

EL EFECTO CHERENKOV

En 1934 el físico soviético Pavel Alekseevich Cherenkov realizó un experimento que consistía en bombardear un recipiente de agua con partículas alfa (núcleos de Helio) y partículas beta (electrones), de alta energía; partículas muy rápidas. Observó que el agua brillaba con un color azulado. Es el efecto Cherenkov o radiación de Cherenkov cuyo descubrimiento lo llevó a ganar el premio Nobel de Física en 1958.

El efecto Cherenkov es una radiación electromagnética producida por el paso de partículas en un medio, a velocidades mayores que la de la propagación de la luz en ese medio. La teoría de la relatividad especial no permite a una masa viajar a velocidades iguales o superiores a la de la luz en el vacío. Sin embargo, en un medio la velocidad de la luz es menor que en el vacío y por lo tanto la teoría de la relatividad no se opone a que en ese medio las partículas con masa superen la velocidad de la luz en tal medio.

Para entender básicamente este fenómeno sin recurrir a un análisis avanzado, recurriremos a una analogía. Recordemos que las analogías constituyen una parte esencial en la construcción de modelos para entender los fenómenos naturales. Este modelo análogo es el movimiento de una masa en el agua o en el aire, siendo la velocidad de la luz reemplazada por la velocidad de una onda acústica o sonora.

Cuando una masa se mueve a través del aire produce en éste modificaciones que inmediatamente se propagan llegando a ser percibidas en otros lugares del espacio. Dependiendo de la velocidad con la que la masa va modificando continuamente el aire, las modificaciones en puntos lejanos pueden llegar a ser más o menos espectaculares. Popular es hoy en día la expresión “atravesó la barrera del sonido”, cuando un avión, un auto y últimamente un hombre en caída libre logran alcanzar velocidades mayores que la velocidad a la cual se propaga el sonido en el aire que es aproximadamente de 340 metros por segundo. La velocidad de la masa en

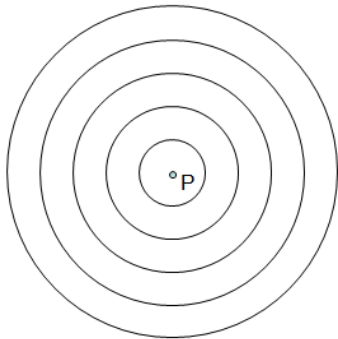
comparación con la velocidad con que se propaga la perturbación producida por ella en el aire, marca una diferencia dramática en los efectos de esta interacción. El efecto Cherenkov es un fenómeno análogo; con las interacciones del tipo electromagnéticas en lugar que mecánicas, como es el caso de un protón moviéndose en un medio cuyos átomos y moléculas pueden ser afectados por un campo electromagnético.

Un modelo experimental muy simple para ver la formación de una barrera debida al movimiento de una masa en un medio es la propagación de las perturbaciones producidas sobre una superficie de un agua en reposo.

Consideremos una superficie de agua en reposo a la cual damos un golpecito en un punto P de ella. Inmediatamente aparece un círculo que se agranda con una velocidad constante de algunos centímetros por segundo. Llamemos V a esta velocidad definámosla como la velocidad de propagación.

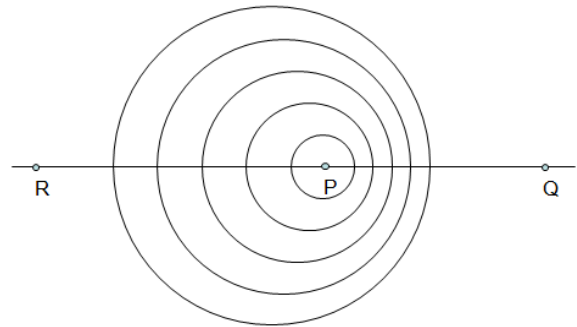


Si damos sucesivos golpecitos a intervalos iguales en el mismo punto P, tendremos la situación siguiente, con todos los círculos agrandándose con la misma velocidad V.



