

RESOLUÇÕES

01. (Enem cancelado 2009) Os radares comuns transmitem micro-ondas que refletem na água, gelo e outras partículas na atmosfera. Podem, assim, indicar apenas o tamanho e a distância das partículas, tais como gotas de chuva. O radar Doppler, além disso, é capaz de registrar a velocidade e a direção na qual as partículas se movimentam, fornecendo um quadro do fluxo de ventos em diferentes elevações.

Nos Estados Unidos, a Nexrad, uma rede de 158 radares Doppler, montada na década de 1990 pela Diretoria Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA), permite que o Serviço Meteorológico Nacional (NWS) emita alertas sobre situações do tempo potencialmente perigosas com um grau de certeza muito maior. O pulso da onda do radar ao atingir uma gota de chuva, devolve uma pequena parte de sua energia numa onda de retorno, que chega ao disco do radar antes que ele emita a onda seguinte. Os radares da Nexrad transmitem entre 860 a 1300 pulsos por segundo, na frequência de 3000 MHz.

FISCHETTI, M., Radar Meteorológico: Sinta o Vento. *Scientific American Brasil*. nº- 08, São Paulo, jan. 2003.

No radar Doppler, a diferença entre as frequências emitidas e recebidas pelo radar é dada por $\Delta f = (2u_r/c)f_0$ onde u_r é a velocidade relativa entre a fonte e o receptor, $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s é a velocidade da onda eletromagnética, e f_0 é a frequência emitida pela fonte. Qual é a velocidade, em km/h, de uma chuva, para a qual se registra no radar Doppler uma diferença de frequência de 300 Hz?

- a) 1,5 km/h.
- b) 5,4 km/h.
- c) 15 km/h.
- d) 54 km/h.
- e) 108 km/h.

Resposta: D

Dados: $c = 3 \times 10^8$ m/s; $f_0 = 3.000$ MHz = 3×10^9 Hz; $f = 300$ Hz. Da expressão dada:

$$f = \frac{2 u_r}{c} f_0 \Rightarrow u_r = \frac{f c}{2 f_0} \Rightarrow u_r = \frac{3 \times 10^2 \times 3 \times 10^8}{2 \times 3 \times 10^9} \Rightarrow v = 15 \text{ m/s} \Rightarrow v = 54 \text{ km/h.}$$

TEXTO PARA AS PRÓXIMAS 2 QUESTÕES:

Todos os métodos de diagnose médica que usam ondas ultrassônicas se baseiam na reflexão do ultrassom nas interfaces (superfícies de separação entre dois meios) ou no efeito Doppler produzido pelos movimentos dentro do corpo. A informação diagnóstica sobre a profundidade das estruturas no corpo pode ser obtida enviando um pulso de ultrassom através do corpo e medindo-se o intervalo de tempo entre o instante de emissão do pulso e o de recepção do eco. Uma das aplicações do efeito Doppler é examinar o movimento das paredes do coração, principalmente dos fetos. Para isso, ondas ultrassônicas de comprimentos de onda de 0,3 mm são emitidas na direção do movimento da parede cardíaca. Como boa aproximação, a velocidade do ultrassom no corpo humano vale 1500 m/s.

02. (Ueg 2010 - MODIFICADA) Se em um exame Doppler a velocidade de movimento de uma parede cardíaca for de 7,5 cm/s, qual será a variação da frequência observada devido ao efeito Doppler?

- a) 300 MHz
- b) 400 MHz
- c) 500 MHz
- d) 600 MHz

Resposta: C

Há um ponto crucial que sequer foi mencionado pelo examinador: uma parede do coração pode fazer diversos tipos de movimento, em diferentes direções. Ao fazer a estimativa da velocidade de uma parede, deve-se levar em conta a angulação entre a direção do feixe de ultrassom e a direção do movimento da parede. Se o ângulo for diferente de 0 graus, o aparelho de ultrassom irá subestimar a velocidade do tecido cardíaco!

