

Física: Ondas

TÓPICO 12: Ondas sonoras e eletromagnéticas

As ondas sonoras e eletromagnéticas são temas muito importantes para a física e a tecnologia em geral, pois o conhecimento dessas áreas permitiu o desenvolvimento e o avanço da indústria musical, farmacêutica, medicina, astronomia, astrofísica e engenharia.

1 Ondas sonoras

Ondas sonoras são ondas mecânicas longitudinais e, portanto, também necessitam de um meio elástico para propagação como, por exemplo, o ar. Para compreender melhor esse fenômeno, suponha que ao invés de empurrarmos um móvel (cadeira, estante etc.), empurramos o ar. Ao fazer um movimento brusco com a mão abertas para frente, você empurra uma população de átomos que, por sua vez, colidem e empurram outra população de átomos, e assim por diante. Considerando que as colisões são elásticas, não existe perda de energia nem o transporte de matéria, havendo apenas o transporte de energia cinética entre os átomos. Este movimento representa a propagação de um pulso mecânico longitudinal, da mesma forma que se propaga um pulso longitudinal em uma mola.

A figura 1 ilustra a região onde um grupo de átomos colide com um grupo posterior, chamada de região de *compressão*. Este local é caracterizado por uma elevada pressão entre os átomos. Os locais onde não existem colisões relativas à propagação do pulso é chamado de região de *rarefação*, que é caracterizado por uma baixa pressão entre os átomos. Se ao invés de um pulso, uma fonte como uma caixa de som produz vibrações periódicas nas partículas do ar, essas regiões de compressão e rarefação se intercalam periodicamente, formando uma onda sonora do tipo senoidal. O pico, que representa a frente de onda, descreve a região de compressão. A região de rarefação é descrita pelo vale da onda. Assim, não é possível a propagação do som no vácuo. Este resultado é interessante, pois mostra que algumas produções

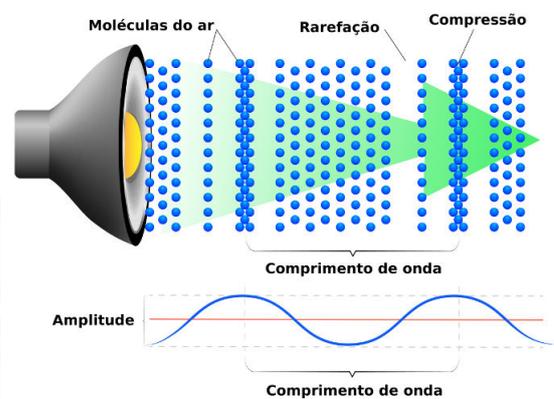


Figura 1: As ondas sonoras produzem regiões de compressão e rarefação (Figura retirada de R. Helerbrock, Brasil Escola: O que é efeito Doppler? 2020).

cinematográficas não se atentaram para este detalhe como, por exemplo, o filme *Star Wars* que apresenta a propagação de ondas sonoras no vácuo.

A figura 2 ilustra uma fonte pontual emitindo ondas sonoras em todas as direções. Em três dimensões, as frentes de onda representam superfícies nas quais as oscilações produzidas pelas ondas sonoras possuem o mesmo valor. Essas superfícies são representadas por circunferências em um desenho bidimensional, e os raios indicam a direção de propagação das frentes de onda (Halliday, Resnick e Walker, 2009).

Quando as frentes de onda estão próximas da fonte pontual S , elas possuem geometria esférica em um desenho tridimensional. Neste caso, as ondas recebem o nome de *ondas esféricas* e conforme se afastam da fonte, o raio da frente de onda aumenta, ocasionando a redução da sua curvatura. Assim, quando a onda está muito longe da fonte, as ondas podem ser aproximadas por superfícies planas, tornando-se, portanto, *ondas planas* (Halliday, Resnick e Walker, 2009).

Como as ondas sonoras necessitam de um meio para

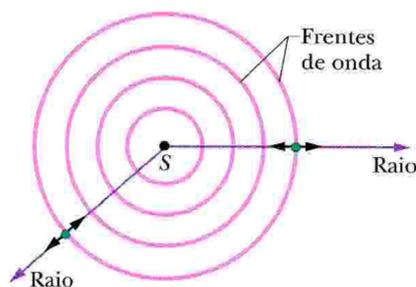


Figura 2: Uma onda sonora se propaga a partir de uma fonte pontual S em um meio tridimensional. As frentes de onda formam esferas com centro em S . Como a onda é longitudinal, as setas de duas cabeças mostram que os elementos do meio oscilam paralelamente aos raios (Halliday, Resnick e Walker, 2009).

propagação, elas podem se propagar em sólidos, líquidos e gases. Em geral, a velocidade é maior nos sólidos. A tabela 1 apresenta alguns valores. No sólido e líquido, a temperatura não possui muita influência sobre a velocidade do som; porém, possui efeito considerável na propagação do som no meio gasoso. A equação que fornece o valor da velocidade do som em função da temperatura do ar é dada por:

$$v = 331 + 0,6T_{ar} \quad (1)$$

em que T_{ar} representa o valor da temperatura do ar em graus Celsius. Ao assumir $T_{ar} = 0$ e 20°C na equação 1 é possível obter os valores apresentados na tabela 1 (331 e 343°C , respectivamente).

Quando as ondas sonoras se propagam por um meio e chegam aos nossos ouvidos, o aparelho auditivo coleta a informação e transporta até o cérebro para processamento e interpretação. **Podemos ouvir ondas sonoras com frequências entre 20 e 20.000 Hz. As ondas abaixo de 20 Hz estão na faixa do infrassom e as acima de 20.000 Hz estão na faixa do ultrassom.**

O som pode ser classificado a partir da **altura**, **intensidade** e **timbre**. A altura é a propriedade que define se uma onda sonora é grave ou aguda. Esta característica é obtida a partir da frequência da onda. Ondas com alta frequência são agudas e com baixa frequência são graves. A voz de um homem possui frequências entre 80 e 185 Hz enquanto a voz feminina está entre 165 e 255 Hz; portanto, a voz das mulheres é mais aguda. A intensidade é definida pela amplitude da onda sonora. Quanto maior a amplitude de uma onda sonora, maior é a energia que ela carrega e, desta forma, maior é a intensidade, caracterizando um som forte. Caso contrário, é denominado um som fraco. Essa propriedade é medida em decibéis (dB). Timbre é a propriedade que permite distinguir duas fontes que emite uma onda sonora com mesma frequência e intensidade como, por exemplo, um violão e um

Tabela 1: Velocidade do som em diversos meios. Para os meios onde não existe indicação, o valor é para 0°C e 1 atm .^aValor para 20°C com 3,5% de salinidade (Halliday, Resnick e Walker, 2009).

Meio	Velocidade (m/s)
ar (0°C)	331
ar (20°C)	343
Hélio	965
Hidrogênio	1284
Água (20°C)	1482
Água salgada ^a	1522
Aço	5941
Alumínio	6420
Granito	6000

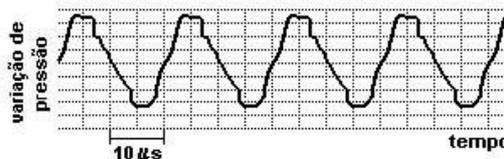
piano. Cada fonte possui um timbre particular.

