

- 1 Efeito Doppler
 - Fonte em Repouso
 - Fonte em Movimento

- 2 Movimento Supersônico

- 3 Ondas: Resumo

Efeito Doppler

Fonte e Observador em Repouso

- Fonte em repouso (em relação ao ar) emite som com frequência $\nu_0 = 1/\tau_0 = v/\lambda_0$
Observador em repouso

Fonte e observador em repouso

Detecta o som com frequência $\nu = \nu_0$

Efeito Doppler

Fonte em Repouso, Observador em Movimento

- Fonte em repouso emite som com frequência $\nu_0 = 1/\tau_0 = v/\lambda_0$
Observador em movimento com velocidade de magnitude $u = |\mathbf{u}_o|$

Fonte Repouso, Observador Movimento

$$\nu = \frac{v_s}{\lambda_0} \pm \frac{u}{\lambda_0} = \nu_0 \left(1 \pm \frac{u}{v_s} \right)$$

sinas superiores: aproximação
sinas inferiores: afastamento

Efeito Doppler

Fonte em Movimento, Observador em Repouso

Fonte em movimento com velocidade de magnitude $V = |\mathbf{V}_f|$, emite som com frequência $\nu_0 = 1/\tau_0$ Observador em repouso:

Fonte Movimento, Observador Repouso

$$\lambda = v_s T_0 \mp VT_0 = \lambda_0 \left(1 \mp \frac{V}{v_s} \right)$$

– aproximação
+ afastamento

$$\nu = \frac{\nu_0}{1 \mp \frac{V}{v_s}}$$

Efeito Doppler

Fonte e Observador em Movimento

- Fonte em movimento com velocidade de magnitude $V = |\mathbf{V}_f|$, emite som com frequência $\nu_0 = 1/\tau_0$

Observador em movimento com velocidade de magnitude $u = |\mathbf{u}_o|$

Fonte Movimento, Observador Movimento

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 \mp \frac{V}{v_s} \right)$$

↑ aproximação
↓ afastamento

$$\nu = \nu_0 \frac{1 \pm \frac{u}{v_s}}{1 \mp \frac{V}{v_s}}$$

Efeito Doppler

Fonte e Observador em Movimento

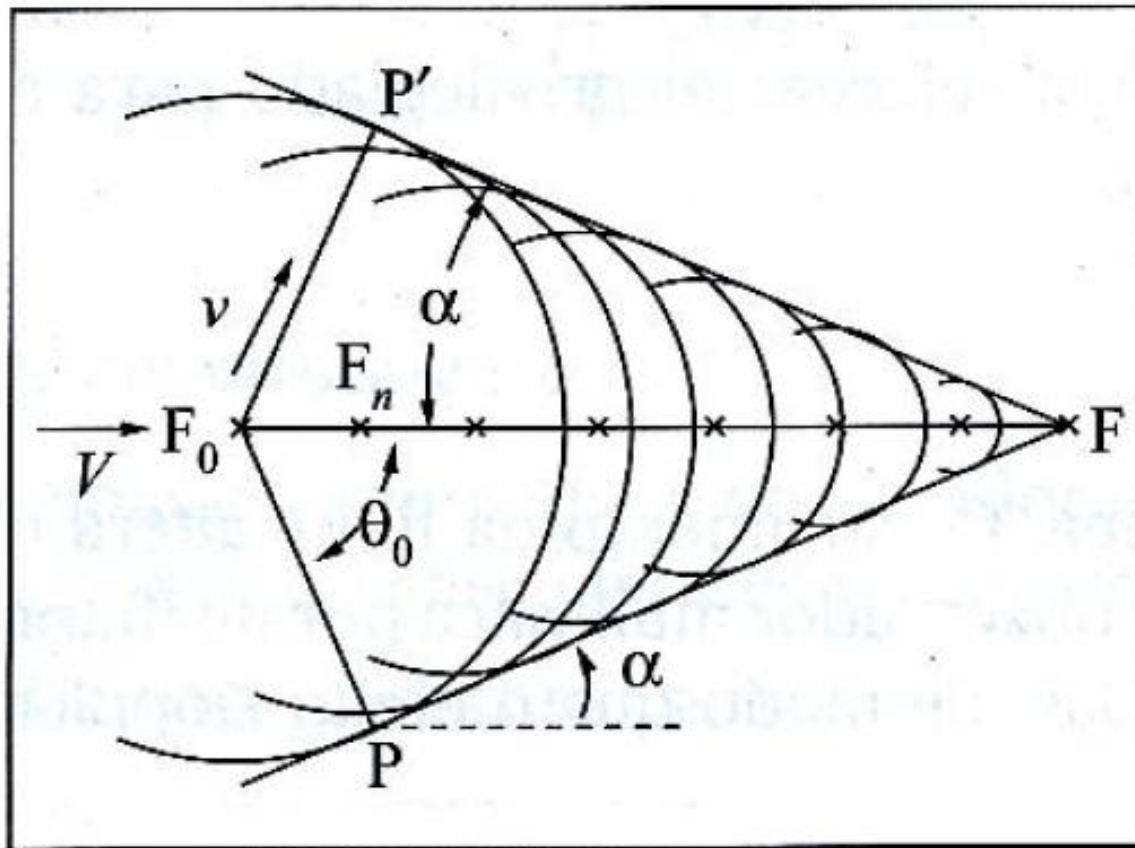
Fonte e Observador em Movimento: movimento numa direção qualquer