Dados: $v_{\text{som}} = 1.500$ m/s; $\lambda = 0,3$ mm = 3×10^{-4} m; $v_{\text{fonte}} = \pm 7,5$ cm/s = $\pm 7,5 \times 10^{-2}$ m/s.

Calculemos a frequência do ultrassom emitido.

Da equação fundamental da ondulatória:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{1.500}{3 \times 10^{-4}} = 5 \times 10^6 \text{ Hz.}$$

A frequência original (5×10^6 Hz) emitida pelo aparelho é refletida pela parede cardíaca. Para a volta da onda ultrassônica a parede cardíaca funciona como fonte emissora e o aparelho como receptor.

Lembrando a expressão do efeito Doppler, a frequência detectada pelo aparelho (f_{ap}) na recepção do ultrassom refletido

$$\text{é: a } f_{\text{ap}} = \frac{v_{\text{som}} \pm v_{\text{rec}}}{v_{\text{som}} \mp v_{\text{fonte}}} f.$$

A velocidade do receptor, $v_{\text{rec}} = 0$, pois o aparelho está em repouso. A velocidade da fonte é positiva (+) quando há afastamento relativo e negativa (-) quando há aproximação relativa.

Temos que considerar os dois movimentos: sístole e diástole.

Na sístole há afastamento relativo entre a parede (fonte) e aparelho (receptor). A frequência detectada é menor que a frequência real. Assim ($v_{\text{fonte}} > 0$):

$$f_{\text{ap}}^{\text{sist}} = \frac{1.500}{1.500 + 7,5 \times 10^{-2}} 5 \times 10^6 = \frac{1.500}{1.500,075} 5 \times 10^6 = 4.999.750 \text{ Hz.}$$

Na diástole há aproximação relativa entre a parede (fonte) e aparelho (receptor). A frequência detectada é maior que a frequência real. Assim ($v_{\text{fonte}} < 0$):

$$f_{\text{ap}}^{\text{diast}} = \frac{1.500}{1.500 - 7,5 \times 10^{-2}} 5 \times 10^6 = \frac{1.500}{1.499,925} 5 \times 10^6 = 5.000.250$$

A variação da frequência na sístole é:

$$\Delta f^{\text{sist}} = 4.999.750 - 5.000.000 = -250 \text{ Hz (para menos).}$$

A variação da frequência na diástole é:

$$\Delta f^{\text{diast}} = 5.000.250 - 5.000.000 = 250 \text{ Hz (para mais).}$$

Considerando essas duas variações, 250 para menos e 250 para mais, a variação total é, em módulo:

$$\Delta f = 500 \text{ Hz.}$$

PROFESSOR DANILO

ATIVIDADE DE RECUPERAÇÃO – FRENTE 2/AULAS 5 E 6 – SEGUNDO ANO – 3º BIMESTRE DE 2019

03. (Ueg 2010) Num exame oftalmológico, detectou-se um eco proveniente de um elemento estranho no humor vítreo. O intervalo de tempo entre o pulso emitido e o eco recebido foi de 0,01 ms. A que distância da córnea se localiza o corpo estranho?

- a) 0,45 cm
b) 0,55 cm
c) 0,65 cm
d) 0,75 cm

Resposta: D

Dados: $v = 1.500 \text{ m/s}$; $\Delta t = 0,01 \text{ ms} = 10^{-5} \text{ s}$.

Como se trata de reflexão, a distância percorrida pelo pulso sonoro é $2d$ (ida e volta), onde d é a distância pedida.

Da Cinemática: $\Delta S = v\Delta t \Rightarrow 2d = 1.500 \times 10^{-5} \Rightarrow d = \frac{1.500 \times 10^{-5}}{2} = 7,5 \times 10^{-3} \text{ m} \Rightarrow d = 0,75 \text{ cm}$.

04. (Ufes 2010) O efeito Doppler é uma modificação na frequência detectada por um observador, causada pelo movimento da fonte e/ou do próprio observador. Quando um observador se aproxima, com velocidade constante, de uma fonte de ondas sonora em repouso, esse observador, devido ao seu movimento, será atingido por um número maior de frentes de ondas do que se permanecesse em repouso.