Assim como qualquer onda mecânica, as ondas sonoras também estão sujeitas aos efeitos de interferência, reflexão, refração e difração. Um quinto efeito também está presente para ondas, chamado **absorção**. Quando uma onda colide com uma superfície, a sua energia pode ser absorvida. É o que acontece nas chamadas câmaras anecoicas. Caso a onda sonora não seja absorvida, sofrerá reflexão e dará origem ao **eco**. Quando um ambiente possui múltiplas reflexões da onda sonora, mesmo após a fonte ter deixado o ambiente ou parado de vibrar, ocorre o fenômeno da **reverberação**.

Problema 1

(FUVEST) O som de um apito é analisado com o uso de um medidor que, em sua tela, visualiza o padrão apresentado na figura abaixo. O gráfico representa a variação da pressão que a onda sonora exerce sobre o medidor, em função do tempo, em μs ($1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$). Analisando a tabela de intervalos de frequências audíveis, por diferentes seres vivos, conclui-se que esse apito pode ser ouvido apenas por:

Seres vivos	Intervalos de Frequência
cachorro	15 Hz - 45.000 Hz
ser humano	20 Hz - 20.000 Hz
sapo	50 Hz - 10.000 Hz
gato	60 Hz - 65.000 Hz
morcego	1000 Hz - 120.000 Hz



- (a) seres humanos e cachorros
- (b) seres humanos e sapo
- (c) sapos, gatos e morcegos
- (d) gatos e morcegos

(e) morcegos

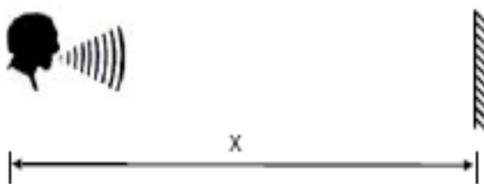
RESOLUÇÃO: Pela escala do gráfico é possível concluir que o período da onda sonora vale $20 \mu\text{s}$. Com essa informação é possível calcular a frequência sonora:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \times 10^{-6}} = 50 \text{ kHz}$$

indicando que apenas gatos e morcegos conseguem escutar. A alternativa correta é o item (d).

Problema 2

(UNICAMP) O menor intervalo de tempo entre dois sons percebido pelo ouvido humano é de $0,10 \text{ s}$. Considere uma pessoa defronte a uma parede em um local onde a velocidade do som é de 340 m/s .



(a) Determine a distância x para a qual o eco é ouvido $3,0 \text{ s}$ após a emissão da voz.

(b) Determine a menor distância para que a pessoa possa distinguir a sua voz e o eco.

RESOLUÇÃO:

(a) A onda emitida pela fonte sofrerá reflexão na parede e retornará para o aparelho auditivo da fonte. Assim, cada frente de onda percorrerá $2x$ como um MRU:

$$2x = v_{\text{som}}t = (340)(3,0) \therefore x = 510 \text{ m}$$

(b) Como o ouvido humano necessita de $0,10 \text{ s}$ de intervalo para diferenciar dois sons, a menor distância x é dada por:

$$2x = v_{\text{som}}t = (340)(0,1) \therefore x = 17 \text{ m}$$

Problema 3

(UFRGS) Analise cada uma das seguintes afirmações relacionadas com ondas sonoras e indique se é verdadeira (V) ou falsa (F).

() Analisando os sons produzidos num piano, verifica-se que a nota Lá (440 Hz) é mais grave

do que a nota Dó (256 Hz).

() A onda sonora não se propaga da Terra para a Lua.

() Uma onda sonora audível pode ser difratada.

Quais são, respectivamente, as indicações corretas?

(a) F–V–V

(b) F–F–V

(c) F–V–F

(d) V–F–F

(e) V–V–F

RESOLUÇÃO:

A primeira afirmação refere-se à altura de uma onda sonora. É fato que quanto maior a frequência, mais agudo é o som. Desta forma, essa afirmação está incorreta, pois a nota Lá (440 Hz) é mais aguda que a nota Dó (256 Hz).

A segunda afirmação refere-se aos meios de propagação de uma onda mecânica. Como sabemos, é necessário um meio material, como um sólido, líquido ou gás. Assim, a alternativa está correta, pois entre a Terra e a Lua o meio é de alto vácuo, *i.e.*, existem pouquíssimas partículas no ambiente para caracterizar um meio material.

A terceira alternativa refere-se ao fenômeno de difração em ondas. Como as ondas sonoras são ondas mecânicas, a difração pode ocorrer normalmente, independente da faixa de frequência.

Portanto, a alternativa correta é o item (a).

Problema 4

(ITA) Mediante um processo eletromecânico, percute-se um gongo a cada $0,5 \text{ s}$. Uma pessoa parada bem próxima ao gongo vê e ouve as batidas simultaneamente. Afastando-se um pouco do gongo, ela passa a ouvir o som um pouco depois de sua batida; entretanto, quando a pessoa estiver afastada uma distância de 172 m do gongo, novamente som e imagem se tornam simultâneos. Determine a velocidade do som nas condições da experiência.

RESOLUÇÃO: Quando a pessoa está bem próxima do gongo (*e.g.*: $1,0 \text{ m}$), ela vê e ouve instantaneamente a batida; porém, ao se afas-

tar, por exemplo, uns 50 m, ela primeiro vê a batida e só depois de um certo tempo consegue escutar o som, pois a velocidade de propagação do som (≈ 343 m/s) é muito menor que a velocidade da luz ($\approx 3 \times 10^8$ m/s). Ao se posicionar 172 m do gongo, o enunciado afirma que a pessoa passa novamente a ver e escutar simultaneamente a batida. Isso acontece porque o som que ela está ouvindo é de um instante anterior à batida atual. Ao visualizar a batida no instante t , o som recebido pelo sistema auditivo da pessoa neste mesmo instante refere-se, na verdade, ao instante $t - 0,5$. Assim, pode-se concluir que a onda sonora produzida pelo gongo possui um período de 0,5 s, que se refere ao mesmo período em que o instrumento é acionado. A velocidade é portanto calculada por:

$$v = \lambda f = \frac{\lambda}{T} = \frac{172}{0,5} = 344 \text{ m/s}$$

Observação: Quando o gongo é acionado, ele emite uma frente de onda caracterizada por uma região de compressão que leva 0,5 s para chegar ao sistema auditivo da pessoa que está a 172 m do instrumento. É o mesmo efeito do produzido na figura 1.

Problema 5

(UFSC) A audição e a fala são extremamente importantes para os seres humanos. Graças a elas podemos detectar, emitir e interpretar ondas sonoras com diferentes propriedades físicas. Por exemplo, devido à audição podemos escutar sons com intensidade a partir de 10^{-12} W/m², enquanto a fala nos permite, em um tom de conversa normal, emitir potência sonora de 10^{-5} W.

Assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.

- 01. Os seres humanos podem ouvir sons de qualquer frequência.
- 02. A população de Florianópolis é de 400.000 habitantes. Todos os habitantes conversando ao mesmo tempo, em tom normal, emitem potência 25 vezes menor que uma lâmpada de 100 W.
- 04. Os seres humanos podem emitir sons em todas as frequências de 20 Hz a 20.000 Hz.
- 08. As ondas sonoras são ondas mecânicas transversais.

