

Cap. 20 – Ondas Progressivas

Ondas Progressivas

- Tipos de ondas com relação ao sentido de deslocamento
 - Ondas transversais
 - Ondas longitudinais
- Tipos de ondas
 - Ondas mecânicas
 - Ondas eletromagnéticas
 - Ondas de matéria

Ondas Progressivas

- **Definição:** meio de propagação de uma onda é a substância através do qual a onda se propaga
- A propagação de onda mecânica perturba as partículas do meio.
 - Movimento ordenado das partículas do meio.
 - Velocidade de propagação de uma onda mecânica **depende do meio apenas.**
- Ex.: velocidade de propagação de onda em cordas

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

T é a tração da corda (unidade N)

μ é a densidade linear da corda (kg/m³)

Ondas Progressivas

- Ondas unidimensionais
 - Função para descrever o deslocamento de um elemento dm situado em x e no instante t
 - Matematicamente: função de 2 variáveis
 - Propriedade da função de onda:

$$f(x, t) = f(x' - vt, t)$$

Ondas Progressivas

- Ondas senoidais
 - Onda produzida por uma fonte que oscila em movimento harmônico simples (MHS)

Definições:

- Comprimento de onda (λ): distância entre duas ondas sucessivas
- Período (T): tempo entre duas ondas sucessivas
- Frequência (f): $f = 1/T$
- Relação fundamental:

$$v = \lambda f$$

Ondas Progressivas

- Acesse http://phet.colorado.edu/sims/wave-on-a-string/wave-on-a-string_en.html

Observe:

- O que é um gráfico-instantâneo? Identifique λ
- Como construir um gráfico-história. Identifique T
- A frequência da onda é igual a frequência da fonte MHS
- Demonstrar que velocidade de propagação da onda não depende:
 - Força aplicada na extremidade da corda
 - Frequência da fonte MHS

Ondas Progressivas

- Função de onda para ondas senoidais

- $f(x, t) = A \operatorname{sen}(kx \pm \omega t + \phi)$

- Onde: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ n° de onda (rad/m)
 $\omega = 2\pi f$ frequência angular (rad/s)
 ϕ constante de fase

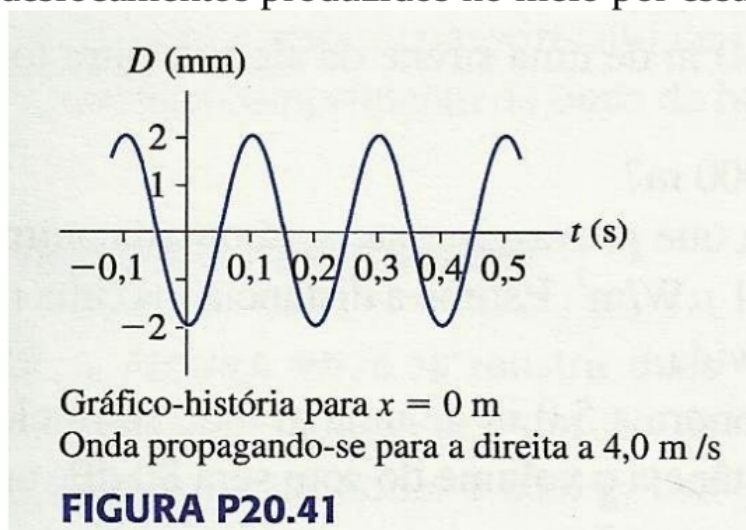
$$\frac{\partial f(x, t)}{\partial t} \quad \text{NÃO É IGUAL A} \quad v = \lambda f$$

Ondas Progressivas

• Exercício 41

ex. 41 A **Figura P20.41** é um gráfico-história, para $x = 0$ m. de uma onda propagando-se a 4.0 m/s no sentido positivo do eixo x .

- a) Qual o comprimento de onda correspondente?
- b) Qual é a constante de fase de onda?
- c) Escreva a equação para os deslocamentos produzidos no meio por essa onda.