Considere um carro trafegando em uma estrada retilínea com velocidade constante de módulo 72 km/h . O carro se aproxima de uma ambulância em repouso à beira da estrada. A sirene da ambulância está ligada e opera com ondas sonoras de comprimento de onda de $\lambda = 50 \text{ cm}$. A velocidade de propagação do som no local é $v = 340 \text{ m/s}$.

- a) Calcule a frequência do som emitido pela sirene da ambulância.
b) Calcule o número total de frentes de ondas que atinge o motorista do carro em um intervalo de tempo $\Delta t = 3 \text{ s}$.
c) Calcule a frequência detectada pelo motorista do carro em movimento.

Resposta:

a) Dados: $v_{\text{som}} = v = 340 \text{ m/s}$; $\lambda = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$.
Da equação fundamental da ondulatória:

$$f_{\text{fonte}} = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{0,5} \Rightarrow f_{\text{fonte}} = 680 \text{ Hz.}$$

b) Dados: $v_{\text{fonte}} = 0$; $v_{\text{ouvinte}} = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$.

1ª Solução:

A frequência aparente (f_{ap}) percebida pelo motorista da ambulância (ouvinte) é dada pela expressão do efeito Doppler:

$$f_{\text{ap}} = \frac{v_{\text{som}} + v_{\text{ouvinte}}}{v_{\text{som}} + v_{\text{fonte}}} f$$

Substituindo valores:

$$f_{\text{ap}} = \frac{340 + 20}{340 + 0} 680 \Rightarrow f_{\text{ap}} = 720 \text{ Hz.}$$

Esse valor significa que o motorista recebe 720 frentes de onda por segundo. Em três segundos, a quantidade de frentes de ondas (**N**) recebidas é:

$$N = 3(720) \Rightarrow N = 2.160.$$

2ª Solução:

Num intervalo de tempo (Δt) o espaço percorrido pelo som é:

$\Delta S = v\Delta t$. Nesse espaço, cabe uma quantidade de comprimentos de onda (n_1), sendo:

$$n_1 = \frac{\Delta S}{\lambda} = \frac{v\Delta t}{\lambda}$$

O mesmo raciocínio pode ser usado para o motorista (ouvinte) que se aproxima da fonte. Então, devido ao seu movimento, ele recebe uma quantidade de frente de ondas (n_2), sendo:

$$n_2 = \frac{v_{\text{ouvinte}}\Delta t}{\lambda}$$

A quantidade total de frentes de onda recebidas (**n**) é:

$$n = n_1 + n_2 = \frac{v\Delta t}{\lambda} + \frac{v_{\text{ouvinte}}\Delta t}{\lambda} = \frac{(v + v_{\text{ouvinte}})\Delta t}{\lambda} \Rightarrow n = \frac{340 + 20}{0,5} 3 \Rightarrow n = 2.160.$$

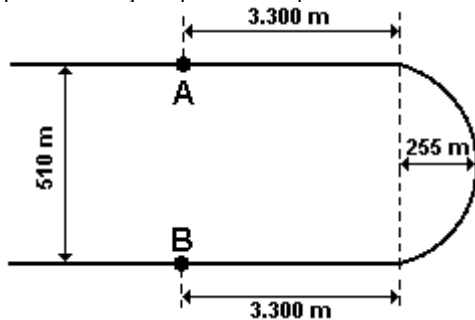
c) Já calculado no item anterior, a frequência detectada pelo motorista é a frequência aparente:

$$f_{\text{ap}} = 720 \text{ Hz.}$$

PROFESSOR DANILO

ATIVIDADE DE RECUPERAÇÃO – FRENTE 2/AULAS 5 E 6 – SEGUNDO ANO – 3º BIMESTRE DE 2019

05. (Fuvest 1994) Um trecho dos trilhos de aço de uma ferrovia tem a forma e as dimensões dadas a seguir. Um operário bate com uma marreta no ponto A dos trilhos. Um outro trabalhador, localizado no ponto B, pode ver o primeiro, ouvir o ruído e sentir com os pés as vibrações produzidas pelas marretadas no trilho.



a) supondo que a luz se propague instantaneamente, qual o intervalo de tempo Δt decorrido entre os instantes em que o trabalhador em B vê uma marretada e ouve o seu som?

b) Qual a velocidade de propagação do som no aço, sabendo-se que o trabalhador em B, ao ouvir uma marretada, sente simultaneamente as vibrações no trilho?

