

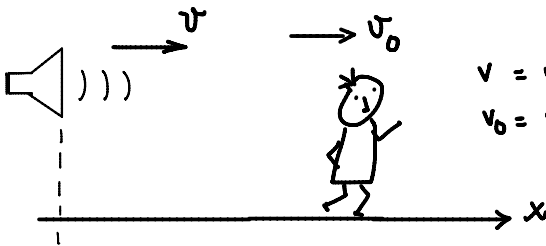
EFEITO DOPPLER

A frequência de um som percebida por um observador depende do movimento relativo da fonte. Esse efeito é chamado de Efeito Doppler e ocorre também para ondas eletromagnéticas.

Vamos considerar o caso mais simples em que a velocidade de propagação do som e o movimento relativo têm a mesma direção.

Como a onda sonora necessita de um meio para se propagar precisamos analisar duas situações: a fonte em repouso em relação ao meio, e a fonte em movimento em relação ao meio.

1. Fonte em repouso em relação ao meio



v = velocidade do som no meio

v_o = velocidade do observador

De acordo com a figura acima o observador se afasta da fonte e a velocidade relativa do som para esse observador é:

$$u = v - v_o$$

Para esse observador o comprimento de onda, que é a distância entre dois máximos consecutivos da onda não se alteram, porém o intervalo de tempo entre dois máximos (período) é alterado.

Se o observador se afasta da fonte T aumenta
se aproxima da fonte T diminui

$$u = \lambda \cdot f' \Rightarrow f' = \frac{u}{\lambda}$$

f' = frequência da onda percebida pelo observador

$$f' = \frac{u}{\lambda} = \frac{v - v_o}{v/f}$$

onde f é a frequência da onda no referencial em que a fonte está em repouso em relação ao meio.

$$f' = \left[\frac{v \pm |v_o|}{v} \right] f$$

+ \rightarrow o observador se aproxima da fonte, $f' > f_0$

- \rightarrow o observador se afasta da fonte, $f' < f_0$

ou seja, quando o observador se afasta da fonte ele ouve uma frequência mais baixa, um som mais grave e se ele se aproxima da fonte a frequência do som é mais alta, isto é mais agudo.

2. Fonte em movimento em relação ao meio

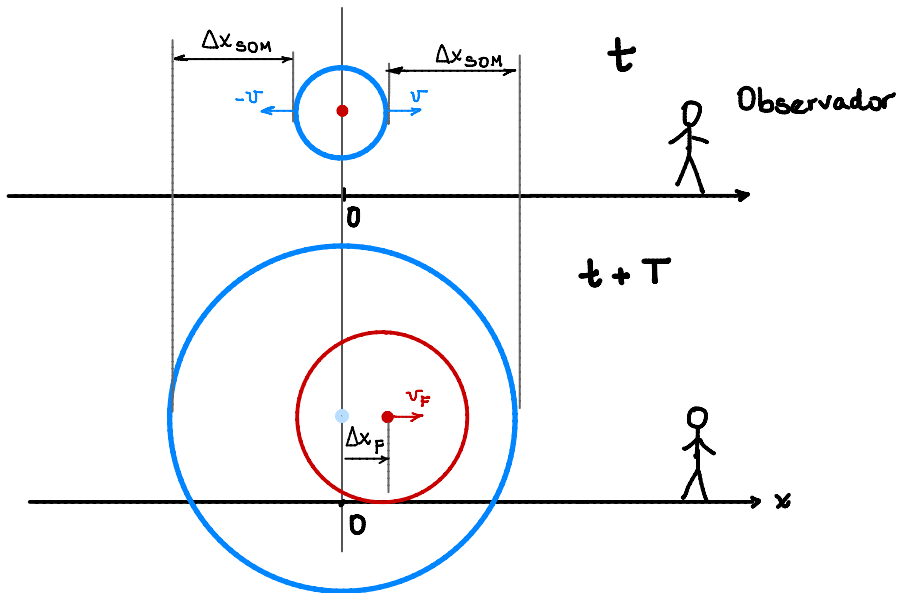
Vamos considerar que a fonte sonora se move em relação ao meio com velocidade v_s . A velocidade de propagação do som não se altera, pois v só depende das densidade e da elasticidade do meio.