° Q

Al cabo de cierto tiempo el punto Q recibirá el efecto de los sucesivos golpecitos en P



Esta situación es la que apreciamos cuando gotea una llave sobre una superficie de agua o cuando hay gotas de lluvia cayendo sobre un charco de agua.

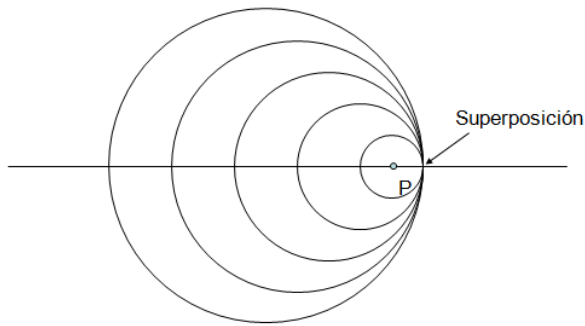
Es el gráfico con el que acostumbramos a representar el efecto Doppler: la frecuencia con que se percibe la perturbación en Q es mayor que la que se percibe en R.



Supongamos ahora que la llave se mueve en línea recta hacia delante, con una cierta velocidad. En este caso la gota no caerá siempre en el mismo punto. En esta situación podemos distinguir tres casos:

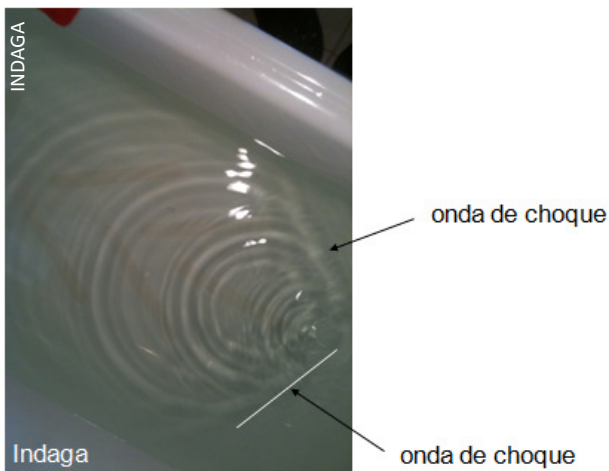
1. La llave se mueve con una velocidad menor a la velocidad con que se expanden los círculos (velocidad de propagación de la onda). La situación gráfica es la siguiente:

2. El segundo caso es cuando el envase de yogurt lo desplazamos a la misma velocidad con la que se desplaza la onda sobre el agua.

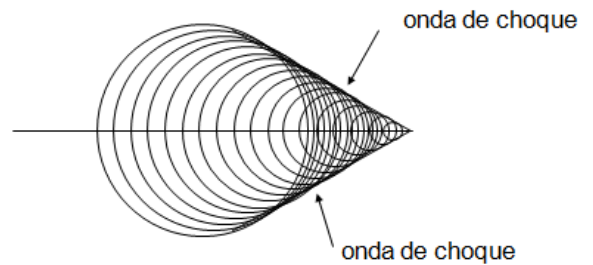


Es ir realizando las perturbaciones sobre la onda, dejando caer las gotitas precisamente sobre la onda.

Realizando el experimento en la bañera obtenemos la siguiente visualización del inicio de la formación de una onda de choque:

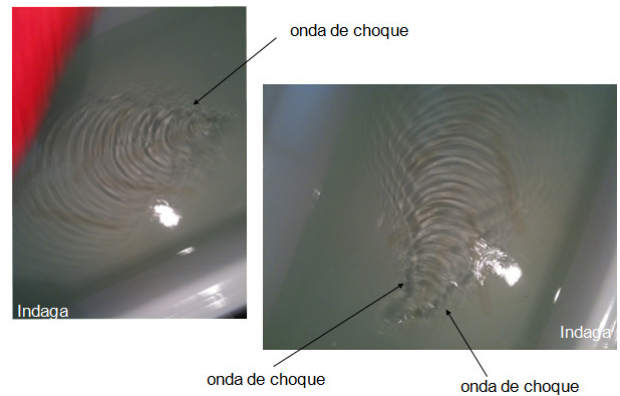


3. El tercer caso es cuando desplazamos el envase de yogurt a una velocidad superior a la velocidad de propagación de la onda. La situación gráfica será:



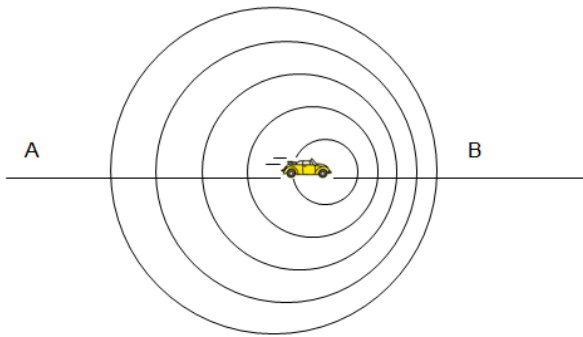
La superposición de las ondas produce una onda de choque que se desplaza a la velocidad de la onda en el agua, rompiendo la barrera de la "velocidad de propagación en el agua". Se forma un "cono bidimensional".

Realizando este experimento en la bañera resulta:



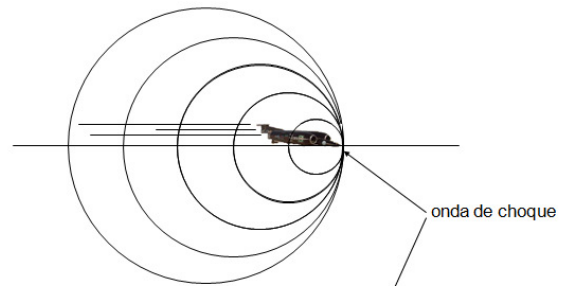
Todo lo que hemos visto anteriormente sucede de manera análoga en otros medios. Particularmente interesante son estos efectos cuando el medio es el aire. Donde también podemos distinguir los tres casos anteriores.

1. La fuente que perturba el aire se mueve con una velocidad menor que la velocidad con que se propagan las ondas en el aire, es decir, con una velocidad inferior a la del sonido, (340 metros por segundo).

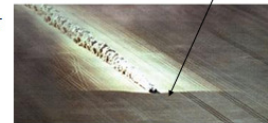


Se destaca en este caso el conocido Efecto Doppler: en A se escuchan frecuencias menores que en B, debido al ruido del auto.

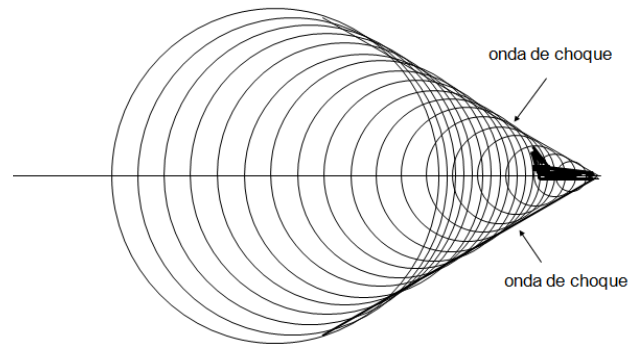
2. Caso del móvil moviéndose a la velocidad del sonido. Todavía no ha traspasado la barrera del sonido.



El Thrust Supersonic Car a la velocidad de 1.233 Km/h. USA 1997.

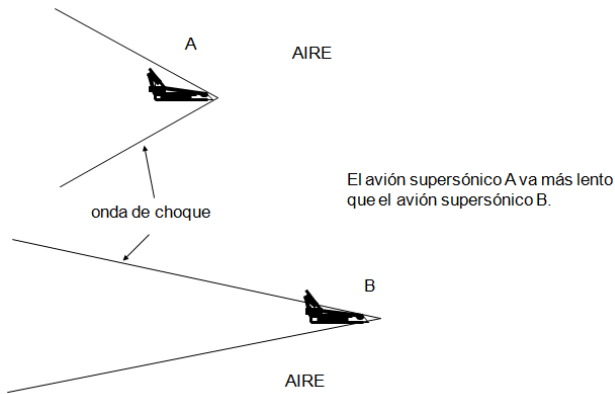


3. En el caso de una velocidad supersónica en el aire, mayor a 340 metros por segundo, tendremos el espectacular efecto del cono del sonido.

