

**E.1** O alto-falante de um aparelho de som emite 1 W de potência sonora na frequência  $\nu = 100$  Hz. Admitindo que o som se distribua uniformemente em todas as direções, determine, num ponto situado a 2 m de distância do alto-falante:

- O nível sonoro ( $\beta$ ) em dB;
- A amplitude da onda de pressão;
- A amplitude da onda de deslocamento (utilize  $\rho_{\text{ar}} = 1,3 \text{ kg/m}^3$  e  $v_{\text{som}} = 340 \text{ m/s}$ );
- A que distância do alto-falante o nível sonoro estaria 10 dB abaixo do calculado em (a)?

R.: (a)  $\beta = 103$  dB; (b)  $A_P = 4,2 \text{ N/m}^2$ ; (c)  $A_u = 15 \text{ }\mu\text{m}$ ; (d)  $r = 6,3 \text{ m}$

**E.2** Uma experiência de demonstração divertida consiste em mudar a tonalidade da voz enchendo a boca de gás hélio (He): uma voz grave transforma-se em aguda. (Cuidado: não procure fazer isso por sua conta! Inalar hélio é perigoso, podendo levar a sufocação). Para explicar o efeito, admita que os componentes 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 de tonalidade seria devida unicamente a variação da velocidade do som (embora isto não seja correto).

- Calcule a velocidade do som no gás He a  $20^\circ\text{C}$ , sabendo que a constante universal dos gases é  $R = 8,314 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$  e que o He é um gás monoatômico de massa atômica  $M_A = 4,00 \text{ g/mol}$  e  $\gamma = 1,66$ ;
- Explique o efeito, calculando a razão entre as frequências do som no He e no ar, para o mesmo comprimento de onda (adote  $v_{\text{ar}} = 340 \text{ m/s}$ );

R.: (a)  $v = 1006 \text{ m/s}$ ; (b)  $\nu_{\text{He}}/\nu_{\text{ar}} = 2,96$

**E.3** Que comprimento deve ter um tubo de órgão, aberto numa extremidade e fechado na outra, para produzir, como tom fundamental, a nota dó da escala musical média ( $\nu = 262 \text{ Hz}$ ) a  $15^\circ\text{C}$  quando a velocidade do som no ar é de  $341 \text{ m/s}$ ? Qual é a variação de frequência  $\Delta\nu$  quando a temperatura sobe para  $25^\circ\text{C}$ ?

R.:  $L = 32,5 \text{ cm}$ ,  $\Delta\nu = 4,8 \text{ Hz}$

**E.4** 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  $\nu$  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  $\nu$ , o que se nota pelo reforço da intensidade sonora emitida. Observa-se então que o pó fica acumulado em montículos igualmente espaçados, de espaçamento  $\Delta\ell$ , que se pode medir.

- A que correspondem as posições dos topos dos montículos?
- Qual é a relação entre  $\Delta\ell$ ,  $\nu$  e a velocidade do som no gás?
- Com o tubo cheio de  $\text{CO}_2$  a  $20^\circ\text{C}$  e  $\nu = 880 \text{ Hz}$ , o espaçamento médio medido é de  $15,2 \text{ cm}$ . Qual é a velocidade do som no  $\text{CO}_2$  a  $20^\circ\text{C}$ ?

R.: (c)  $v = 267,5 \text{ m/s}$ .

**E.5** Um trem se desloca com velocidade igual a  $25 \text{ m/s}$  e o ar está calmo. A frequência da nota do apito do trem, emitida no centro do mesmo, é  $400 \text{ Hz}$ . Qual é o comprimento de onda das ondas sonoras:

- Na parte dianteira do trem?
- Na parte traseira do trem?

Qual é a frequência do som que um ouvinte, parado em uma estação, escuta quando ele:

- Vê o trem se aproximando?
- Vê o trem se afastando?