Movimento numa direção qualquer com fonte e observador em Movimento

- Fonte em movimento, Observador em repouso:

$$\nu = \frac{\nu_0}{1 - \frac{V \cos \theta}{v_s}}$$

(b) Cone de Mach



$$\cos \theta_0 = \frac{v}{V}$$

$$\sin \alpha = \frac{v}{V}$$

Inverso do
Número de Mach

Figura 6.33 — Cone de Mach

Ondas Sonoras: Cone de Mach

Mach 1

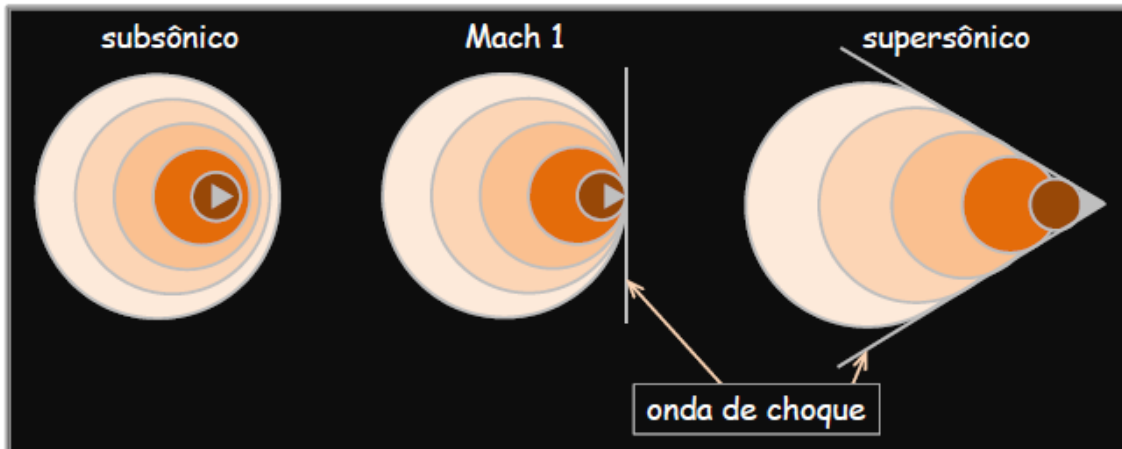
$$V = v_s$$

Mach

$$V > v_s$$

•

■



Movimento Supersônico

Cone de Mach

Fonte em movimento com velocidade de magnitude $V = |\mathbf{V}_f| > v_s$

Movimento Supersônico 1

- Cone de Mach:

$$\text{sen } \alpha = \frac{v_s}{V}$$

Movimento Supersônico

Onda de Choque

Fonte em movimento com velocidade de magnitude $V = |\mathbf{V}_f| > v_s$

Movimento Supersônico 2

- Onda de Choque: as frentes de onda chegam simultaneamente a um ponto na superfície do cone de Mach.