Dado: a velocidade do som no ar é de 340 m/s. Para fazer as contas use $\pi = 3$.

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

O radar é um dos dispositivos mais usados para coibir o excesso de velocidade nas vias de trânsito. O seu princípio de funcionamento é baseado no efeito Doppler das ondas eletromagnéticas refletidas pelo carro em movimento.

Considere que a velocidade medida por um radar foi $V_m = 72 \text{ km/h}$ para um carro que se aproximava do aparelho.

06. (Unicamp 2011) Para se obter V_m o radar mede a diferença de frequências Δf , dada por $\Delta f = f - f_0 = \pm \frac{V_m}{c} f_0$, sendo f a frequência

da onda refletida pelo carro, $f_0 = 2,4 \times 10^{10} \text{ Hz}$ a frequência da onda emitida pelo radar e $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ a velocidade da onda eletromagnética. O sinal (+ ou -) deve ser escolhido dependendo do sentido do movimento do carro com relação ao radar, sendo que, quando o carro se aproxima, a frequência da onda refletida é maior que a emitida.

Pode-se afirmar que a diferença de frequência Δf medida pelo radar foi igual a

- 1600 Hz.
- 80 Hz.
- 80 Hz.
- 1600 Hz.

Resposta:

- 1,5 s
- 4910 m/s

Resposta: A

Dados: $f_0 = 2,4 \times 10^{10} \text{ Hz}$; $v = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$; $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

Analisando a expressão dada: $\Delta f = f - f_0 = \pm \frac{V_m}{c} f_0$. Como o carro se aproximava, de acordo com o enunciado, a frequência refletida é maior que a emitida ($f > f_0$).

Assim a diferença $\Delta f = f - f_0$ deve ser positiva, ou seja, devemos escolher o sinal (+).

Então:

$$\Delta f = + \frac{V_m}{c} f_0 \Rightarrow \Delta f = \frac{20}{3 \times 10^8} \times 2,4 \times 10^{10} \Rightarrow \Delta f = 1.600 \text{ Hz.}$$

PROFESSOR DANILO ATIVIDADE DE RECUPERAÇÃO – FRENTE 2/AULAS 5 E 6 – SEGUNDO ANO – 3º BIMESTRE DE 2019

07. (G1 - ifsc 2012) O que define a frequência de uma onda, seja mecânica ou eletromagnética, é a fonte. Mas existe uma situação em que a frequência percebida por um observador é diferente da frequência emitida pela fonte. Esta diferença entre a frequência percebida e a emitida é explicada pelo Efeito Doppler. Este fenômeno é consequência do movimento relativo entre fonte e observador.

Vamos analisar a seguinte situação: Uma viatura da polícia se move com velocidade constante, com a sirene ligada, emitindo uma frequência de 900Hz. Um observador parado na calçada observa o movimento da viatura e ouve o som da sirene com uma frequência de 1000Hz. Sabendo que a velocidade do ar é de 340 m/s, é **CORRETO** afirmar que a viatura se:

- a) aproxima do observador com uma velocidade de 68 m/s.
- b) afasta do observador com uma velocidade de 34 m/s.
- c) aproxima do observador com uma velocidade de 37,77 m/s.
- d) afasta do observador com uma velocidade de 37,77 m/s.
- e) aproxima do observador com uma velocidade de 34 m/s.

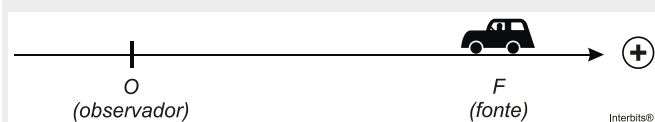
Resposta: E

Como o som ouvido tem frequência maior que o som emitido, há aproximação relativa entre o observador (ouvinte) e a fonte, ou seja, a viatura aproxima-se do observador.