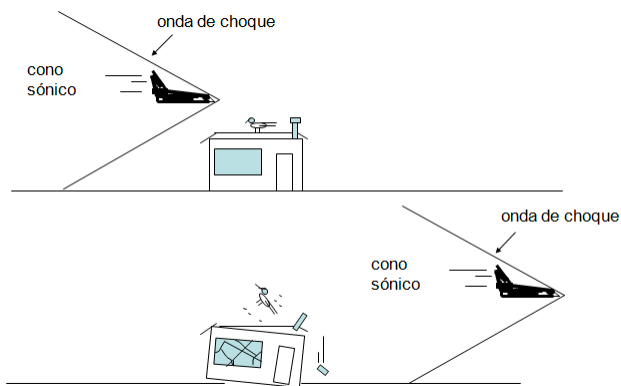


Las paredes de este cono están formadas por la superposición de las ondas de ruido producidas por el avión.

A medida que la velocidad aumenta este cono se cierra:



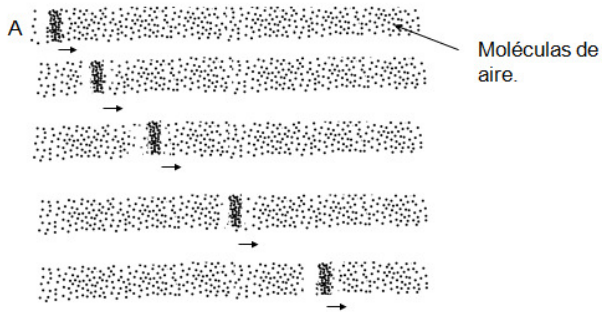
La onda de choque es una fortísima compresión del aire y se propaga a la velocidad del sonido. Nuestros oídos la sienten como una fuerte explosión y su efecto puede ser devastador a su paso por objetos frágiles. Señalemos también, que cuando el objeto que produce este efecto es grande, se escuchan dos explosiones, la de la punta y la de la cola.



El efecto Cherenkov.

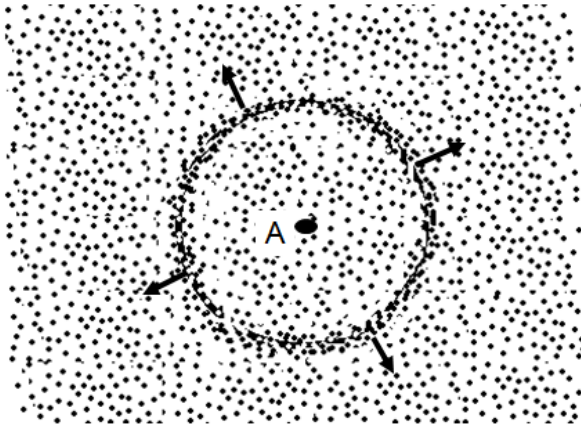
Con las analogías anteriores podemos explicar ahora las bases de la radiación de Cherenkov.

Cuando una masa viaja por el aire, va produciendo variaciones de la presión, debido a que cambia la densidad del aire, producto de las pequeñas oscilaciones de sus moléculas, en los lugares donde se produce la perturbación. Estas variaciones de presión se propagan por el aire



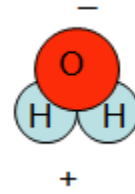
Una perturbación en A se propagará a través del aire cambiando su densidad. Pasada la perturbación el aire recupera su densidad normal. Las moléculas no viajan con la perturbación; sólo realizan pequeñas oscilaciones locales en el lugar.

Una perturbación en el punto A se propaga por el aire cambiando la densidad generándose superficies esféricas con mayor densidad que la del medio en reposo.