O valor do comprimento de onda, no entanto é alterado. Em um instante t , a fonte emite uma frente de onda. Após um período, a fonte deslocou-se de uma distância Δx_F e emite uma nova frente de onda, porém nesse intervalo de tempo T , a primeira frente de onda também se deslocou de Δx_{som} .

Vamos considerar o observador inicialmente em repouso, em relação ao referencial Ox .

$$v = \text{velocidade do som no meio} \quad \Delta x_{\text{som}} = vT$$

$$v_F = \text{velocidade da fonte} \quad \Delta x_F = v_F \cdot T$$



- Se a fonte se aproxima do observador,

$$\lambda \text{ diminui} \rightarrow \lambda' = \Delta x_{\text{som}} - \Delta x_F$$

$$\lambda' = (v - v_F) T \Rightarrow v = \lambda' f' \quad f' = \frac{v}{v - v_F} f$$

- Se a fonte se afasta do observador ($v_F < 0$)

$$\lambda \text{ aumenta} \rightarrow \lambda' = \Delta x_{\text{som}} + \Delta x_F$$

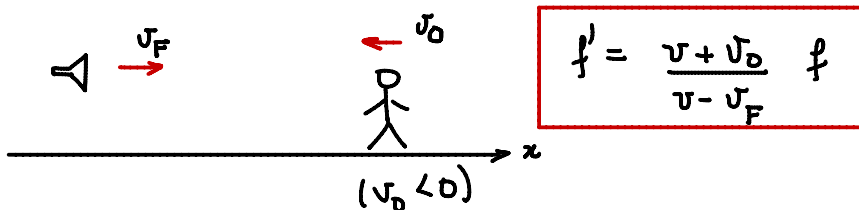
$$\lambda' = (v + v_F) T \Rightarrow f' = \frac{v}{v + v_F} f$$

Se agora incluímos o movimento do observador com velocidade v_0 , no referencial Ox , no cálculo de f' :

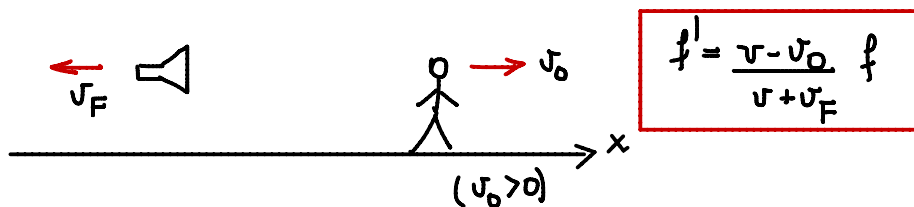
$$f' = \frac{v}{\lambda'}, \text{ ao invés de } v \text{ devemos}$$

usar a velocidade relativa $u = v \mp v_0$, onde os sinais $-$ e $+$ referem-se à aproximação ou afastamento do observador.

- Fonte se aproxima do observador



- Fonte se afasta do observador



Quando a fonte e o observador se movem em relação a um determinado referencial temos, então duas situações possíveis:

- Aproximação $f' = \frac{v + v_o}{v - v_F} f$ $f' > f \rightarrow +$ agudo

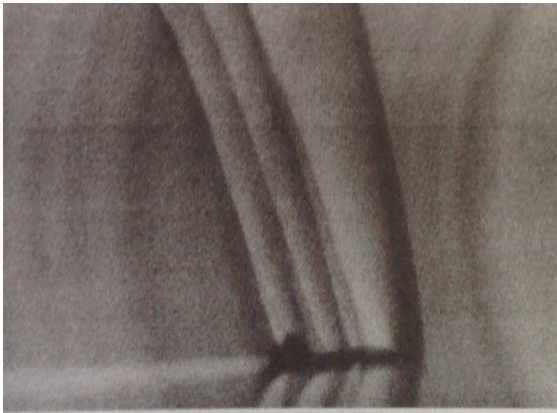
- Afastamento: $f' = \frac{v - v_o}{v + v_F} f$ $f' < f$ + grave

ONDAS DE CHOQUE

Até agora analisamos essas situações supondo que a velocidade da fonte sonora é menor que a velocidade de propagação do som.

