



FÍSICA II

LISTA DE EXERCÍCIOS 6 – Som

O tenor é o tipo de voz masculina (ou naipe) mais aguda produzida, sem recorrer à técnica de falsete e desconsiderando-se os cantores *castrato* (ver <http://pt.wikipedia.org/wiki/Castrato>). A voz de um tenor (no canto em coral) varia entre o Dó 3 (C₃ que corresponde à frequência de 130,813 Hz) ao Lá 4 (A₄ que corresponde à frequência de 440Hz). Quando um tenor canta em *solo* pode alcançar a nota Dó 5 (C₅ que corresponde à frequência de 523,251 Hz).

A ária "Nessun Dorma", do último ato da ópera "Turandot" composta em 1926 por Giacomo Puccini, possui em sua composição uma das notas quase no limite do alcance de um tenor: a nota Si 4 (B₄ que corresponde à frequência de 493,883 Hz).

Já que você chegou ao fim da última lista sobre oscilações e ondas, aprecie a ária Nessun Dorma em <http://youtu.be/VATmgtmR5o4> executada por Luciano Pavarotti e ouça esta nota sendo emitida com seu estrondoso poder vocal aos 2:45s do vídeo. Enquanto isto, reflita sobre o quão belas e poderosas são as leis da física.

*"Se queres entender o Universo,
pense em energia, frequência e vibração"*

Nicolai Tesla

1. A velocidade do som em um certo metal é "v". Uma das extremidades de um tubo desse metal, de comprimento L, recebe um golpe forte. Uma pessoa na outra extremidade escuta dois sons: um oriundo da onda que se propaga através do tubo e o outro através do ar. (a) Sendo "v" a velocidade do som no ar, qual o intervalo de tempo "t" decorrido entre a percepção dos dois sons?

2. Sabendo que a massa específica do ar é 1,21 Kg/m³ e que a velocidade do som no ar é 343 m/s, determine a compressibilidade do ar β .

3. A variação de pressão causada por uma onda sonora progressiva é dada pela equação $\Delta p = (1,48 \text{ Pa}) \sin(1,07\pi x - 334\pi t)$, onde x está expresso em metros e t em segundos. Determine (a) a variação de pressão máxima de compressão; (b) a frequência do som; (c) o comprimento de onda e (d) a velocidade da onda.

4. Uma fonte emite ondas sonoras esféricas isotropicamente (com igual intensidade em todas as direções). (a) A intensidade da onda a 42,5m da fonte é de 197 $\mu\text{W}/\text{m}^2$. Determine a potência de saída da fonte sonora.

5. Uma onda sonora de intensidade 1,60 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ atravessa uma superfície de 4,7cm². Qual é a energia que atravessa esta superfície em 1 hora?



6. Um som, com frequência de 2,09 kHz, emitido por um alto-falante, tem intensidade de $962 \mu\text{W}/\text{m}^2$ à distância de 6,11m da fonte sonora. (a) Qual é a intensidade sonora à distância de 28,5m do alto-falante? (b) Encontre a amplitude de deslocamento das moléculas de ar a 6,11m do alto-falante. (c) Calcule a amplitude de pressão à mesma distância.

7. (Assuma a velocidade do som como 346 m/s e a densidade do ar $1,27 \text{ kg}/\text{m}^3$) O diafragma de um alto-falante de 30cm de diâmetro está vibrando a 1kHz com uma amplitude de 0,02mm para cima e para baixo. Assumindo que as moléculas de ar bastante próximas ao diafragma vibram com a mesma amplitude de deslocamento e frequência, encontre: (a) A amplitude de pressão em uma posição muito próxima ao alto-falante. (b) A intensidade sonora em uma posição muito próxima ao alto-falante. (c) Assumindo que próximo ao alto-falante a onda sonora possui um formato plano, na forma de disco, e com o mesmo raio do diafragma, obtenha a potência acústica irradiada pelo diafragma. (d) Se quando afastada do alto-falante esta potência é irradiada em formato hemisférico (metade de uma esfera), encontre a intensidade sonora a 5m do alto-falante.

8. A banda Black Sabbath é considerada a primeira banda de Heavy Metal da história e lançou seu primeiro álbum em fevereiro de 1970. Um professor de física assiste a um show da banda a 100m metros do centro do palco com grande satisfação. O som da canção lhe atinge os ouvidos com uma intensidade de 105dB. Assuma que a banda irradie o som como uma frente de onda em formato de um hemisfério (metade de uma esfera). (a) Qual a intensidade do som ouvida em W/m^2 ? (b) Qual é a potência com que a música é tocada?

9. Um sistema de alto-falantes emite som isotropicamente com uma frequência de 200Hz e uma intensidade de $0,960 \text{ mW}/\text{m}^2$ a uma distância de 6,1m. (a) Qual é a intensidade do som a 30m? A 6,1m quais são (b) a amplitude do deslocamento das moléculas? (c) a amplitude de pressão do som?

10. A corda de um violino, que deveria emitir a nota Lá, está excessivamente esticada. Quatro batimentos por segundo são escutados quando ela vibra conjuntamente com um diapasão que emite acuradamente a nota lá (440 Hz). Qual é o período de oscilação da corda do violino?

