

PROFESSOR DANILO

FOLHA 10

Apostila 6

ÍNDICE

- Efeito Doppler p. 1
 - Lista: Acústica (somente Efeito Doppler) ☐
- Ondas Eletromagnéticas p. 1
 - Lista: Ondas Eletromagnéticas ☐
- Interferência de ondas p. 3
 - Lista: Interferência de ondas ☐
- Ondas estacionárias p. 5
 - Lista: Ondas estacionárias ☐

EFEITO DOPPLER

EFEITO DOPPLER DE ONDA SONORA

Q. 1- EQUAÇÃO DO EFEITO DOPPLER

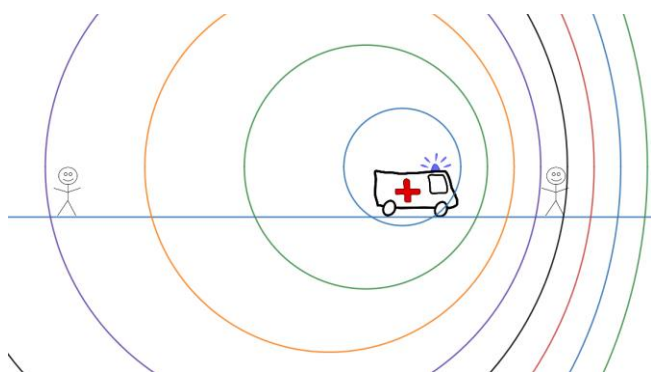


Figura 1: Animação do efeito Doppler feita no Desmos®



Figura 2: Acesse a animação anterior clicando no QR-code ou lendo o código com o seu smartphone.

ACÚSTICA – ENGENHARIA – 25/09/2024

ONDAS DE CHOQUE

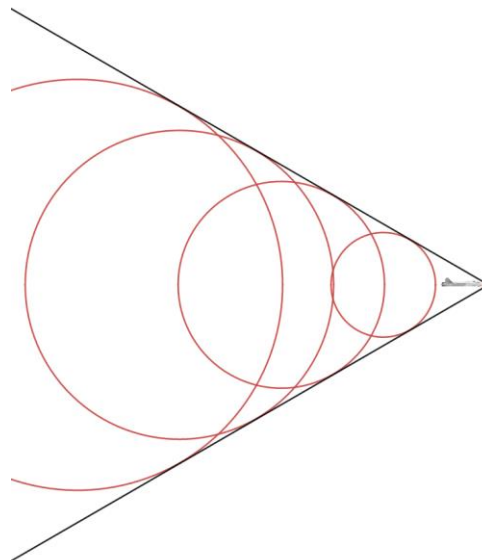


Figura 3: Cone de Mach. Surge quando a fonte ultrapassa a velocidade da onda que produz. À direita, uma animação.



Figura 4: Acesso à animação do Cone de Mach.

EFEITO DOPPLER DE ONDA ELETROMAGNÉTICA

Q. 2 – ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Produção:

- Cargas elétricas aceleradas emitem ondas eletromagnéticas.
 - Cargas em movimento oscilatório fazem uma antena emitir ondas eletromagnéticas.
 - A produção de raios X consiste em frear abruptamente elétrons fazendo-os colidir em placas metálicas;
 - Cargas elétricas em movimento circular emitem radiação eletromagnética chamada radiação síncrotron.
- Quando um átomo mais pesado decai em átomos mais leves ocorre emissão de raios gama (γ).
- Ondas eletromagnéticas também são emitidas por qualquer objeto pelo simples fato de terem temperaturas absolutas acima de 0 K.
- Decaimento eletrônico: transições eletrônicas em átomos também emitem radiação (fótons).
- OBSERVAÇÕES IMPORTANTES: os “raios” abaixo não são ondas eletromagnéticas.
 - Raios alpha (α) consiste no núcleo do átomo de Hélio (Hélio sem elétrons);
 - Raios beta menos (β^-) são, na verdade, feixes de elétrons enquanto raios beta mais (β^+) são feixes de pósitrons (antimatéria, isto é, antielétron).

Conforme visto anteriormente, consiste na oscilação dos campos elétricos e magnéticos no espaço e no tempo.