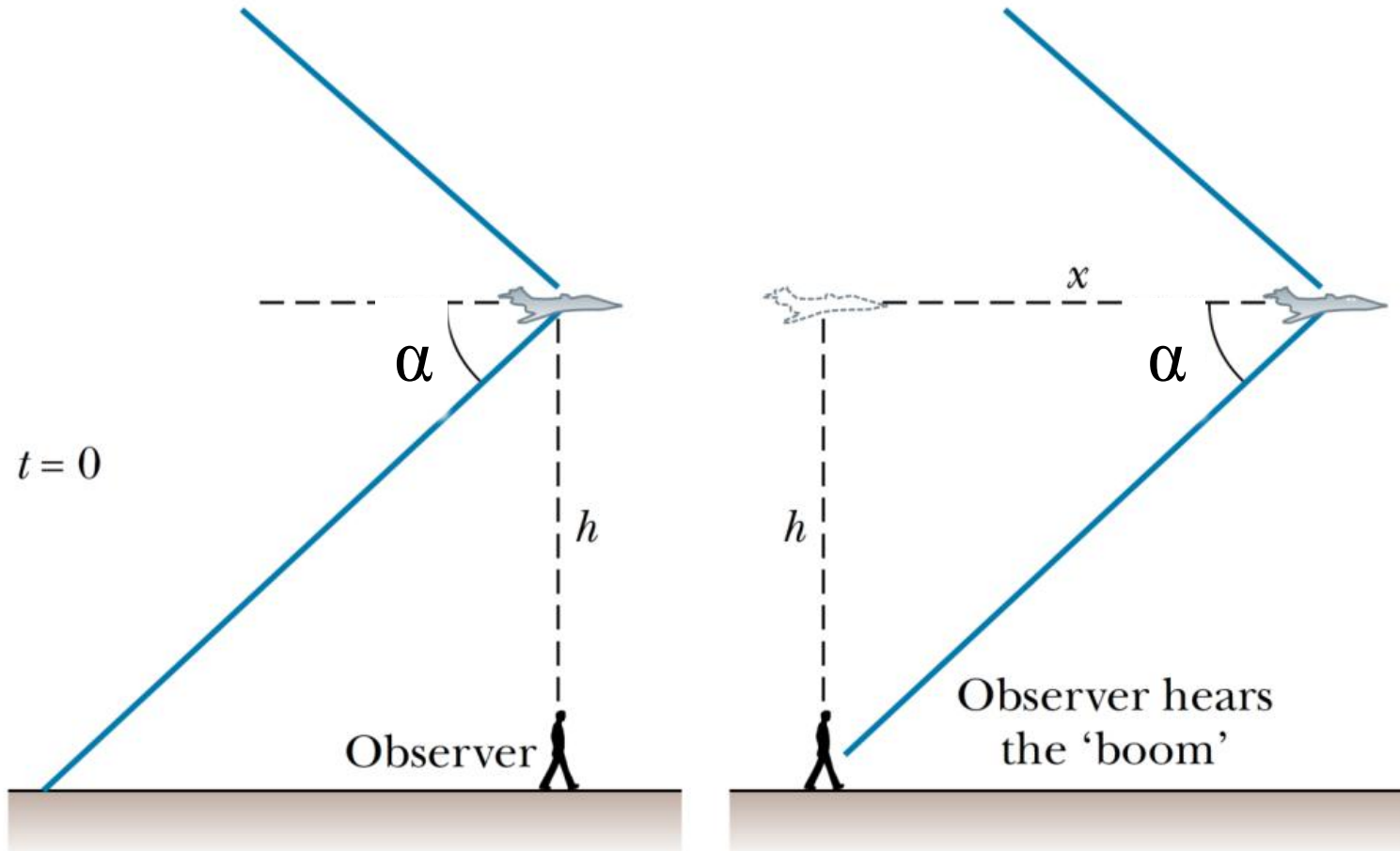
Exercício: Um avião voa a 1,25 da velocidade do som. A explosão sônica alcança um homem no solo 0,25 min depois de o avião ter passado sob sua cabeça. Qual a altitude do avião? Considere a velocidade do som como sendo 330 m/s.

$$\sin \alpha = \frac{v}{1,25v} \quad \alpha = 0,927 \text{ rad}$$

$$\tan 0,927 = \frac{h}{1,25(330)(0,25)(60)}$$

$$h = 8245 \text{ m}$$

Ondas Sonoras: Cone de Mach



$$\sin \alpha = \frac{v}{V}$$

$$\tan \alpha = \frac{h}{x} = \frac{h}{Vt}$$

Ondas: Resumo

Geral

$$\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2}$$

$$y(x,t) = f(x - vt) + g(x + vt)$$

$$y(x,t) = A \cos(kx \mp \omega t + \delta) \quad \omega = kv \quad \tau = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$y(x,t) = A \cos(kx + \phi) \cos(\omega t + \delta) \quad \lambda = \frac{2\pi}{k} \quad v = \lambda \nu$$

$$k_n = n \frac{\pi}{L}$$

$$k_n = (2n + 1) \frac{\pi}{2L}$$

Ondas: Resumo

Som e Corda

$$v_s = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad v_s = \sqrt{\gamma \frac{P_0}{\rho_0}} = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}$$

$$I = \frac{1}{2} \frac{A_p^2}{\rho_0 v_s} = \frac{1}{2} \rho_0 v_s (\omega A_u)^2 \quad p = -B \frac{\partial u}{\partial x}$$

$$I = \frac{\bar{P}}{S} \quad \beta = 10 \log_{10} (I/I_0) \text{ (dB)} \quad I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Ondas: Resumo

Som e Corda

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$P = \frac{1}{2} \mu v (\omega A)^2$$

Ondas: Resumo

Interferência e Efeito Doppler

$$y(x,t) = 2A \cos\left(\frac{1}{2}\Delta k x - \frac{1}{2}\Delta\omega t\right) \cos(\bar{k}x - \bar{\omega}t)$$

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \Delta\phi$$

$$\Delta\phi = 2\pi \frac{\Delta r}{\lambda} + \delta$$

$$\nu = \nu_0 \frac{1 \pm \frac{u}{v_s}}{1 \mp \frac{V}{v_s}} \left\{ \begin{array}{l} u \rightarrow \text{observador} \\ V \rightarrow \text{fonte} \end{array} \right.$$

$$\sin \alpha = \frac{v_s}{V}$$