Dados:

- Frequência aparente (ouvida): $f_{ap} = 1.000 \text{ Hz}$;
- Frequência emitida pela fonte: $f_F = 900 \text{ Hz}$;
- Velocidade do observador: $v_O = 0$.
- Velocidade da fonte: $v_F = ?$

De acordo com a expressão do Efeito Doppler, para o referencial adotado na figura:



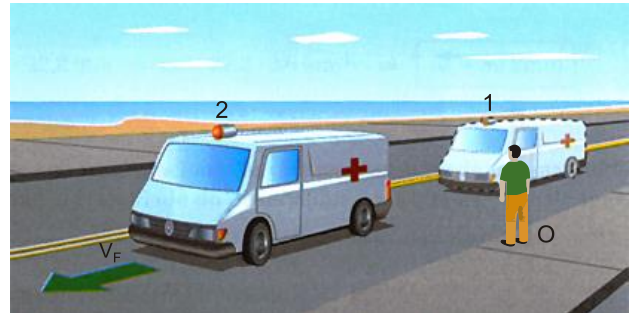
$$f_{ap} = \frac{v + v_O}{v + v_F} f \Rightarrow 1.000 = \frac{340 + 0}{340 + v_F} 900 \Rightarrow \frac{1}{9} = \frac{34}{340 + v_F} \Rightarrow v_F = 306 - 340 \Rightarrow v_F = -34 \text{ m/s.}$$

O sinal negativo indica que o movimento da viatura é em sentido oposto ao adotado, ou seja, aproximando-se do observador.

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Considere um observador **O** parado na calçada de uma rua quando uma ambulância passa com a sirene ligada (conforme a figura). O observador nota que a altura do som da sirene diminui repentinamente depois que a ambulância o ultrapassa. Uma observação mais detalhada revela que a altura sonora da sirene é maior quando a ambulância se aproxima do observador e menor quando a ambulância se afasta. Este fenômeno, junto com outras situações físicas nas quais ele ocorre, é denominado efeito Doppler. (...)

Adaptado de JUNIOR, F. R. *Os Fundamentos da Física*. 8. ed. vol. 2. São Paulo: Moderna, 2003, p. 429)



08. (Uepb 2013) Ainda acerca do assunto tratado no texto, que descreve o Efeito Doppler, resolva a seguinte situação-problema: Considere ainda o observador (conforme a figura) parado na calçada munido de um detector sonoro. Quando uma ambulância passa por ele a uma velocidade constante com a sirene ligada, o observador percebe que o som que ele ouvia teve sua frequência diminuída de 1000 Hz para 875 Hz. Sabendo que a velocidade do som no ar é 333,0 m/s, a velocidade da ambulância que passou pelo observador, em m/s, é

- a) 22,2 b) 23,0 c) 24,6 d) 32,0 e) 36,0

Resposta: A

Aplicando a expressão do efeito Doppler para as duas situações:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Aproximação: } f_{aparente} = \frac{v_{onda} + v_{fonte}}{v_{onda}} f_{fonte} \\ \text{Afastamento: } f_{aparente} = \frac{v_{onda} - v_{fonte}}{v_{onda}} f_{fonte} \end{array} \right\} \div \Rightarrow$$

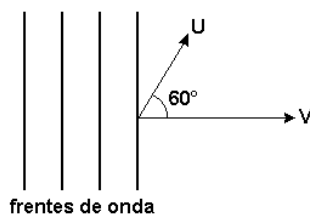
$$\frac{1000}{875} = \frac{333 + v_{fonte}}{333 - v_{fonte}} \Rightarrow$$

$$7(333 + v_{fonte}) = 8(333 - v_{fonte}) \Rightarrow (7 + 8)v_{fonte} = (8 - 7) \cdot 333 \Rightarrow$$

$$v_{fonte} = \frac{333}{15} \Rightarrow$$

$$v_{fonte} = 22,2 \text{ m/s.}$$

09. (Fuvest 2003)



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

Resposta: B