Observe a figura a seguir onde estão representadas as diversas ondas eletromagnéticas com frequências crescentes de cima para baixo.

Radiações com comprimentos de ondas semelhantes ou maiores que o ultravioleta são radiações ionizantes (produzem íons quando interagem com a matéria) e são mais agressivas aos seres vivos, como raios X e raios gama (γ).

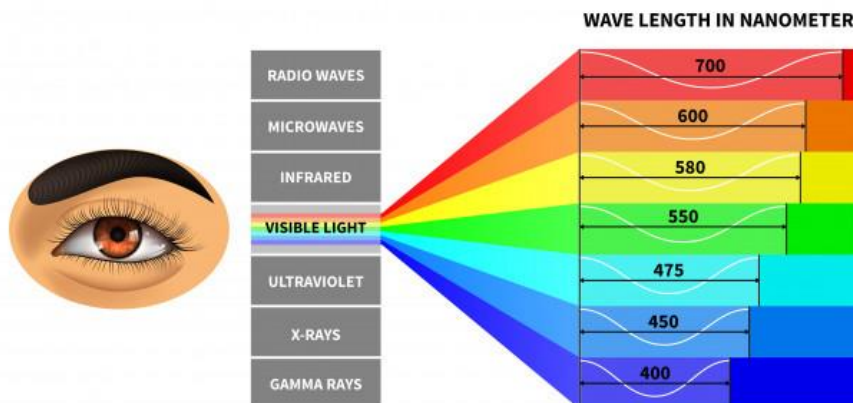


Figura 5: Espéctro eletromagnético

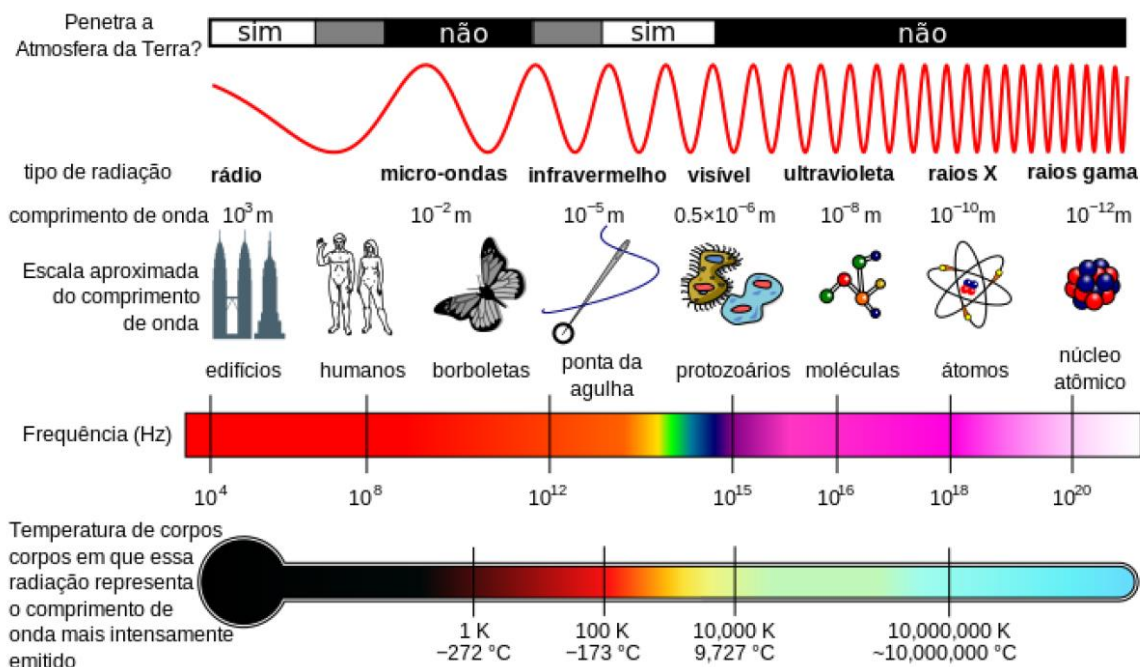


Figura 6: Comparando o comprimento de onda eletromagnético com objetos comuns.

