

☞ **Problema Desafio** : Uma fonte sonora fixa emite som de frequência ν_0 . O som é refletido por um objeto que se aproxima da fonte, onde interfere com as ondas que estão sendo emitidas, dando origem a batimentos com frequência $\Delta\nu$. Explique. Há inversão de fase na reflexão ? Por quê? Mostre que é possível determinar a magnitude $|u|$ da velocidade do objeto móvel em função de $\Delta\nu$, ν_0 e da velocidade do som v . O mesmo princípio é utilizado (com ondas eletromagnéticas em lugar de ondas sonoras) na detecção do excesso de velocidade nas estradas com auxílio do radar.

Lista de Exercícios III

- ① Uma experiência divertida consiste em mudar a tonalidade da voz enchendo a boca de gás hélio: uma voz grave transforma-se em aguda. Para explicar o efeito, admita que os comprimentos de onda associados à voz são determinados pelas dimensões das cordas vocais, laringe e boca, estas funcionando como cavidades ressonantes, de modo que a variação da tonalidade seria devida unicamente à variação da velocidade do som.
- Observação:** Isso deve ser feito com cuidado, sem exagero.
- (a) Calcule a velocidade do som no hélio a 20°C . É um gás monoatômico de massa atômica ≈ 4 g/mol, com $\gamma \approx 1,66$. A constante universal dos gases R vale $8,314$ J/K·mol.
- (b) Explique o efeito, calculando a razão entre as frequências do som no hélio e no ar para o mesmo comprimento de onda.
- ② Um alto-falante de um aparelho de som emite 1 W de potência sonora na frequência $\nu = 100$ Hz. Admitindo que o som se distribui uniformemente em todas as direções com velocidade de 341 m/s e que o ar tenha densidade de $1,3$ kg/m³, determine, num ponto situado a 2 m de distância do alto-falante:
- (a) o nível sonoro em dB;
- (b) a amplitude de pressão;
- (c) a amplitude de deslocamento;
- (d) a que distância do alto-falante o nível sonoro estaria 10 dB abaixo do calculado em (a) ?
- ③ O *tubo de Kundt*, que costumava ser empregado para medir a velocidade do som em gases, é um tubo de vidro que contém o gás, fechado numa extremidade por uma tampa M que se faz vibrar com uma frequência ν conhecida (por exemplo, acoplando-a a um alto-falante) e na outra por um pistão que se faz deslizar, variando o comprimento do tubo. O tubo contém um pó fino (serragem, por exemplo). Ajusta-se o comprimento do tubo com o auxílio do pistão até que ele entre em ressonância com a

frequência ν , o que se nota pelo reforço da intensidade sonora emitida. Observa-se então que o pó fica acumulado em montículos igualmente espaçados, de espaçamento Δl , que se pode medir.

- (a) A que correspondem as posições dos topos dos montículos ?
 - (b) Qual é a relação entre Δl , ν e a velocidade do som no gás ?
 - (c) Com o tubo cheio de CO_2 a 20°C e $\nu = 880$ Hz, o espaçamento médio é de 15,2 cm. Qual é a velocidade do som no CO_2 a 20°C ?
- ④ A densidade média da crosta terrestre 10 km abaixo dos continentes é $2,7 \text{ g/cm}^3$. A velocidade das ondas sísmicas longitudinais a esta distância, encontrada medindo o tempo de chegada de terremotos distantes, é 5,4 km/s. Use esta informação para encontrar o módulo de elasticidade volumétrico, B , da crosta terrestre a esta profundidade. Para comparação $B_{\text{aço}} = 16 \times 10^{10} \text{ Pa}$.
- ⑤ Terremotos geram ondas de som na Terra. Diferente de um gás, existem ondas transversais (S) e longitudinais (P) em um sólido. Tipicamente a velocidade de S é 4,5 km/s e de P é 8,0 km/s. Um sismógrafo registra ondas P e S de um terremoto. As primeiras ondas P chegam 3,0 minutos antes das primeiras ondas S. Assumindo que as ondas se deslocam em linha reta, a que distância ocorreu o terremoto ?
- ⑥ Um submarino francês e um americano movem-se um no sentido do outro, em linha reta, em águas paradas no Atlântico Norte. O submarino francês se desloca a 50 km/h enquanto o americano a 70 km/h. Sabendo que ondas de sonar tem $v = 5470 \text{ km/h}$ e que o sonar do submarino francês emite um sinal de 1000 Hz, pergunta-se:
- (a) Qual é a frequência do sinal detectado pelo submarino americano ?
 - (b) Qual é a frequência do sinal refletido pelo submarino americano, detectado pelo submarino francês ?
- ⑦ Um avião a jato supersônico está voando a Mach 2 (o dobro da velocidade do som).
- (a) Qual é o ângulo de abertura do cone de Mach?

- (b) 2,5 s depois do avião ter passado diretamente acima de uma casa, a onda de choque causada pela sua passagem atinge a casa, provocando um estrondo sônico. A velocidade do som no ar é de 340 m/s. Qual é a altitude do avião em relação à casa?