16. A unidade Bel (B) exprime a altura de um som.

32. Um som emitido por você na sala (ambiente) em que se encontra terá a mesma intensidade a qualquer distância.

64. Sons com intensidade a partir de 1,0 W/m² produzem sensação de dor no ouvido humano.

RESOLUÇÃO:

01. Incorreta. O humano pode ouvir frequências entre 20 e 20.000 Hz.

02. Correta. Considerando que cada habitante possui potência sonora igual a 10^{-5} W, 400.000 habitantes possuem juntos 4 W. Isso representa uma potência 25 vezes menor da potência consumida por uma lâmpada de 100 W.

04. Incorreta. Eles podem ouvir nesta faixa e podem emitir em qualquer uma, inclusive nas que não escutam.

08. Incorreta. As ondas sonoras são ondas mecânicas longitudinais, conforme descrito na seção 1 desta aula.

16. Incorreta. A seção 1 desta aula explica que a unidade de medida da **intensidade** do som, representado pela amplitude da onda, é o *decibel* (dB), onde *bel* (B) é a unidade de medida e *deci* (d) é um prefixo que representa 10^{-1} . Para definir a altura do som, usa-se a frequência da onda sonora.

32. Incorreta. No ambiente, a onda sonora está sujeita aos processos de reflexão e absorção; logo, será atenuando conforme se propaga pelo meio.

64. Correta. A dor no ouvido provocado pelo som ocorre quando sua intensidade é igual ou maior que 120 dB. Para saber se o som na intensidade de 1,0 W/m² está próximo deste valor, devemos calcular a intensidade sonora em decibéis. Isso pode ser feito pela equação:

$$dB = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

em que I é a intensidade do som a ser analisado e I_0 a intensidade sonora mínima audível (10^{-12} W/m²). Ambas a grandezas são defini-

das em W/m^2 . O logaritmo é de base 10. Logo:

$$dB = 10 \log \left(\frac{1,0}{10^{-12}} \right) = 120 \text{ dB}$$

Portanto, a soma dos itens corretos vale 66.

FIQUE LIGADO: ONDE CAIU O RELÂMPAGO?

Quando você visualizar um relâmpago, durante uma tempestade, conte em segundos o tempo que levará para ouvir o trovão. Se, por exemplo, você contou 3 segundos, multiplique esse valor pela velocidade do som para estimar a distância entre você e o relâmpago:

$$x = v_{\text{som}} t = (343)(3) = 1029 \text{ m}$$

Este resultado indica que o relâmpago caiu em aproximadamente 1 km do local onde você está.

Dica: faça esse experimento em um local seguro (em casa).

1.1 Ondas sonoras em tubos

A oscilação de uma corda com as duas extremidades fixas permite a geração de ondas estacionárias, como, por exemplo, em um instrumento de corda. A onda emitida em uma extremidade sofre reflexão e inversão na outra, gerando, para determinadas frequências de oscilação, as ondas estacionárias. Essas frequências são conhecidas como *frequências de ressonância* da corda que permitem oscilações com grandes amplitudes, movimentando o ar na mesma frequência da corda e dando origem às notas musicais (Halliday, Resnick e Walker, 2009). Desta forma, essas frequências são muito importantes para qualquer musicista de instrumento de corda.

O mesmo princípio pode ser utilizado para produção de som em tubos com ar. Quando as ondas são emitidas na extremidade de um tubo, são refletidas na outra e a reflexão ocorre mesmo quando essa extremidade não está fechada; porém, a reflexão é parcial. Para certas frequências, existem as *frequências de ressonância* do tubo que permite a massa de ar dentro do tubo oscilar com grandes amplitudes, movimentando também a massa de ar ao redor com a mesma frequência, o que dá origem às ondas sonoras. Esse é o princípio de funcionamento dos instrumentos de sopro, como a flauta e o saxofone.

O comportamento das ondas sonoras em tubos é similar ao comportamento das ondas em cordas. A produção de ondas transversais em cordas com a extremidade oposta fixa é similar ao caso do tubo com a extremidade oposta fechada e a produção de ondas em

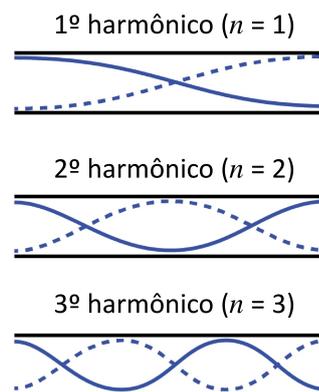


Figura 3: Três primeiros harmônicos de ondas produzidas em um tubo aberto (Figura adaptada de Standing Waves and Resonance: Chapter 14 - Transmission Lines 2020).

cordas com extremidade oposta presa por um anel é similar ao caso de ondas produzidas em tubos abertos.

No caso de um tubo aberto nas duas extremidades, as frequências de ressonância são dadas pela equação:

$$f = \frac{nv}{2L} \text{ para } n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

em que v é a velocidade da onda, L o comprimento do tubo, n o número harmônico, e $2L/n$ é comprimento de onda. Quando $n = 1$, a onda sonora está na frequência fundamental de ressonância. A figura 3 mostra que existe a formação de meia onda dentro do tubo ($\lambda = 2L$) para $n = 1$. No segundo harmônico ($n = 2$), há formação de uma onda ($\lambda = L$) e no terceiro harmônico ($n = 3$) há formação de uma onda e meia ($\lambda = 2L/3$). A linha tracejada representa a onda refletida, que dá origem à onda estacionária dentro do tubo. Para tubos com um lado fechado e outro aberto, as frequências de ressonância são dadas por:

$$f = \frac{nv}{4L} \text{ para } n = 1, 3, 5, \dots \quad (3)$$

em que $4L/n$ representa o comprimento de onda. Note na equação 3 que a ressonância só existe para números harmônicos ímpares. Para outros harmônicos não é possível produzir ondas sonoras ressonantes. A figura 4 ilustra os três primeiros harmônicos. No estado fundamental, existe a formação de um quarto de onda dentro do tubo ($\lambda = 4L$). No terceiro harmônico, existe a formação de três quartos de onda ($\lambda = 4L/3$) e no quinto harmônico existe a formação de cinco quartos de onda no tubo ($\lambda = 4L/5$).

Problema 6

(UDESC) Dois tubos sonoros de um órgão têm o mesmo comprimento, um deles é aberto e o outro fechado. O tubo fechado emite o som

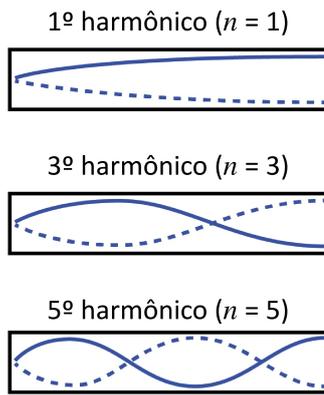


Figura 4: Três primeiros harmônicos de ondas produzidas em um tubo com uma extremidade fechada (Figura adaptada de Standing Waves and Resonance: Chapter 14 - Transmission Lines 2020).

fundamental de 500 Hz à temperatura de 20°C e à pressão atmosférica. Dentre as frequências abaixo, indique a que esse tubo não é capaz de emitir.

