, que se utiliza a menudo para medir la velocidad de objetos como un coche o una pelota, transmite con una frecuencia constante. Las señales reflejadas por objetos en movimiento respecto a la antena presentarán distintas frecuencias a causa del efecto Doppler. La diferencia de frecuencias guarda la misma relación con la emitida que la existente entre las velocidades del objetivo y la de la luz.

La radioastronomía es otro ejemplo: cuando la Galaxia emite ondas de radio como resultado de la radiación de sincrotrón de electrones de rayos cósmicos que se mueven dentro de su débil campo magnético. La emisión en línea de 21 cm del hidrógeno neutro también se observa en toda la Galaxia. Los pequeños cambios en la longitud de onda de 21 cm son producidos por el movimiento de nubes de hidrógeno desde o hacia un observador. Estos cambios (desplazamiento hacia el rojo) son un ejemplo del fenómeno conocido como efecto Doppler. Las nubes más distantes del centro de la Galaxia giran alrededor del centro a máxima velocidad y las observaciones del efecto Doppler se utilizan para medir la velocidad y determinar la posición de las nubes de hidrógeno. De esta forma, ha sido posible trazar las formas de los brazos espirales de la Vía Láctea, que todavía no se han observado en longitudes de onda ópticas.

Hay hasta cantantes o grupos, escritores y poetas que utilizan este Efecto para poder inspirarse, uno de los casos de los escritores que se han inspirado con este efecto es el de Jesús Ferrero: escritor, novelista, y poeta español, uno de los más brillantes y leídos de las últimas generaciones, con una obra intensa y caudalosa en constante evolución, escribió un libro titulado El efecto Doppler (1990), el cual ha sido una de sus más ambiciosas obras.

Además a continuación presentaremos una canción como ejemplo:

"Efecto Doppler"

Soda Stereo.

Oye la frecuencia decaer
cada vez que me dejas
te perseguiría hasta el sol
pero hoy es solo inercia

Y un milenio pasa...

Oye el arco
suena a lágrimas
cada vez que lo tensas
y oye las sirenas en el mar
si es que aún
no lo entiendes

Es el efecto doppler
cuando te alejas de mí

Es el efecto doppler
cuando te alejas de mí
vuelve... vuelve...

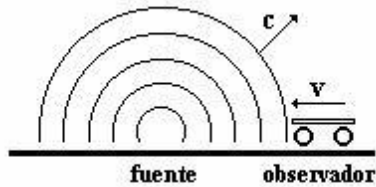
Sostenido por una ilusión
cae la frecuencia de tu amor.

Como poder calcular el efecto Doppler

Supongamos que la fuente de un sonido fija emite un sonido de frecuencia f_0 y que el observador se acerca con velocidad v . (Suponemos además que no corre viento, es decir, el aire está en reposo para la fuente). La separación de dos máximos de presión sucesivos de la onda sonora es

$$d = \frac{c}{f_0}$$

donde c es la velocidad del sonido.



Pero como el observador va al encuentro de ellos, el tiempo que tarda en recibir a dos máximos sucesivos será menor, y por lo tanto la frecuencia mayor. Un simple análisis muestra que la frecuencia que escuche el observador será:

$$f = f_0 * \frac{c+v}{c}$$

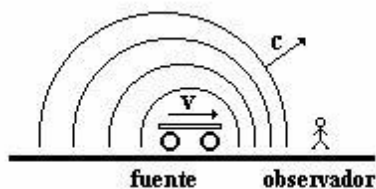
f fuente fija,
c observador se acerca

Si en lugar de acercarse, el observador se aleja de la fuente, se debe cambiar el signo de v . En tal caso, la frecuencia resulta ser:

$$f = f_0 * \frac{c-v}{c}$$

f fuente fija,
c observador se aleja

Consideremos otro caso. Supongamos que el observador se encuentra fijo y que la fuente de sonido, que emite un sonido en frecuencia f_0 , se mueve hacia el observador con una velocidad v . En este caso, debido a que la fuente se acerca, la longitud de onda (es decir, la distancia entre dos máximos sucesivos de la presión) no será c / f_0 sino que algo menos. Un simple análisis muestra que la frecuencia que escucha el observador en este caso será:



$$f = f_0 * \frac{c}{c-v}$$

observador fijo,

c-v fuente se acerca

Si en lugar de acercarse, la fuente se aleja, entonces se debe cambiar el signo de v . En tal caso la frecuencia resulta ser:

$$f = f_0 * \frac{c}{c+v}$$

observador fijo,
c+v fuente se aleja.