R.: (a)  $\lambda = 0,79 \text{ m}$ ; (b)  $\lambda = 0,915 \text{ m}$ ; (c)  $\nu = 432 \text{ Hz}$ ; (d)  $\nu = 373 \text{ Hz}$ .

**E.6** Um trem se desloca a  $30 \text{ m/s}$  e o ar está calmo. A frequência da nota do apito do trem é  $262 \text{ Hz}$ . Qual é a frequência ouvida por um passageiro, no interior de um trem que se move em sentido contrário ao do primeiro a  $18 \text{ m/s}$ , supondo que:

- Os trens se aproximam?
- Os trens se afastam?

R.: (a)  $\nu = 302 \text{ Hz}$  (b)  $\nu = 228 \text{ Hz}$ .

**E.7** Um trem-bala move-se com velocidade de  $60 \text{ m/s}$  para leste. O apito do trem emite um som com frequência de  $400 \text{ Hz}$ . Considere a velocidade do som no referencial de repouso da atmosfera como sendo  $340 \text{ m/s}$ .

- Determine a frequência do som do apito que uma pessoa na estação ouve ao observar o trem partir;
- Considere, agora, a presença de vento soprando para oeste com velocidade de  $10 \text{ m/s}$ . Determine a frequência que a pessoa na estação irá detectar;
- Considere, agora, que o trem se move em uma trajetória circular. Qual a frequência do som percebida por alguém no centro da circunferência descrita pelo trem?

R.: (a)  $\nu_S = 340 \text{ Hz}$ ; (b)  $\nu_P = 341 \text{ Hz}$ ; (c)  $\nu_C = 400 \text{ Hz}$ .

**E.8** Dois diapasões idênticos podem oscilar a 440 Hz. Um indivíduo está localizado em algum lugar na linha entre eles. Considerando que a velocidade do som no referencial de repouso da atmosfera é 330 m/s calcule a frequência de batimentos captada por esse indivíduo se:

- a) ele permanece parado e os diapasões se movem para a direita com velocidade de 30 m/s, e
- b) os diapasões estiverem parados e o indivíduo se movendo para a direita com velocidade de 30 m/s.

R.: (a) 80,7 Hz (b) 80,0 Hz.

**E.9** Dois trens viajam em sentidos opostos, sobre trilhos paralelos, com velocidades de mesma magnitude. Um deles vem apitando. A frequência do apito percebida por um passageiro do outro trem varia entre os valores de 348 Hz, quando estão se aproximando, e 259 Hz, quando estão se afastando. A velocidade do som no ar é de 340 m/s.

- a) Qual é a velocidade dos trens (em km/h)?
- b) Qual é a frequência do apito?

R.: (a)  $v = 90,7$  km/h; (b)  $\nu = 300$  Hz.

**E.10** Uma fonte sonora fixa emite som de frequência  $\nu_0$ . O som é refletido por um objeto que se aproxima da fonte com velocidade  $u$ . O eco refletido volta para a fonte, onde interfere com as ondas que estão sendo emitidas, dando origem a batimentos com frequência  $\Delta\nu$ . Mostre que é possível determinar a magnitude  $|u|$  da velocidade do objeto móvel em função de  $\nu$ ,  $\nu_0$  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.

**E.11** Dois carros (1 e 2) trafegam em sentidos opostos numa estrada, com velocidades de magnitudes  $v_1$  e  $v_2$ . O carro 1 trafega contra o vento, que tem velocidade  $V$ . Ao avistar o carro 2, o motorista do carro 1 pressiona sua buzina, de frequência  $\nu_0$ . A velocidade do som no ar parado é  $v$ . Qual é a frequência  $\nu$  do som da buzina percebida pelo motorista do carro 2? Com que frequência  $\nu'$  ela é ouvida pelo motorista de um carro 3 que trafega no mesmo sentido e com a mesma velocidade que o carro 1?