11. Um trem está se movendo em direção a um observador com velocidade de 109,4 Km/h. O apito da locomotiva tem uma frequência de 400Hz, e a velocidade do som 335,5m/s. Qual a frequência do som ouvida pelo observador?

12. Um carro viaja a 98,17 Km/h ao longo de uma estrada paralela a uma ferrovia. Praticamente à sua frente uma locomotiva está aguardando para partir. Se a velocidade do som neste meio for de 329,4m/s e o motorista do carro ouve um apito de frequência 400Hz, qual é a frequência real do apito da locomotiva?

13. Um trem soa seu apito enquanto se aproxima e se afasta de um cruzamento. Um observador no cruzamento ouve um apito de frequência 219Hz quando o trem se aproxima e 184Hz quando o trem se afasta. A velocidade do som pode ser considerada como 340 m/s. Encontre (a) a velocidade do trem e (b) a frequência do apito.



14. Dois automóveis possuem velocidades opostas e estão em rota de colisão. O primeiro automóvel viaja a $26,84\text{ m/s}$ e o segundo a $20,13\text{ m/s}$. O motorista do primeiro automóvel aciona sua buzina de frequência 400 Hz . (a) Qual a frequência ouvida pelo motorista do segundo carro? (b) Se os dois carros conseguirem desviar, e estiverem agora se afastando um do outro, qual a frequência ouvida pelo motorista do segundo carro?

15. Uma sirene emitindo um som de 1000 Hz se distancia de você, e se aproxima de um muro, à velocidade de 10 m/s . Considere a velocidade do som no ar como 330 m/s . (a) Qual a frequência do som da sirene que você escuta vindo diretamente da sirene? (b) Qual a frequência do som que você escuta refletido da parede? (c) Qual a frequência dos batimentos entre os dois sons? (d) Ela é perceptível? (para isso, deve ser maior que 20 Hz). (Em problemas onde o som se reflete, o refletor age como receptor e como fonte).

16. Uma onda longitudinal senoidal contínua é enviada ao longo de uma mola em espiral muito comprida a partir de uma fonte oscilatória presa a ela. A frequência da fonte é $25,0\text{ Hz}$, e em qualquer instante a distância entre pontos sucessivos de máxima expansão na mola é de $24,0\text{ cm}$. (a) Encontre a velocidade da onda. (b) Se o deslocamento longitudinal máximo de uma partícula da mola for de $0,30\text{ cm}$ e a mola se mover no sentido negativo de um eixo x , escreva a equação para esta onda. Considere a fonte estando em $x=0$ e tendo deslocamento nulo neste ponto quando $t=0$.

17. A pressão em uma onda sonora progressiva através do ar ($\rho_{\text{AR}} = 1,2\text{ kg/m}^3$) é dada pela equação $\Delta P = (1,5\text{ Pa}) \cdot \sin\{\pi(1,0x - 330t)\}$, com x em metros e t em segundos. Encontre: (a) A amplitude da pressão, (b) a frequência, (c) o comprimento de onda, (d) a velocidade da onda e (e) o módulo de compressibilidade.

18) Dois alto-falantes estão localizados a $3,35\text{ m}$ um do outro em um palco ao ar livre. Um ouvinte está $18,3\text{ m}$ de um deles e a $19,5\text{ m}$ do outro. Durante a verificação do som, um gerador de sinais coloca os dois alto-falantes em fase com a mesma amplitude e frequência. A frequência transmitida varre a faixa audível (20 Hz a 20 kHz). (a) Quais as três frequências mais baixas nas quais o ouvinte escutará um sinal mínimo por causa da interferência destrutiva? (b) Quais as três frequências mais altas nas quais o ouvinte escutará um sinal máximo?

19) Uma fonte pontual emite $30,0\text{ W}$ de som isotropicamente. Um pequeno microfone intercepta o som em uma área de $0,750\text{ cm}^2$, a 200 m da fonte. Calcule (a) a intensidade do som neste local e (b) a potência interceptada pelo microfone. (c) Qual a intensidade em decibéis? (d) a que distância deveríamos estar para que a intensidade estivesse no limiar suportado pelo ser humano (120 dB)?

20) Uma certa corda de violino possui 30 cm de comprimento entre as suas extremidades fixas e uma massa de $2,0\text{ g}$. A corda “solta” (sem nenhum dedo aplicado a ela) emite uma nota Lá (440 Hz). (a) Para tocar uma nota Dó (523 Hz), a que distância na corda deve-se colocar um dedo? (b) Qual a razão entre o comprimento de onda das ondas de corda necessárias para uma nota Lá e é necessário para uma



nota Dó? (c) Qual a razão entre o comprimento de onda de uma onda sonora para uma nota Lá e o comprimento para uma nota Dó?