- (a) 1500 Hz
- (b) 4500 Hz
- (c) 1000 Hz
- (d) 2500 Hz
- (e) 3500 Hz

RESOLUÇÃO: Em 20°C, o som tem velocidade de aproximadamente 343 m/s, conforme demonstra a equação 1. Para determinar a frequência que não pode ser emitida pelo tubo fechado, devemos aplicar a equação 3:

$$f = \frac{nv}{4L} = nf_0$$

em que $f_0 = v/4L$ é a frequência do estado fundamental que vale 500 Hz. Logo:

(a)
$$n = \frac{f}{f_0} = \frac{1500}{500} = 3 \text{ (ímpar)}$$

(b)
$$n = \frac{4500}{500} = 9 \text{ (ímpar)}$$

(c)
$$n = \frac{1000}{500} = 2 \text{ (par)}$$

(d)
$$n = \frac{2500}{500} = 5 \text{ (ímpar)}$$

(e)
$$n = \frac{3500}{500} = 7 \text{ (ímpar)}$$

No tubo fechado, o número harmônico deve ser ímpar; logo, a única frequência que não pode

ser emitida é 1000 Hz, representado pelo item (c).

1.2 Efeito Doppler do som

Suponha um carro parado com uma sirene ligada. Se você estiver parado no acostamento, ouvirá o som da sirene com a mesma frequência; porém, ao se movimentar em relação a ela, ouvirá o som com uma frequência maior ou menor, dependendo se você está se afastando ou aproximando da sirene, respectivamente. O nome deste fenômeno é chamado de *Efeito Doppler* e foi proposto em 1842 pelo físico austríaco Johann Christian Doppler (Halliday, Resnick e Walker, 2009). Neste exemplo, existem dois sujeitos: observador e fonte. O observador é o indivíduo que está ouvindo a sirene e a fonte é a própria sirene. Se um dos dois sujeitos está se movendo ou dois se movem simultaneamente, a frequência emitida f e a frequência detectada f' estão relacionadas por meio da equação:

$$f' = f \left(\frac{v \pm v_o}{v \pm v_f} \right) \quad (4)$$

em que v é a velocidade do som, v_o é a velocidade do observador e v_f é a velocidade da fonte. A escolha dos sinais devem ser realizadas com base na seguinte regra:

- **Observador:** se o observador se aproxima da fonte, escolha o sinal positivo no numerador da equação 4 ($+v_o$). Se o observador se afasta da fonte, escolha o sinal negativo ($-v_o$).
- **Fonte:** se a fonte se aproxima do observador, escolha o sinal negativo no denominador da equação 4 ($-v_f$). Se a fonte se afasta do observador, escolha o sinal positivo ($+v_f$).

Assim, a frequência recebida pelo observador diminui ao se afastar da fonte e aumenta ao se aproximar. A figura 5 ilustra uma fonte (ambulância) se afastando e se aproximando de duas fontes.

Problema 7

(PUC) Quando uma ambulância se aproxima ou se afasta de um observador, este percebe uma variação na altura do som emitido pela sirene (o som percebido fica mais grave ou mais agudo). Esse fenômeno é denominado Efeito Doppler. Considerando o observador parado,

- (a) o som PERCEBIDO fica mais agudo à medida que a ambulância se afasta.

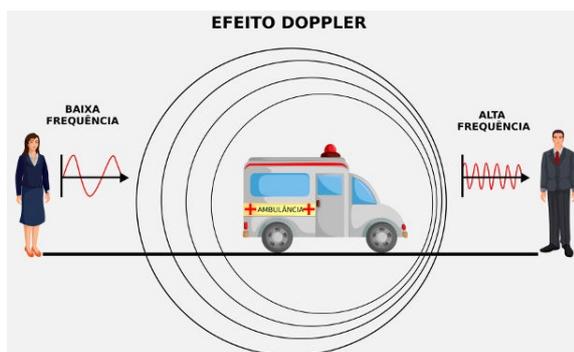


Figura 5: Ilustração do efeito Doppler (Figura retirada de R. Helerbrock, Brasil Escola: O que é efeito Doppler? 2020).

- (b) o som PERCEBIDO fica mais agudo à medida que a ambulância se aproxima.
- (c) a frequência do som EMITIDO aumenta à medida que a ambulância se aproxima.
- (d) o comprimento de onda do som PERCEBIDO aumenta à medida que a ambulância se aproxima.
- (e) o comprimento de onda do som PERCEBIDO é constante, quer a ambulância se aproxime ou se afaste do observador, mas a frequência do som EMITIDO varia.

RESOLUÇÃO:

(a) Incorreta. Essa afirmação está relacionada com a altura do som, definida pela frequência da onda sonora. Quanto menor a frequência, mais agudo é o som. No efeito Doppler, a frequência recebida pelo observador diminui quando há aproximação relativa entre ele e a fonte.

(b) Correta, conforme discutido no item (a).

(c) Incorreta. A frequência emitida pela fonte independe do seu movimento.

(d) Incorreta. Durante a aproximação, a frequência percebida pelo observador aumenta; desta forma, o comprimento de onda diminui, pois essas duas grandezas são inversamente proporcionais:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

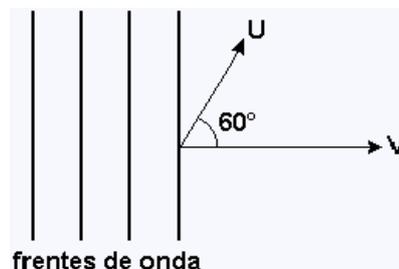
em que λ é o comprimento de onda, f a frequência da onda sonora e v a velocidade do som.

(e) Incorreta. Se existem mudanças na frequência devem existir mudanças no comprimento de onda.

Portanto, a alternativa correta é o item (b).

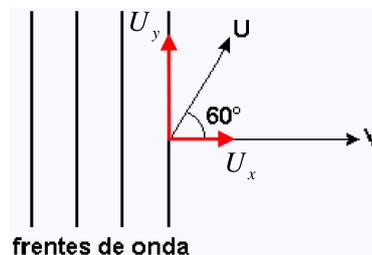
Problema 8

(FUVEST) Uma onda sonora considerada plana, proveniente de uma sirene em repouso, propaga-se no ar parado, na direção horizontal, com velocidade V igual a 330 m/s e comprimento de onda igual a 16,5 cm. Na região em que a onda está se propagando, um atleta corre, em uma pista horizontal, com velocidade U igual a 6,60 m/s, formando um ângulo de 60° com a direção de propagação da onda. O som que o atleta ouve tem frequência aproximada de:



- (a) 1960 Hz
- (b) 1980 Hz
- (c) 2000 Hz
- (d) 2020 Hz
- (e) 2040 Hz

RESOLUÇÃO: A velocidade do observador U possui duas componentes: paralela com as frentes de onda (U_y) e perpendicular (U_x). A componente perpendicular está na mesma direção da velocidade V .



Se um observador possui apenas a componente U_y , ele está parado em relação à direção de propagação da onda sonora; desta forma, v_o seria nula na equação 4. Isso indica que se a fonte se move com velocidade paralela à frente de onda, não há mudança de frequência percebida pelo

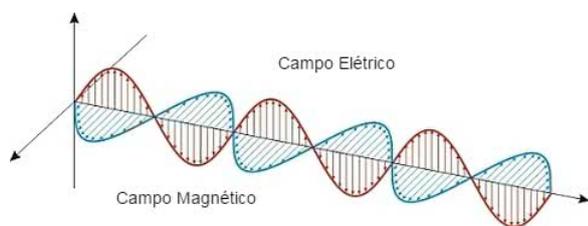


Figura 6: Onda eletromagnética (Figura retirada de Toda Matéria: Ondas Eletromagnéticas 2020).

observador. Existe mudança apenas quando ele se movimenta na direção da velocidade V . Assim, para calcular a frequência percebida pelo observador, devemos usar a componente U_x :

$$f = f' \left(\frac{V \pm U_x}{V \pm v_f} \right)$$

em que $V = 330$ m/s, $v_f = 0$ (sirene em repouso), $U_x = U \cos 60^\circ = (6,60)(0,5) = 3,30$ m/s e $f' = v/\lambda = 330/0,165 = 2000$ Hz. Como a componente U_x e a velocidade da onda V estão no mesmo sentido, o observador está se afastando da fonte, e portanto o sinal do numerador da equação 4 é negativo:

$$f = f' \left(\frac{330 - 3,30}{330} \right) = 1980 \text{ Hz}$$

indicando que a alternativa correta é o item (b). Não existe necessidade em se definir o sinal do denominador porque $v_f = 0$.