Existem objetos, tais como aviões supersônicos e foguetes que podem atingir velocidades maiores que a velocidade de propagação do som no ar.

As frentes de onda se comprimem na direção do deslocamento do avião, e o comprimento de onda tende a zero. Forma-se um cone, com uma grande quantidade de energia concentrada na superfície, que corresponde a grandes variações de pressão.



Extraída do livro
Sears & Zemansky

12ª Ed. Vol. 2

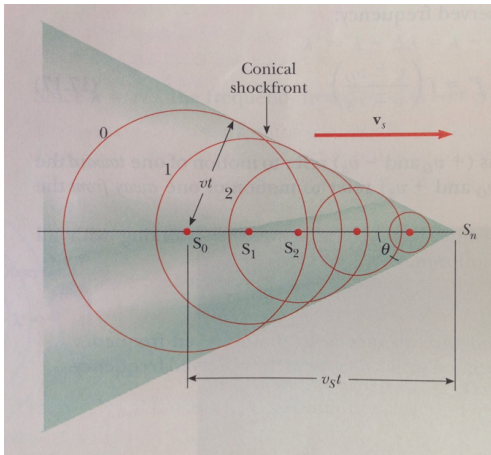
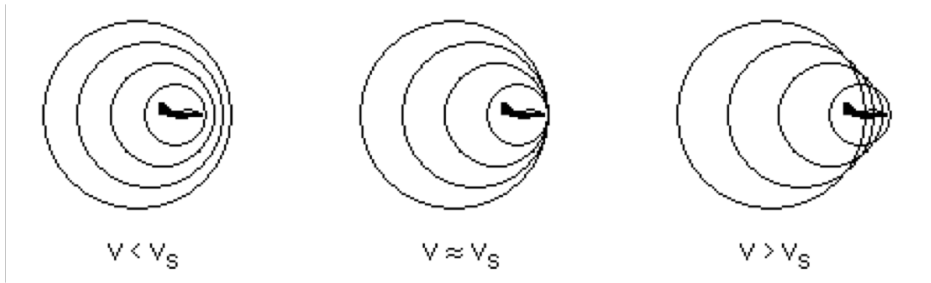
As frentes de onda comprimidas a frente do avião formam uma onda de choque, e para vencê-la o avião precisa exercer uma força muito grande.

Com o aumento da força exercida pelo avião, há também um aumento da força de arraste, que dificulta o ganho de velocidade.

Esse fenômeno é conhecido como barreira do som.

v = velocidade do avião

v_s = velocidade do som



De acordo com a figura:

$$\sin \theta = \frac{v}{v_s}$$

$$\frac{v}{v_s} = N^{\circ} \text{ de Mach}$$

A onda de choque pode causar danos materiais à construções quando os aviões supersônicos voam a baixas altitudes.

Quando a onda de choque atinge o solo ouve-se um estrondo supersônico. Um avião Concorde voando a 1200m de altitude produz um aumento brusco de pressão em torno de 20 Pa.

As ondas de choque são usadas na medicina para quebrar pedras nos rins ou na vesícula. A onda de choque é produzida fora do corpo e focalizada por um refletor ou lente acústica no objeto que se deseja quebrar. Para essas aplicações usa-se fontes de ultrassom, que tem comprimento de onda pequeno o suficiente para atingir pequenos objetos.

Ondas de choque podem ser produzidas por explosões, que causam deslocamentos de gases com velocidades superiores à velocidade de propagação do som.