21) Um tubo de 1,20m de comprimento está fechado em uma das extremidades. Um fio metálico esticado é colocado próximo à extremidade aberta. O fio possui 0,330m de comprimento e uma massa de 9,60g. Ele está fixado em ambas as extremidades e vibra no seu modo fundamental. Por ressonância ele faz a coluna de ar no tubo oscilar na frequência fundamental dessa coluna. Encontre (a) essa frequência de oscilação da coluna de ar e (b) a tração no fio. ($v_{\text{som}} = 343 \text{ m/s}$)

22) Um detector (estacionário) de movimento envia ondas sonoras na frequência de 150 KHz em direção a um caminhão que se aproxima a uma velocidade de 45,0 m/s. Qual a frequência das ondas captadas pelo detector? Repita o exercício para um caminhão com velocidade de 44,0 m/s (É assim que alguns radares de trânsito funcionam).

23) Em um dia em que a velocidade do som é igual a 345 m/s, a frequência fundamental de um tubo de órgão fechado é igual a 220 Hz. (a) Qual o comprimento deste tubo fechado? (b) O segundo sobretom desse tubo possui o mesmo comprimento de onda que o terceiro harmônico de um tubo aberto. Qual o comprimento do tubo aberto?

24) Qual é a velocidade com que uma onda sonora se propaga em uma barra de chumbo? ($\rho = 11300 \text{ kg/m}^3$, $E = 1,6 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$)

25) Um pistão posicionado na extremidade de um longo tubo preenchido de oscila com uma frequência de 500 Hz em um percurso total de 0,2mm entre o a posição mais à frente e mais atrás. O pistão e o tubo possuem área de 100 cm^2 . (a) Quanto é a amplitude de pressão devido a onda sonora que se propaga pelo tubo? (b) Qual a intensidade das ondas? (c) Qual a potência requerida para manter o pistão oscilando? (caso não haja atrito). Use densidade do ar $1,292 \text{ kg/m}^3$ e velocidade do som 340 m/s

26) Um Destroyer estacionário é equipado com um sonar que envia pulsos sonoros de 40MHz de frequência. Pulsos refletidos são recebidos de um submarino diretamente abaixo do Destroyer com um tempo de atraso de 80ms em relação à emissão do sinal. O sinal recebido possui uma frequência de 39,958 MHz. Se a velocidade do som na água do mar for de 1,54km/s, encontre (a) a profundidade e (b) a velocidade vertical do submarino. (Em problemas onde a onda se reflete, o refletor age como receptor e como fonte. Ou seja, deve-se “transformar a frequência” ao alcançar o submarino e novamente depois que esta frequência atinge o Destroyer.)

27) Define-se “tempo de reverberação” como o tempo necessário para a intensidade sonora diminuir 60dB em relação à intensidade sonora inicial quando o som é produzido. Qual a razão, em unidades de W/m^2 , entre a intensidade sonora quando o som é produzido e depois de ter passado o tempo de reverberação?

28) Explique qualitativamente por que a frequência ouvida é aparentemente maior que a frequência emitida quando a fonte sonora se aproxima do ouvinte. Explique qualitativamente por que



a frequência ouvida é aparentemente maior que a frequência emitida quando o ouvinte se aproxima da fonte sonora.

- 1) $t = L(V-v)/Vv$
- 2) $B = 1,42 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
- 3) (a) 1,48Pa; (b) 167Hz; (c) 1,87m; (d) 312m/s
- 4) 4,47W
- 5) 27,1mJ
- 6) (a) 44,2 $\mu\text{W/m}^2$; (b) 164 nm; (c) 894 mPa.
- 7) (a) 55,2Pa, (b) 3,47 W/m², (c) 0,245W, (d) $1,56 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$
- 8) (a) 0,316 W/m² (b) 19869 W
- 9) (a) 39,7 $\mu\text{W/m}^2$; (b) 171nm; (c) 0,893Pa
- 10) 2,25ms
- 11) 440Hz
- 12) 369 Hz
- 13) (a) 29,5 m/s e (b) 200Hz
- 14) (a) 461Hz; (b) 348Hz.
- 15) (a) 970,6 Hz; (b) 1031 Hz; (c) 60,7Hz; (d) sim'
- 16) (a) 12,0 m/s; (b) $y(x,t) = (0,30\text{cm}) \cdot \text{sen}(13,1x + 157,1t)$.
- 17) (a) 1,5 Pa; (b) 165,0 Hz; (c) 2,0 m; (d) 330,0 m/s; (e) $1,3 \times 10^5 \text{ Pa}$.
- 18) (a) 142,9, 428,8 e 714,6 Hz; (b) 285,8, 571,6 e 857,5 Hz.
- 19) (a) 59,7 $\mu\text{W/m}^2$; (b) $4,5 \times 10^{-9} \text{ W}$; (c) 77,7 dB; (d) 1,54 m.
- 20) (a) 0,25m; (b) 1,2; (c) 1,2.
- 21) (a) 71,46 Hz; (b) 64,71 N.
- 22) (a) 195 KHz; (b) 194,1 Khz.
- 23) (a) 0,392 m; (b) 0,470m.
- 24) 1200,0 m/s
- 25) (a) 138Pa, (b) 21,7 W/m², (c) 0,217W
- 26) (a) 61,6m, (b) 0,81m/s submergindo
- 27) um milhão