2 Ondas eletromagnéticas

Ondas eletromagnéticas são ondas transversais provocadas pela oscilação de campos elétricos e magnéticos, conforme ilustra a figura 6. Os campos oscilam no tempo e espaço em planos perpendiculares entre si, mas que possuem a mesma direção de propagação, definida pelo chamado *vetor de Poynting*. Assim, uma onda eletromagnética é transversal e progressiva (se propaga por uma direção específica).

As ondas mecânicas necessitam de um meio elástico para propagação; entretanto, as ondas eletromagnéticas podem existir tanto num meio elástico quanto no vácuo. A onda possui velocidade constante e, no vácuo ou ar, vale aproximadamente 3×10^8 m/s ou 300 mil quilômetros por segundo. Além disso, por se tratar de um fenômeno ondulatório, também está sujeita aos efeitos de reflexão, refração, absorção, difração, interferência e polarização. As várias frequências que uma onda eletromagnética pode adquirir constitui o chamado *espectro eletromagnético*, conforme ilus-

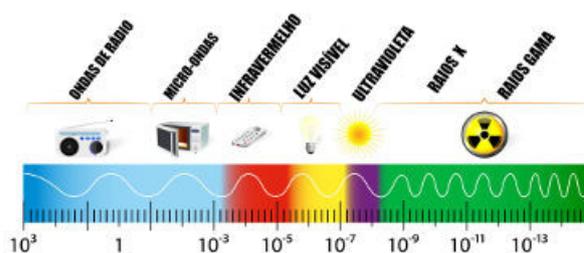


Figura 7: Espectro eletromagnético. A escala horizontal representa o comprimento de onda em metros (Figura retirada de Brasil Escola: O que é espectro eletromagnético? 2020).

trado na figura 7. O espectro é separado sete regiões: ondas de rádio, microondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios-X e raios gama.

Onda de rádio e microondas são utilizados em telecomunicações como rádio, televisão, celular, internet sem fio, radares, aquecimento de comidas etc. A radiação infravermelha é popularmente conhecida como uma forma de calor e uma das maneiras de identificá-la é por meio de óculos com visão noturna e câmeras de monitoramento. A radiação visível é a que podemos ver. Ela compreende apenas uma pequena faixa do espectro eletromagnético, com comprimentos de onda entre 400 e 700 nm. As cores mais quentes, como o vermelho, estão mais próximas de 700 nm, que é a região de separação com o infravermelho. As cores mais frias, como o azul, estão mais próximas de 400 nm, que é a região de separação com o ultravioleta. As faixas mencionadas até o momento são chamadas de radiações não ionizantes. Isso significa que ao interagirem com a matéria, não conseguem arrancar seus elétrons, fenômeno conhecido como *efeito fotoelétrico*. A radiação ultravioleta é utilizada como ferramenta para esterilização de ambientes e procedimentos estéticos. É uma radiação ionizante que pode causar, inclusive, o surgimento de câncer devido a modificações celulares causadas pelo efeito fotoelétrico. O mesmo problema pode ser ocasionado pelo raio-X e o raio gama. O raio-X é utilizado em várias áreas da medicina para visualização de propriedades internas do corpo humano (ossos, anomalias etc.) e tratamento de câncer. Em ciência dos materiais, essa forma de radiação é utilizada para conhecer as propriedades químicas e estruturais dos materiais. O raio gama também é uma modalidade utilizada no tratamento de câncer e surgem a partir de reações nucleares, algo comum em eventos astrofísicos. Tanto o raio-X quanto o raio gama também são radiações ionizantes e podem causar câncer com muito mais periculosidade, mas também são ferramentas que podem combatê-lo. Porém, esses tipos de radiação são menos presentes em nosso cotidiano. A radiação ionizante mais presente é o ultravioleta, que constitui aproximadamente 7% do espectro solar (radiações

emitidas pelo Sol) ao nível do mar, onde os demais 93% são compostos por radiação visível e infravermelho.

As ondas eletromagnéticas possuem definições tanto pela *teoria eletromagnética clássica* quanto pela *física moderna*. No eletromagnetismo clássico, a radiação possui comportamento ondulatório, similar ao caso das ondas mecânicas. A física moderna entende que a radiação (luz) tem comportamento corpuscular, *i.e.*, é formada por partículas sem massa chamada de *fótons*; entretanto, sem desconsiderar o comportamento ondulatório. Essa interpretação dá origem à propriedade *onda-partícula* para a luz. Isso significa que ela pode se comportar das duas formas.

Exercício 1

(PUC) Em 1895, o físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen descobriu os raios-X, que são usados principalmente na área médica e industrial. Esses raios são:

- (a) Radiações formadas por partículas alfa com grande poder de penetração.
- (b) Radiações formadas por elétrons dotados de grandes velocidades.
- (c) Ondas eletromagnéticas de frequências maiores que as das ondas ultravioletas.
- (d) Ondas eletromagnéticas de frequências menores do que as das ondas luminosas.
- (e) Ondas eletromagnéticas de frequências iguais as das ondas infravermelhas.

RESOLUÇÃO: O raio-X é uma onda eletromagnética e, conforme mostra a figura 7, possui frequência maior que a radiação ultravioleta. Assim, a alternativa correta é o item (c).

Problema 9

(UFSC) Sobre as emissões de estações de rádio, é **correto** afirmar:

- 01. As recepções em AM são pouco prejudicadas por colinas e montanhas, pois são refletidas pela atmosfera.
- 02. Não são influenciadas pelas ondas luminosas, devido à natureza ondulatória diferente.
- 04. As emissões em FM têm pequeno alcance, pois não refletem na atmosfera.

08. As ondas curtas, emitidas por algumas rádios AM, têm grande alcance, devido à sua grande velocidade.

16. Nunca poderiam ser captadas por um astronauta no espaço.

32. Nunca poderiam ser emitidas a partir da Lua.

RESOLUÇÃO:

01. Correta. Na radiodifusão, o sinal é transmitido por ondas de rádio nos formatos AM ou FM. Os sinais AM possuem frequências na faixa de kHz (10^3 Hz) enquanto os sinais FM possuem frequências na faixa de MHz (10^6 Hz). Sinais com frequências menores possuem maior alcance e sofrem mais reflexão pela atmosfera enquanto sinais com frequências maiores possuem menor alcance e são mais absorvidas pela atmosfera. Desta forma, sinais com baixa frequência são pouco prejudicadas por colinas e montanhas, pois são transmitidas por saltos reflexivos entre camadas da atmosfera.