Consideremos ahora que el medio es agua y que por ella viaja una carga eléctrica. Se trata de una carga, por ejemplo un electrón, un protón, una partícula alfa, que viaja entre moléculas de agua.

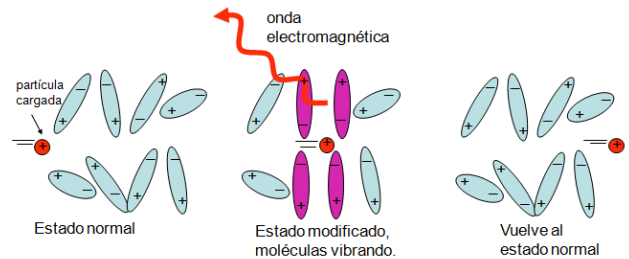
Una molécula de agua está formada por dos átomos de Hidrógeno (H) y uno de Oxígeno (O).



Esta molécula tiene exceso de carga negativa en el Oxígeno y por lo tanto exceso de carga positiva en los Hidrógenos. En consecuencia si una carga eléctrica pasa cerca de estas moléculas, su campo eléctrico ejercerá una fuerza sobre la molécula y la pondrá a vibrar. Esta vibración generará una radiación electromagnética, que viajará a la velocidad de la luz en el agua. Si representamos esta molécula en la forma:

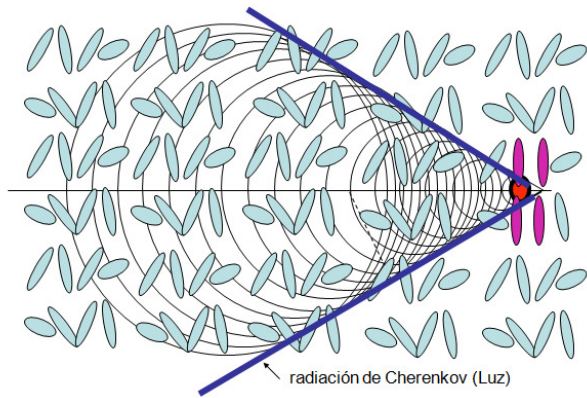


podemos ilustrar este efecto en la siguiente manera:

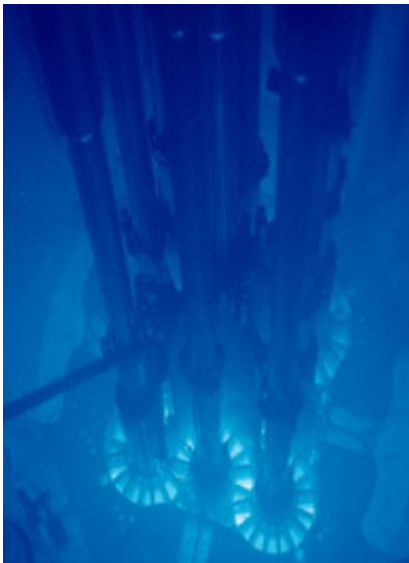


La radiación de Cherenkov es un efecto producido por el paso de partículas cargada a través de un medio cuando la velocidad de la luz es menor que la de la partícula en ese medio.

La onda irradiada puede representarse así:



Esta radiación se observa como una luz azulada en las piscinas de los reactores. Conviene señalar que esta radiación puede tener frecuencias no visibles, el azul es un caso particular.



Radiación de Cherenkov en la piscina del Advanced Test Reactor del Idaho National Laboratory. Con esta radiación se mide el ritmo de la fisión en reactores nucleares. Mientras más núcleos fisionados mayor es el número de partículas emitidas y mayor es la intensidad de la luz de la radiación de Cherenkov.

La velocidad de una masa con velocidad supersónica se puede obtener midiendo el ángulo que despliega el cono sónico. Análogamente, la velocidad de una partícula que se mueve en el agua, con una velocidad superior a la de la luz en ella, se puede medir observando la dirección de la radiación de Cherenkov.