Q. 3– EFEITO DOPPLER DE UMA ONDA ELETROMAGNÉTICA

Geralmente a equação abaixo é dada pelo enunciado:

$$\Delta f = f_{\text{Observada}} - f_{\text{Fonte}} = \pm \frac{v}{c} f_{\text{Fonte}}$$

Sendo Δf a diferença entre a frequência observada $f_{\text{Observada}}$ e a frequência emitidas pela fonte f_{Fonte} sendo v a velocidade da fonte e c a velocidade da onda eletromagnética.

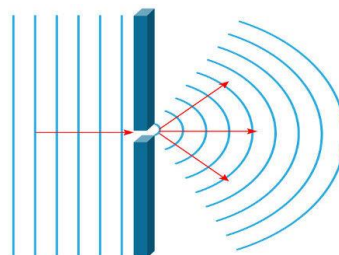
No caso da astronomia, a Lei de Hubble afirma que quanto mais distante um astro se encontra maior a velocidade de afastamento. Tal velocidade radial produz um efeito Doppler nas luzes vindas de estrelas distantes fazendo a frequência observada ser menor que a emitida.

Como resultado, estrelas visíveis tendem a ter um tom mais avermelhado e a isso chamamos de *red shift*.

MAIS SOBRE FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

1. DIFRAÇÃO E ESPALHAMENTO

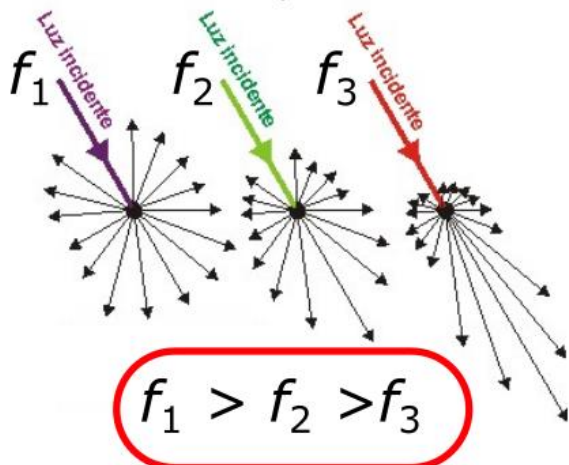
- A difração é a capacidade de contornar objetos de dimensões próximas ao comprimento de onda da onda incidente
- O espalhamento ocorre quando as dimensões dos objetos são muito menores que o comprimento de onda da onda incidente
 - Falaremos disso em detalhes mais adiante



Difração: a fenda se comporta como uma fonte e a parede interromperá as ondas nas laterais.

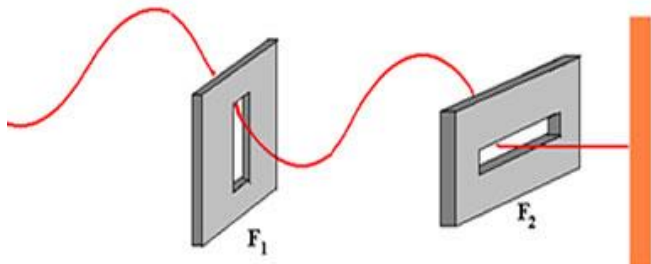
PROFESSOR DANILO

ACÚSTICA – ENGENHARIA – 25/09/2024

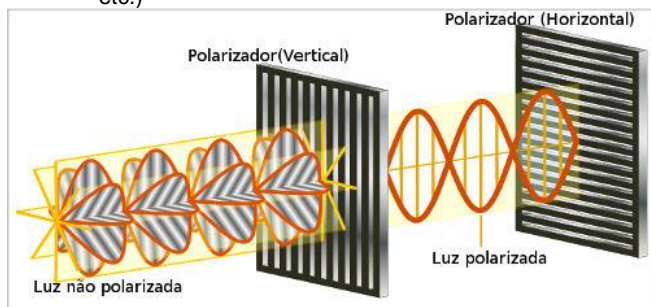


Quanto maior a frequência maior o espalhamento. Os pontos entorno das partículas se comportam como fontes.

2. POLARIZAÇÃO



- Só podemos polarizar ondas transversais
- Um polarizador funciona como um filtro permitindo a passagem de uma parte da onda que oscila em direção específica
- É muito usado em óptica (display de calculadora, lentes etc.)