É interessante observar que, devido as menores frequências, os sinais por AM são mais graves que os sinais por FM. Isso faz com que a transmissão em AM tenha mais dificuldades para transmitir sinais agudos, o que interfere diretamente na transmissão de músicas. Desta forma, as rádios em AM são mais dedicadas na transmissão de informações jornalísticas enquanto as rádios em FM são mais dedicadas para transmissão de músicas.

02. Incorreta. As ondas de rádio são ondas eletromagnéticas; portanto, da mesma natureza das ondas luminosas (luz visível). As transmissões em AM costumam apresentar muito ruído e isso é decorrente da interferência de outras ondas eletromagnéticas.

04. Correta, conforme explicado no item 01.

08. Incorreta. As ondas curtas possuem frequências na faixa de MHz e, portanto, possuem baixo alcance. A velocidade da onda independe da sua frequência pois, ao se classificar como uma onda eletromagnética, sua velocidade é constante e vale 3×10^8 m/s.

16. Incorreta. Sim, poderiam. As ondas de rádio podem se propagar pelo espaço; caso contrário, não seria possível visualizar a luz

emitida por estrelas.

32. Incorreta. Sim, poderiam. A resposta é igual a apresentada no item 16.

Portanto, a soma dos itens corretos é 5.

Problema 10

(ENEM) Para que uma substância seja colorida, ela deve absorver luz na região do visível. Quando uma amostra absorve luz visível, a cor que percebemos é a soma das cores restantes que são refletidas ou transmitidas pelo objeto. A figura 8 mostra o espectro de absorção para uma substância e é possível observar que há um comprimento de onda em que a intensidade de absorção é máxima. Um observador pode prever a cor dessa substância pelo uso da roda de cores (figura 9): o comprimento de onda correspondente à cor do objeto é encontrado no lado oposto ao comprimento de onda da absorção máxima.

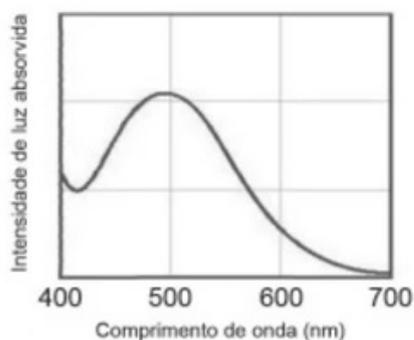


Figura 8: Diagrama da intensidade de luz absorvida em função do comprimento de onda.

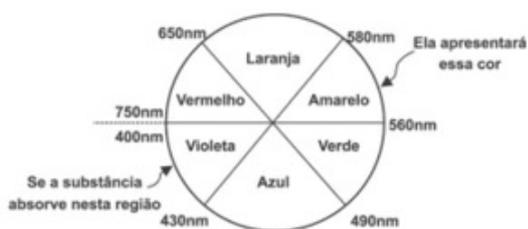


Figura 9: Roda de cores utilizada para prever a cor das substâncias.

Fonte: Brown, T. Química a Ciência Central. 2005 (adaptado).

Qual a cor da substância que deu origem ao

espectro da figura 8?

- (a) Azul
- (b) Verde
- (c) Violeta
- (d) Laranja
- (e) Vermelho

RESOLUÇÃO: O espectro da figura 8 mostra que existe um pico de absorção 500 nm. Pela roda de cores apresentada na figura 9 é possível concluir que a substância é vermelha. O comprimento de onda absorvido em 500 nm refere-se ao verde e do lado oposto encontra-se a cor refletida pela substância (vermelho). Assim, a alternativa correta é o item (e).

Problema 11

(UFPR) O primeiro forno de microondas foi patenteado no início da década de 1950 nos Estados Unidos pelo engenheiro eletrônico Percy Spence. Fornos de micro-ondas mais práticos e eficientes foram desenvolvidos nos anos 1970 e a partir daí ganharam grande popularidade, sendo amplamente utilizados em residências e no comércio. Em geral, a frequência das ondas eletromagnéticas geradas em um forno de microondas é de 2450 MHz. Em relação à Física de um forno de microondas, considere as seguintes afirmativas:

1. Um forno de microondas transmite calor para assar e esquentar alimentos sólidos e líquidos.
2. O comprimento de onda dessas ondas é de aproximadamente 12,2 cm.
3. As ondas eletromagnéticas geradas ficam confinadas no interior do aparelho, pois sofrem reflexões nas paredes metálicas do forno e na grade metálica que recobre o vidro da porta.

Assinale a alternativa **correta**.

- (a) Somente a afirmativa 1 é verdadeira
- (b) Somente a afirmativa 2 é verdadeira
- (c) Somente a afirmativa 3 é verdadeira
- (d) Somente as afirmativas 1 e 2 são verdadeiras
- (e) Somente as afirmativas 2 e 3 são verdadeiras

RESOLUÇÃO:

1. Incorreta. A microonda, ao ser absorvida,

aumenta a vibração das moléculas que compõe os sólidos e a vibração e translação das moléculas que compõe os líquidos, ocasionando no aumento da temperatura do sólido e líquido, respectivamente.

2. Correta. Para calcular o comprimento de onda, basta utilizar a equação:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2450 \times 10^6} = 12,2 \text{ cm}$$

3. Correta. Devido ao elevado comprimento de onda, os metais não absorvem a microonda e são refletidas, o que ocasiona no confinamento dentro do equipamento. É por isso também que não se pode utilizar utensílios domésticos metálicos dentro do forno.

Portanto, a alternativa correta é o item (e).

- (c) no efeito fotoelétrico
- (d) no princípio de Huygens
- (e) na hipótese de Broglie

RESOLUÇÃO: Efeito Doppler da luz.

COLABORADORES DESTA AULA

- **Texto:**
Diego Alexandre Duarte
- **Diagramação:**
Diego Alexandre Duarte
- **Revisão:**
Maria Simone Kugeratski Souza
Caroline Ruella Paiva Torres

2.1 Efeito Doppler da luz

Assim como o efeito Doppler do som, existe também o efeito Doppler da luz. Considere uma fonte emissora de radiação visível como, por exemplo, uma estrela ou galáxia. Pelo efeito Doppler da luz, essa fonte emitirá cores mais no azul ou violeta (baixo comprimento de onda e alta frequência) a medida que sua velocidade de aproximação, em relação ao observador, aumenta para valores próximos da velocidade da luz. Se a fonte está se afastando do observador com velocidades próximas da velocidade da luz, a luz emitida pela fonte torna-se mais próxima do vermelho (alto comprimento de onda e baixa frequência). Esse fenômeno é conhecido como *redshift* (deslocamento para o vermelho). O efeito Doppler da luz é muito importante na astronomia, pois com ele é possível determinar se uma fonte de luz está se afastando ou se aproximando da Terra.

Exercício 2

(UFU) Observando-se o espectro da luz emitida por galáxias distantes, observou-se uma variação de cores. A frequência das cores recebidas está diminuindo, aproximando-se da frequência da luz vermelha, o que indica um afastamento da fonte emissora das radiações. Assim, os cientistas concluíram que as galáxias estão se afastando de nós com grande velocidade. Os cientistas chegaram a essa conclusão, baseando-se:

- (a) no efeito Doppler
- (b) na lei de Coulomb

Referências Bibliográficas

- Brasil Escola: O que é espectro eletromagnético?* (2020). URL: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-espectro-eletromagnetico.htm> (acesso em 11/06/2020).
- Halliday, D., R. Resnick e J. Walker (2009). *Fundamentos de Física 2 (Gravitação, Ondas e Termodinâmica)*. Vol. 2. Rio de Janeiro: LTC.
- R. Helerbrock, *Brasil Escola: O que é efeito Doppler?* (2020). URL: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-efeito-doppler.htm> (acesso em 07/07/2020).
- Standing Waves and Resonance: Chapter 14 - Transmission Lines* (2020). URL: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-14/standing-waves-and-resonance/> (acesso em 13/07/2020).
- Toda Matéria: Ondas Eletromagnéticas* (2020). URL: <https://www.todamateria.com.br/ondas-eletromagneticas/> (acesso em 09/07/2020).