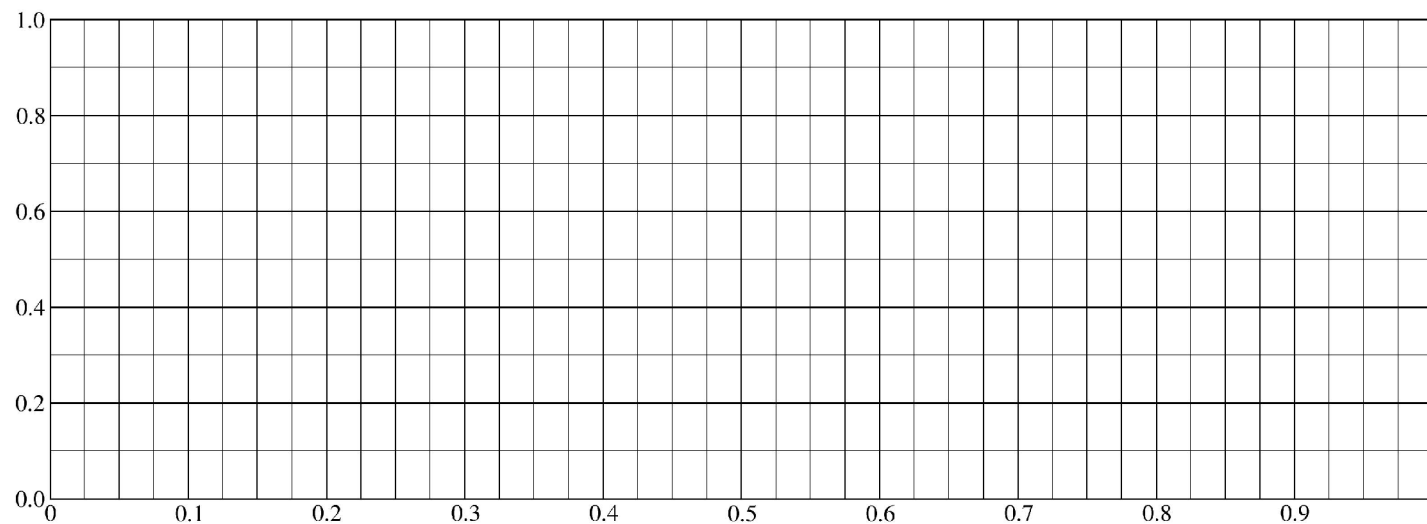


Ondas Progressivas

• Exercício 52

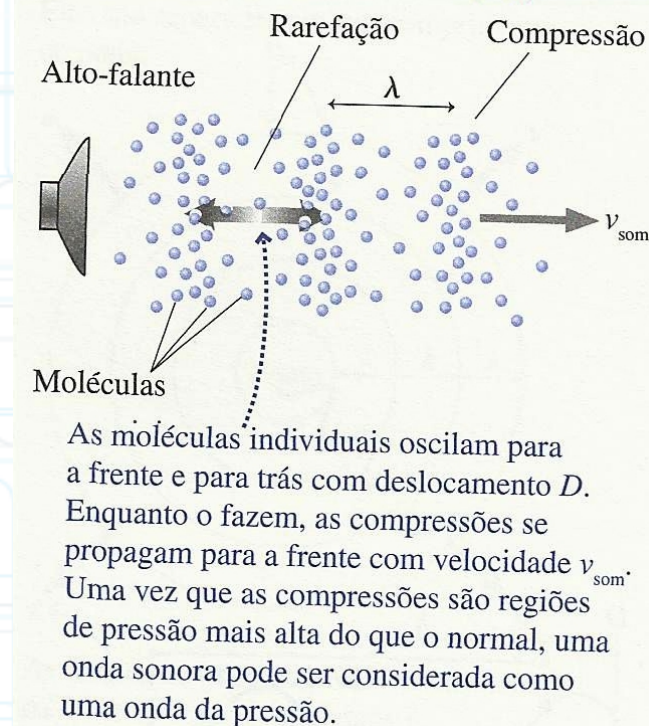
ex. 52 Uma onda sonora é descrita pela função $D(y,t) = (0.0200 \text{ mm}) \sin[(8.96 \text{ rad/m})y + (3140 \text{ rad/s})t + \pi/4 \text{ rad}]$, onde y está em m, e t , em s.