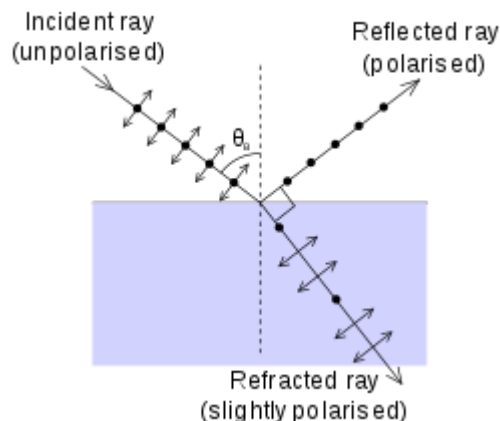
- Digamos que uma onda eletromagnética incide oscilando em uma direção z e haja uma lente polarizadora inclinada de um ângulo θ em relação à essa direção. Se a intensidade do campo incidente é E_0 , a intensidade que atravessa é

$$E_{passa} = E_0 \cdot \cos \theta$$

- Como a intensidade é proporcional ao quadrado da amplitude:

$$I_{passa} = I_0 \cdot \cos^2 \theta$$

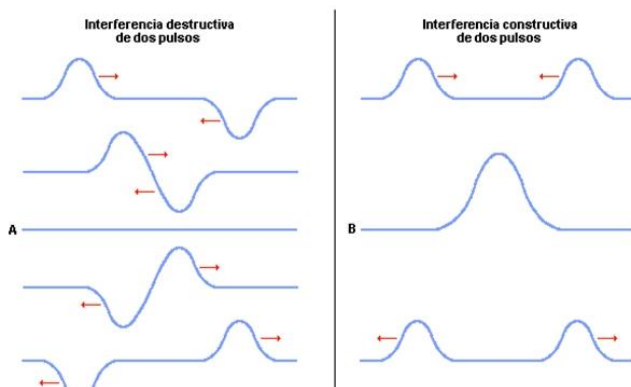
- A polarização pode ocorrer por reflexão: quando o raio refratado forma um ângulo de 90° com o ângulo refletido, a polarização é máxima.



- Esta condição implica na chamada lei de Brewster.

INTERFERÊNCIA DE ONDAS

- Sabemos que uma onda pode ser descrita matematicamente através de funções
- Da experiência, sabemos que quando duas ondas se superpõem, o resultado equivale à soma das duas funções que descrevem as duas ondas
- Não faremos isso matematicamente, apenas geometricamente



- Quando duas ondas estão em fase e se interferem, a amplitude final será a soma das duas ondas e chamamos isso de **interferência construtiva**
- Quando duas ondas estão em oposição de fase se superpõem (interferem), a amplitude resultante será a diferença das duas amplitudes e a isso chamamos de **interferência destrutiva**. Particularmente, se as duas ondas possuem a mesma amplitude, quando a amplitude resultante é zero, chamamos isso de **interferência totalmente destrutiva**.
- É importante destacar que a interferência é local: as duas ondas seguirão seus caminhos, após interagirem uma com a outra, como se nada tivesse acontecido.
- Se as duas ondas que interferirem possuírem frequências próximas, ocorrerá um fenômeno chamado de batimento cuja frequência será f_{bat} .