3 Lista de Problemas

1. (UFSC) Em relação às ondas e aos fenômenos ondulatórios, assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.
 01. A variação da frequência das ondas percebidas por um observador, devido ao movimento relativo entre este e a fonte geradora das ondas, é explicada pelo efeito Doppler.
 02. Uma onda, que se propaga em determinado meio, terá uma velocidade que depende deste meio e uma frequência definida pela fonte da

onda.

04. A velocidade de uma onda em um determinado meio é de 120 m/s, para uma frequência de 60 Hz. Dobrando a frequência, a velocidade da onda neste meio também dobra.

08. Dois instrumentos musicais, emitindo a mesma nota musical, são diferenciados um do outro pela altura do som.

16. A refração é caracterizada pela mudança de direção de propagação da onda ao mudar de meio.

2. (UFSC) Os raios-X são ondas eletromagnéticas que, por suas características peculiares, começaram a ser utilizados na medicina apenas alguns meses após a sua descoberta. Hoje, suas aplicações são muito mais amplas, pois se estendem de consultórios odontológicos, nos quais são utilizados aparelhos que operam com uma tensão da ordem de 50 kV, até aeroportos.

Sobre os raios-X, é **CORRETO** afirmar que:

- 01.** Foram detectados pela primeira vez em 1895, pelo cientista alemão Röntgen, quando trabalhava com um tubo de raios catódicos.
- 02.** Receberam este nome porque formavam um X quando eram detectados.
- 04.** Como eles têm pouco poder de penetração, para que um operador de máquina de raios-X tenha proteção adequada é suficiente que fique atrás de uma fina barreira de madeira.
- 08.** Um dos efeitos biológicos possíveis da exposição aos raios-X é a morte celular.
- 16.** Permanecem no corpo humano, criando um efeito cumulativo, incrementado a cada nova exposição.
3. (UFSC) As apresentações no Circo da Física se encerram de forma triunfal com a orquestra de cientistas. Nesse espetáculo, os músicos usam máscaras e roupas para homenagear grandes nomes da Física. Isaac Newton e Albert Einstein, por exemplo, tocam trompa e flauta, respectivamente. No quadro abaixo, estão os nomes dos cientistas homenageados, os instrumentos que tocam e suas características sonoras.

Cientista	Instrumento	Imagem	Característica sonora
Albert Einstein	Flauta de Pan		Instrumento de sopro (Tubo fechado)
Isaac Newton	Trompa		Instrumento de sopro (Tubo aberto)
Michael Faraday	Trompete		Instrumento de sopro (Tubo aberto)
Nikola Tesla	Saxofone		Instrumento de sopro (Tubo aberto)
Max Planck	Violino		Instrumento de corda
Marie Curie	Contrabaixo		Instrumento de corda
Gaillieu Gailliei	Harpa		Instrumento de corda

Com base no quadro, é correto afirmar que:

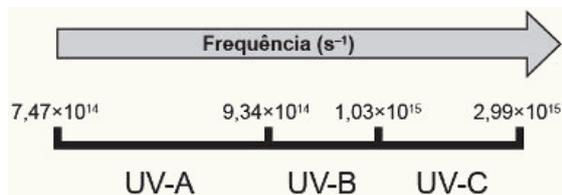
- 01.** mesmo que todos os instrumentos musicais toquem a mesma nota, podemos distingui-los por causa de suas intensidades sonoras.
- 02.** no saxofone, a onda estacionaria produzida possui ventres nas duas extremidades do tubo.
- 04.** duas notas musicais distintas, por exemplo Lá e Fá, tocadas por um mesmo instrumento possuem frequências diferentes.
- 08.** em todos os instrumentos musicais, as ondas estacionárias são produzidas devido aos fenômenos da refração e da interferência.
- 16.** as ondas sonoras produzidas pelos instrumentos de sopro possuem maior velocidade no ar do que as ondas sonoras produzidas pelos instrumentos de corda.
- 32.** na flauta de Pan, os comprimentos dos tubos definem as amplitudes das ondas sonoras produzidas.
- 64.** as ondas sonoras produzidas pelos instrumentos musicais não podem ser polarizadas porque são ondas longitudinais.
4. (ENEM) As ondas eletromagnéticas, como a luz visível e as ondas de rádio, viajam em linha reta em um meio homogêneo. Então, as ondas de rádio emitidas na região litorânea do Brasil não alcançariam a região amazônica do Brasil por causa da curvatura da Terra. Entretanto sabemos que é possível transmitir ondas de rádio entre essas duas localidades em virtude da ionosfera.

Com a ajuda da ionosfera, a transmissão de ondas planas entre o litoral do Brasil e a região amazônica é possível por meio da:

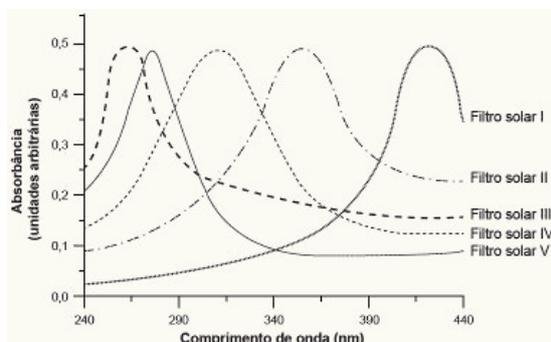
- (a) Reflexão
 (b) Refração
 (c) Difração

- (d) Polarização
(e) Interferência

5. (ENEM) A radiação ultravioleta (UV) é dividida, de acordo com três faixas de frequência, em UV-A, UV-B e UV-C, conforme a figura.



Para selecionar um filtro solar que apresente absorção máxima na faixa UV-B, uma pessoa analisou os espectros de absorção da radiação UV de cinco filtros solares:



Considere: velocidade da luz = $3,0 \times 10^8$ m/s e $1 \text{ nm} = 1,0 \times 10^{-9}$ m. O filtro solar que a pessoa deve selecionar é o:

- (a) V
(b) IV
(c) III
(d) II
(e) I
6. (ENEM) Ao ouvir uma flauta e um piano emitindo a mesma nota musical, consegue-se diferenciar esses instrumentos um do outro. Essa diferenciação se deve principalmente ao (a)
- (a) intensidade sonora de cada instrumento musical.
(b) potência sonora do som emitido pelos diferentes instrumentos musicais.
(c) diferente velocidade de propagação do som emitido por cada instrumento musical.
(d) timbre do som, que faz com que os formatos das ondas de cada instrumento sejam diferentes.
(e) altura do som, que possui diferentes frequências para diferentes instrumentos musicais.

7. (UFJF) Um alarme de segurança, que está fixo, é acionado, produzindo um som com uma frequência de 735 Hz. Considere a velocidade do som no ar como sendo de 343 m/s. Quando uma pessoa dirige um carro em direção ao alarme e depois se afasta dele com a mesma velocidade, observa uma mudança na frequência de 78,4 Hz.