- Em que sentido a onda se propaga?
- Ao longo de que eixo oscilam as partículas do ar?
- Quais são os valores do comprimento de onda, da velocidade de onda e do período de oscilação?
- Desenhe o gráfico da velocidade *versus* tempo correspondente a $D(y = 1.00 \text{ m}, t)$, para $y = 1.00 \text{ m}$, desde $t = 0 \text{ s}$ até $t = 4.00 \text{ ms}$.



Ondas Progressivas

- Ondas Sonoras
 - Propagam-se através de regiões de compressão e rarefação.
 - A velocidade de propagação da onda sonora depende das propriedades do meio



Ondas Progressivas

- Velocidade do som no ar $v_{som} = 343 \text{ m/s}$
- Nos líquidos e sólidos a velocidade de propagação é maior. Por quê?

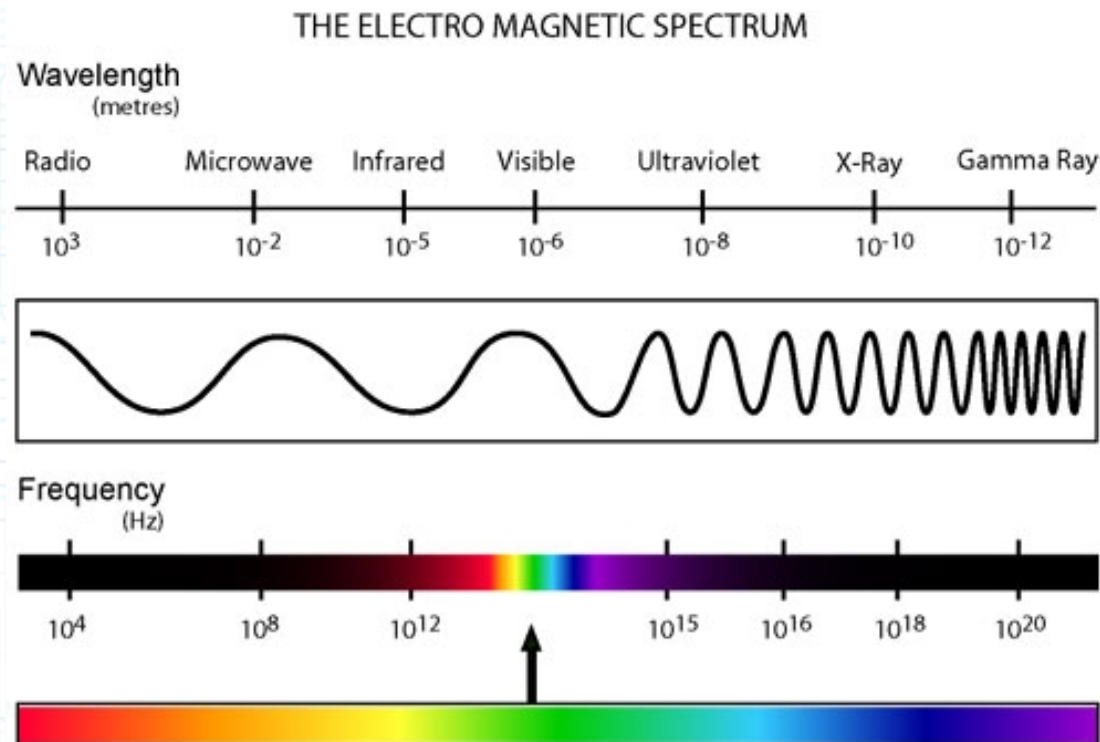
TABELA 20.1 A velocidade do som

Meio	Velocidade (m/s)
Ar (0°)	331
Ar (20°)	343
Álcool etílico	1170
Água	1480
Granito	6000
Alumínio	6420