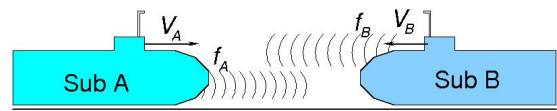
**E.12** Um submarino (Sub A), navegando a uma velocidade  $V_A = 30$  m/s, envia um sinal de sonar (onda sonora na água) com frequência  $f_A = 980$  Hz. O sinal é refletido pelo casco de um submarino inimigo (Sub B) que viaja com velocidade  $V_B$  na direção oposta (vide figura). Considere a velocidade do som na água como sendo  $v_s = 1500$  m/s e despreze quaisquer efeitos de interferência.

- a) Se a frequência do sinal medido pelo submarino B é  $f_B = 1020$  Hz, qual a velocidade  $V_B$ ?
- b) Qual a frequência  $f'_A$  do sinal refletido, medida pelo submarino A?

Considere que o submarino B seja dotado de um sistema de contra-medidas que (1) suprime completamente

a reflexão do sinal enviado pelo Sub A, (2) altera a velocidade do submarino para  $V'_B = 15$  m/s, e (3) envia um outro sinal de sonar (sinal “falso”) com frequência  $f'_B = 1000$  Hz, com o intuito de confundir o inimigo.

- c) Nesse caso, qual será a frequência do sinal “falso”  $f'_A$  medida pelo Submarino A?
- d) Se os engenheiros do submarino A forem de fato enganados e pensarem que esse sinal é a reflexão do sinal original, que valor obterão para a velocidade (e direção) do submarino B?



R.: (a)  $V_B = 30$  m/s; (b)  $f'_A \approx 1062$  Hz; (c)  $f'_A \approx 1030$  Hz; (d)  $V_B^{\text{falsa}} = 7,3$  m/s.

**E.13** Um morcego voa dentro de uma caverna, orientando-se efetivamente por meio de bips ultra-sônicos (emissões curtas de alta frequência com duração de um milissegundo). Suponha que a frequência da emissão do som pelo morcego seja de 39,2 kHz. Durante uma arremetida veloz, diretamente contra a superfície plana de uma parede o morcego desloca-se a 8,58 m/s. Considerando que a velocidade do som no referencial de repouso da atmosfera é 330 m/s calcule a frequência do som, refletido pela parede, que chega aos ouvidos do pobre morcego?

R.: 41,3 kHz.

**E.14** Um avião voa a 1,25 da velocidade do som. A explosão sônica alcança um homem no solo 0,25 minuto depois de o avião ter passado sobre sua cabeça. Qual a altitude do avião? Considere a velocidade do som como sendo 330 m/s.

R.: 8,25 km

**E.15** Um avião sobrevoa uma cidade a uma altitude de 3192 km a uma velocidade  $v = 1,9 v_s$  com relação ao solo, onde  $v_s$  é a velocidade do som no ar. A temperatura do ar é de 302,4 K e o vento está num sentido oposto ao do avião, com velocidade de 33,6 m/s.

- a) Qual é a velocidade do avião em relação ao solo?
- b) Qual é o ângulo de Mach?
- c) Para um observador no solo, qual é o tempo decorrido entre ver o avião passar sobre sua cabeça e ouvi-lo?

Utilize  $\gamma_{\text{ar}} = 1,40$ ,  $R = 8,31$  J/(mol · K) (constante universal dos gases) e  $M_{\text{ar}} = 30$  g/mol (massa molar do ar).

R.: (a) 651 m/s; (b)  $\alpha = 30,0^\circ$ ; (c) 8,49 s.

- a)  $v_s = \sqrt{\gamma RT/M} = 342,4$  m/s  
 $V = 1,9 v_s = 651$  m/s
- b)  $V' = V + v_{\text{ar}} = 684$  m/s (em relação ao ar)  
 $\sin \alpha = \frac{v_s}{V'} = 0,500 \Rightarrow \alpha = 30,0^\circ$
- c)  $\Delta t = \frac{H}{V \tan \alpha} = 8,49$  s  
(o cone de Mach se move com o avião)