(a) A frequência ouvida pela pessoa quando ela se aproxima da sirene, é maior ou menor do que ouviria se ela estivesse parada? Justifique.

(b) Qual é o módulo da velocidade do carro?

8. (ACAFE) A previsão do tempo feita em noticiários de TV e jornais costuma exibir mapas mostrando áreas de chuva forte. Esses mapas são, muitas vezes, produzidos por um radar Doppler, que tem tecnologia muito superior à do radar convencional. Os radares comuns podem indicar apenas o tamanho e a distância de partículas, tais como gotas de chuva. O radar Doppler é capaz, além disso, de registrar a velocidade e a direção na qual as partículas se movimentam, fornecendo um quadro do fluxo do vento em diferentes elevações.

Fonte: Revista Scientific American Brasil, seção: Como funciona. Ano 1, número 8, Jan 2003, p. 90-91. (Adaptado).

O radar Doppler funciona com base no fenômeno da:

(a) difração das ondas e na diferença de direção das ondas difratadas.

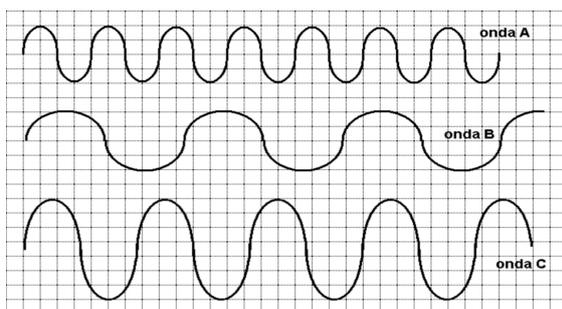
(b) refração das ondas e na diferença de velocidade das ondas emitidas e refratadas.

(c) reflexão das ondas e na diferença de frequência das ondas emitidas e refletidas.

(d) interferência das ondas e na diferença entre uma a interferência construtiva e destrutiva.

9. (ITA) Um violinista deixa cair um diapasão de frequência 440 Hz. A frequência que o violinista ouve na iminência do diapasão tocar no chão é 436 Hz. Determine a altura da queda, desprezando a resistência do ar. Dado: velocidade do som = 330 m/s.

10. (UDESC) Na figura a seguir estão representadas, fora de ordem, as seguintes ondas sonoras: a emitida por uma fonte estacionária; a refletida por um veículo que se aproxima dessa fonte; e a refletida por um veículo que se afasta dessa fonte.



Analise as proposições sobre essas ondas sonoras.

- I. A onda B é a de menor amplitude.
- II. A onda A é a de menor frequência.
- III. Sendo λ o comprimento de onda, então, $\lambda_B > \lambda_C > \lambda_A$.
- IV. Um observador junto à fonte detecta o efeito Doppler nas ondas A e B.

Assinale a alternativa correta.

- (a) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
- (b) Somente as afirmativas III e IV são verdadeiras.
- (c) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- (d) Somente as afirmativas II e IV são verdadeiras.
- (e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

11. (UDESC) Analise as proposições em relação ao efeito de polarização das ondas eletromagnéticas.

I. A polarização é uma característica das ondas transversais.

II. A polarização é uma característica das ondas longitudinais.

III. Os óculos de sol são exemplos de filtros polarizadores e aumentam a intensidade da radiação incidente.

IV. Os óculos de sol são exemplos de filtros polarizadores e reduzem a intensidade da radiação incidente.

Assinale a alternativa **correta**.

- (a) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- (b) Somente as afirmativas I e IV são verdadeiras.
- (c) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
- (d) Somente as afirmativas II e IV são verdadeiras.
- (e) Somente a afirmativa III é verdadeira.

12. (UDESC) Analise as proposições relacionadas aos fenômenos ondulatórios.

I. A onda sonora é uma onda transversal que se propaga no vácuo com uma velocidade menor do que a velocidade da luz.

II. O efeito Doppler ocorrerá, em qualquer tipo de fenômeno ondulatório, sempre que a frequência aparente da onda, percebida pelo observador, for diferente da frequência real da onda emitida pela fonte.

III. Todas as ondas eletromagnéticas possuem a mesma frequência de oscilação, porém diferentes comprimentos de onda.

Assinale a alternativa correta:

- (a) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- (b) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
- (c) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- (d) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- (e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

13. (UDESC) Uma fonte emite ondas sonoras com frequência f_0 quando em repouso em relação ao ar. Esta fonte move-se com velocidade constante V em direção a uma parede que reflete totalmente as ondas sonoras que nela incidem. Considerando-se que o ar esteja em repouso em relação ao solo, e que v_S seja a velocidade do som no ar, assinale a alternativa que fornece a frequência recebida pela fonte.

(a) $f_0 \left(\frac{v_S + V}{v_S - V} \right)$

(b) $f_0 \left(\frac{v_S + V}{v_S + V} \right)$

(c) $f_0 \left(\frac{v_S - V}{v_S - V} \right)$

(d) $f_0 \left(\frac{v_S - V}{v_S + V} \right)$

(e) $f_0 \left(\frac{V}{v_S - V} \right)$

14. (UDESC) Analise as proposições com relação às ondas eletromagnéticas e às ondas sonoras.

I. As ondas eletromagnéticas podem se propagar no vácuo e as ondas sonoras necessitam de um meio material para se propagar.

II. As ondas eletromagnéticas são ondas transversais e as ondas sonoras são ondas longitudinais.

III. Ondas eletromagnéticas correspondem a oscilações de campos elétricos e de campos magnéticos perpendiculares entre si, enquanto as ondas sonoras correspondem a oscilações das partículas do meio material pelo qual as ondas sonoras se propagam.

IV. As ondas eletromagnéticas sempre se propagam com velocidades menores do que as ondas sonoras.

V. As ondas eletromagnéticas, correspondentes à visão humana, estão na faixa de frequências de 20 Hz a 20.000 Hz, aproximadamente, e as ondas sonoras, correspondentes à região da audição humana, estão na faixa de frequência 420 THz a 750 THz, aproximadamente.

4 Gabarito

1. Soma dos itens corretos: 3. Item 01: Correto. Item 02: Correto. Item 04: Incorreto. Item 08: Incorreto. Item 16: Incorreto.
2. Soma dos itens corretos: 9. Item 01: Correto. Item 02: Incorreto. Item 04: Incorreto. Item 08: Correto. Item 16: Incorreto.
3. Soma dos itens corretos: 70. Item 01: Incorreto. Item 02: Correto. Item 04: Correto. Item 08: Incorreto. Item 16: Incorreto. Item 32: Incorreto. Item 64: Correto.
4. Item (a): Reflexão.
5. Item (b): IV.
6. Item (d): timbre do som, que faz com que os formatos das ondas de cada instrumento sejam diferentes.
7. (a) A frequência recebida aumenta conforme se aproxima e diminui conforme se afasta da sirene, como prevê o efeito Doppler do som. (b) 18,6 m/s.
8. Item (c): reflexão das ondas e na diferença de frequência das ondas emitidas e refletidas.
9. $\approx 0,45$ m.
10. Item (b): Somente as afirmativas III e IV são verdadeiras.
11. Item (b): Somente as afirmativas I e IV são verdadeiras.
12. Item (a): Somente a afirmativa II é verdadeira.
13. Item (a): $f_0 \left(\frac{v_s + V}{v_s - V} \right)$
14. Item (e): Somente as afirmativas I, II e III são verdadeiras.