Ondas Progressivas

- Ondas Eletromagnéticas
 - Velocidade da luz no vácuo = 3.0×10^8 m/s

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



Ondas Progressivas

- Por exemplo, para a cor laranja ($\lambda = 600 \text{ nm}$)

$$f = \frac{v}{\lambda} = 5.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

- Calcule para a cor vermelha ($\lambda = 650 \text{ nm}$), verde ($\lambda = 540 \text{ nm}$) e o azul ($\lambda = 450 \text{ nm}$)

Ondas Progressiva

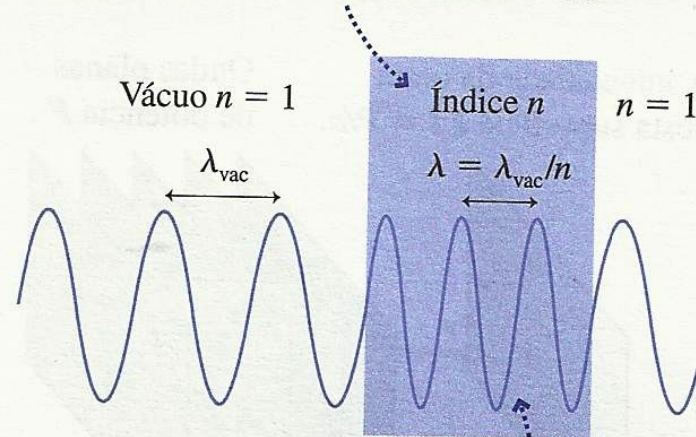
- Ondas de luz diminuem sua velocidade ao atravessar meios transparentes, relacionado com o índice de refração do meio (n)

$$n = \frac{c}{v}$$

TABELA 20.2 Índices de refração típicos

Material	Índice de refração
Vácuo	Exatamente 1
Ar	1,0003
Água	1,33
Vidro	1,50
Diamante	2,42

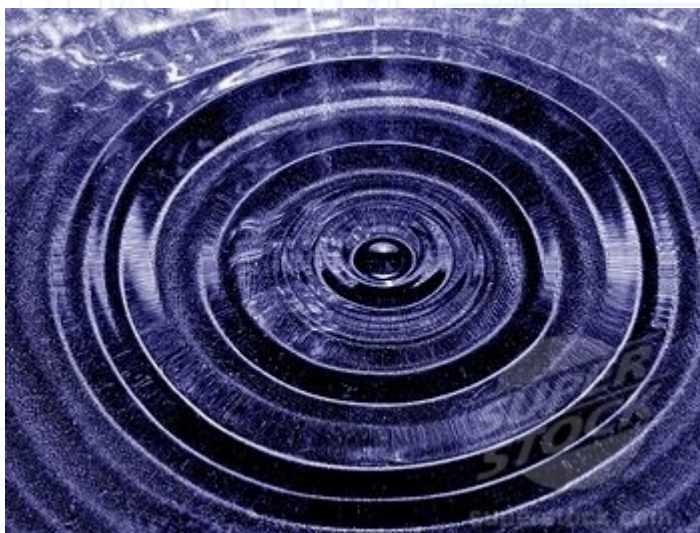
Um material transparente no qual a luz se propaga mais lentamente, com velocidade $v = c/n$



O comprimento de onda dentro do material diminui, mas a frequência não se altera.

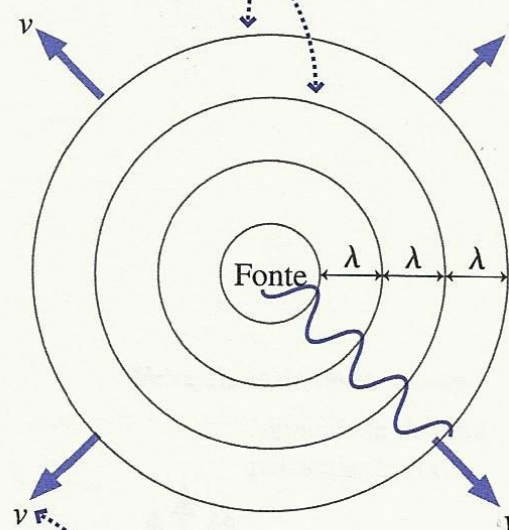
Ondas Progressivas

- Ondas Bidimensionais
 - ex.: ondas formadas por um objeto lançado em um lago
 - Formação de ondas circulares



(a)

As frentes de onda são as cristas da onda. Elas são separadas por um comprimento de onda.



As frentes de onda circulares se afastam da fonte com uma velocidade v .

(b)

Muito distantes da fonte, pequenas secções das frentes de onda parecem ser retas.

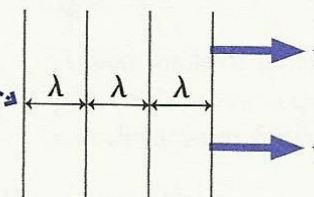


FIGURA 20.18 As frentes de onda de uma onda circular ou esférica.

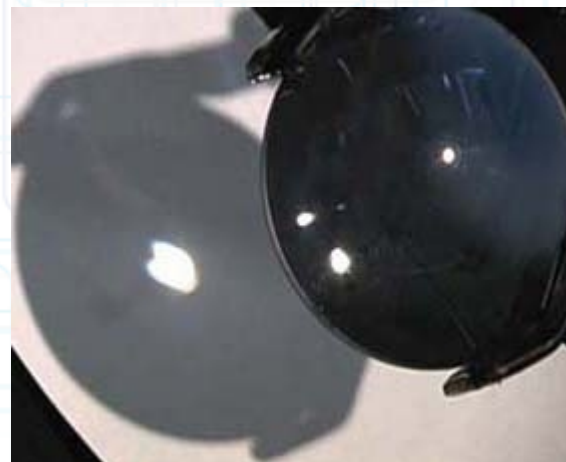
Ondas Progressivas

- Ondas Tridimensionais:
 - ex.: ondas emitidas por uma fonte sonora ou luminosa pontual
 - Ondas esféricas
 - A grandes distâncias, as frentes de onda tornam-se planas → **ondas planas**

Ondas Progressivas

- Potência, Intensidade e Decibels
 - Potência (P) é a taxa de transferência de energia, em Joule por segundo. Unidade = watts
 - Intensidade (I) é a razão potência por área. Unidade W/m^2

$$I = \frac{P}{A}$$



Exemplo de intensidade

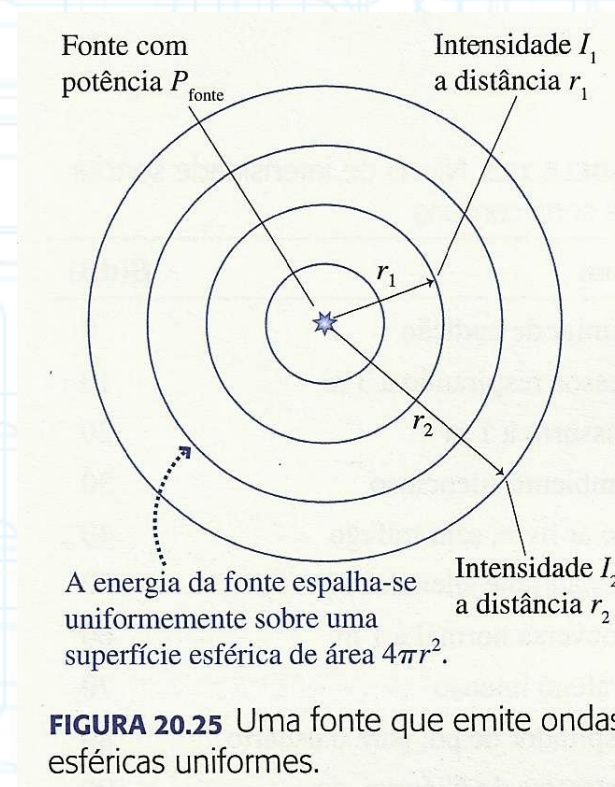
Ondas Progressivas

- A intensidade produzida por uma onda esférica que irradia **uniformemente em todas as direções**

$$I = \frac{P}{4 \pi r^2}$$

E a razão das intensidades é

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$



Ondas Progressivas

- A intensidade de uma onda é proporcional ao quadrado da amplitude

$$I \propto A^2$$

Definição: nível de intensidade sonora – decibels (dB)

$$\beta = (10 \text{ dB}) \log_{10} \left(\frac{I}{I_o} \right)$$

onde $I_o = 1.0 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$

TABELA 20.3 Níveis de intensidade sonora de sons comuns

Som	β (dB)
Limiar de audição	0
Pessoa respirando a 3 m	10
Sussurro a 1 m	20
Ambiente silencioso	30
Ao ar livre, sem tráfego	40
Restaurante silencioso	50
Conversa normal a 1 m	60
Tráfego intenso	70
Aspirador de pó, para o usuário	80
Cataratas do Niágara, do observatório	90
Britadeira a 2 m	100
Som estéreo no volume máximo	110
Show de rock	120
Limiar de dor	130

Ondas Progressivas

- Efeito Doppler

O que acontece com a observação de uma onda quando a fonte se move?

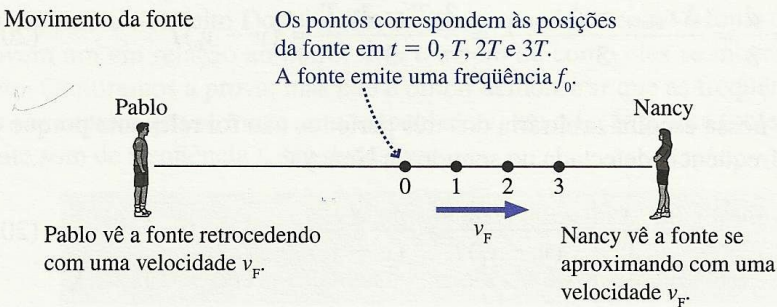
(a) a frequência ouvida é a mesma

(b) a frequência ouvida é maior

(c) a frequência ouvida é menor

(d) depende do sentido que o observador se desloca com relação a fonte

(a) Movimento da fonte



(b) Instantâneo no tempo $3T$

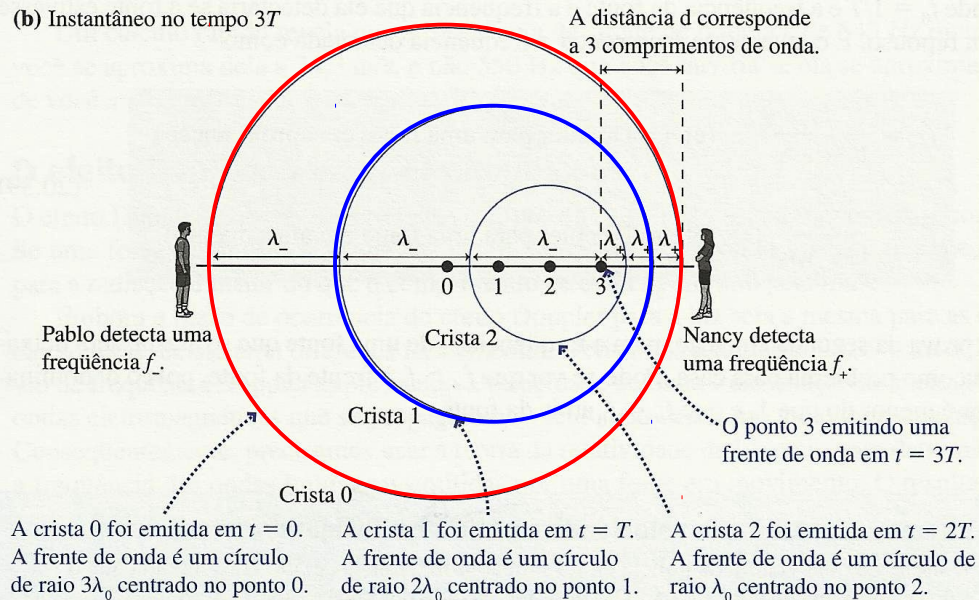


FIGURA 20.26 Um diagrama de movimento mostrando as frentes de onda emitidas por uma fonte enquanto ela se move para a direita com velocidade v_F .

Ondas Progressivas

- Efeito Doppler
 - CASO 1: Fonte estacionária e observador em movimento.

$$f_{aprox} = \left(1 + \frac{v_{obs}}{v} \right) f_o \quad (\text{observador se aproximando})$$
$$f_{afast} = \left(1 - \frac{v_{obs}}{v} \right) f_o \quad (\text{observador se afastando})$$

A frequência observada é maior quando nos aproximamos da fonte!

Ondas Progressivas

- Efeito Doppler
 - CASO 2: Observador parado e a fonte em movimento

$$f_{aprox} = \frac{f_o}{1 - \frac{v_f}{v}}$$

- Fonte em aproximação

$$f_{afast} = \frac{f_o}{1 + \frac{v_f}{v}}$$

- Fonte em afastamento

A frequência observada é maior quando a fonte se aproxima!

Ondas Progressivas

- Exercícios

38. | Um apito que você usa para chamar seu cão de caça emite uma frequência de 21 kHz, mas seu cão o ignora. Você suspeita que o apito possa estar com defeito, porém não é capaz de escutar sons acima de 20 kHz. Para testá-lo, você pede que um amigo assopre o apito, e então você sobe na sua bicicleta. Em que sentido você deve pedalar (na direção de seu amigo ou dele se afastando) e com que rapidez mínima deverá estar se movendo a fim de saber se o apito está funcionando?
39. | Uma fêmea de falcão emite um som agudo enquanto mergulha em sua direção. Você se lembra, das aulas de biologia, que as fêmeas de falcão emitem um som de 800 Hz, todavia escuta o som emitido pela ave como sendo de 900 Hz. Qual é a velocidade de aproximação do falcão?

Ondas Progressivas

- Efeito Doppler para a luz

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{1 + v_f/c}{1 - v_f/c}} \lambda_o$$

- Fonte que se afasta

$$\lambda_2 = \sqrt{\frac{1 - v_f/c}{1 + v_f/c}} \lambda_o$$

- Fonte que se aproxima

Fontes luminosas que se afastam sofrem um desvio para o vermelho ($\lambda_1 > \lambda_o$)

E o que acontece quando a fonte luminosa se aproxima???

Ondas Progressivas

- Exercício

77. || Você acaba de ser parado por ultrapassar um sinal vermelho, e o policial lhe diz que a multa será de R\$ 250,00. Desesperado, você se lembra de repente de uma idéia que seu professor de física discutiu em aula. Usando um tom mais calmo, você diz ao policial que as leis da física o impediram de saber que o semáforo estava vermelho. De fato, enquanto você dirigia em direção ao semáforo, a luz sofreu um desvio Doppler para parecer estar verde naquele momento. “Tudo bem”, diz o policial, “então vou te multar por excesso de velocidade. A multa será de R\$ 1,00 para cada 1 km/h acima do limite de velocidade, que é de 50 km/h”. Qual será o valor da multa? Use 650 nm como o comprimento de onda da luz vermelha e 540 nm como o comprimento de onda da luz verde.