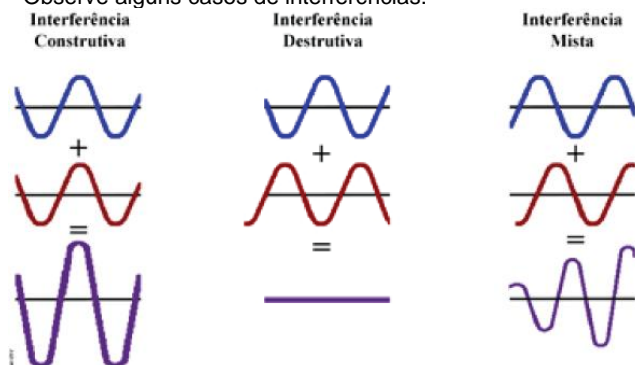
$$f_{bat} = |f_1 - f_2|$$

Enquanto a onda resultante terá frequência f_{result} dada por

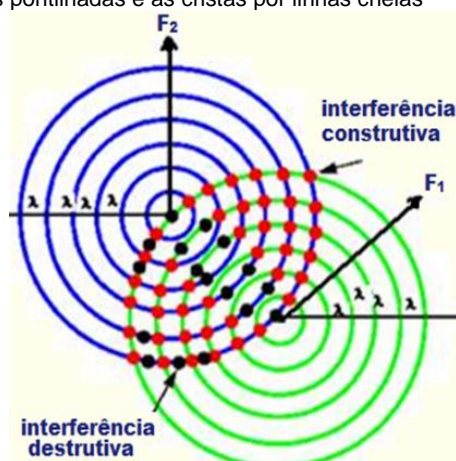
$$f_{result} = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

PROFESSOR DANILO

Observe alguns casos de interferências:



Em representação bidimensional, os vales são representados por linhas pontilhadas e as cristas por linhas cheias



Sabemos que ondas podem ser descritas matematicamente, assim a interferência entre duas ondas corresponde à soma das funções que descrevem ambas as ondas.

Quando temos ondas unidimensionais, a solução é mais simples: basta sobrepor as duas ondas. Já no caso de interferência bidimensional, a situação é um pouco mais complicada.

Q. 4 – DIFERENÇA DE FASE INICIAL: FONTES EM FASE

Q. 5 – DIFERENÇA DE FASE INICIAL: OPOSIÇÃO DE FASE

ACÚSTICA – ENGENHARIA – 25/09/2024

Q. 6 – DIFERENÇA DE FASE DEVIDO À DIFERENÇA DE CAMINHO

Q. 7 – DIFERENÇA DE FASE DEVIDO À REFLEXÃO

Q. 8 – DIFERENÇA DE FASE TOTAL

PROFESSOR DANILO

RESUMO:

- Dadas duas fontes, a diferença de fase total é:
 - Devido à diferença de caminho:

$$\Delta\phi_{\text{caminho}} = \frac{|d_1 - d_2|}{\lambda} \cdot 2\pi$$

- Devido às reflexões:

$$\Delta\phi_{\text{reflexão}} = \pi \text{ para cada reflexão com inversão de fase}$$

- A diferença de fase total será:
$$n \cdot \pi$$
 - Se n for par, a interferência é construtiva
 - Se n for ímpar, a interferência é destrutiva
- Soma-se uma fase dependendo das condições iniciais do problema.
- A diferença total de fase será, portanto:

$$\Delta\phi_{\text{TOTAL}} = \Delta\phi_{\text{caminho}} + \Delta\phi_{\text{reflexão}} + \Delta\phi_{\text{inicial}} = n \cdot \pi$$

INTERFERÊNCIA DA LUZ

- Filmes finos
- Iridescência
- Dupla fenda de Thomas Young

$$x = k \frac{\lambda D}{y}$$

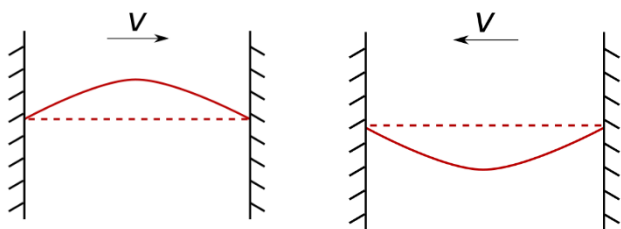
- Experimento do fio de cabelo



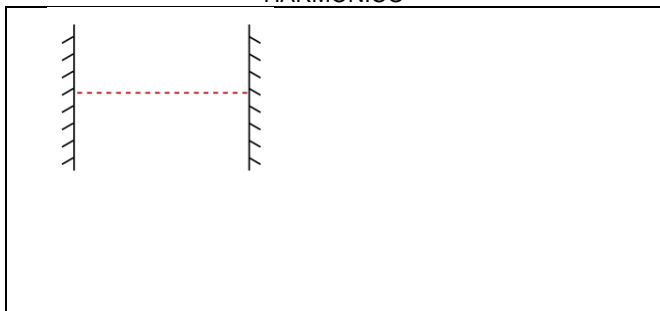
Veja teoria abaixo e discussão com o professor utilizando programa gráfico. Vamos ver mais detalhes em exercícios.

AMBAS AS EXTREMIDADES FIXAS

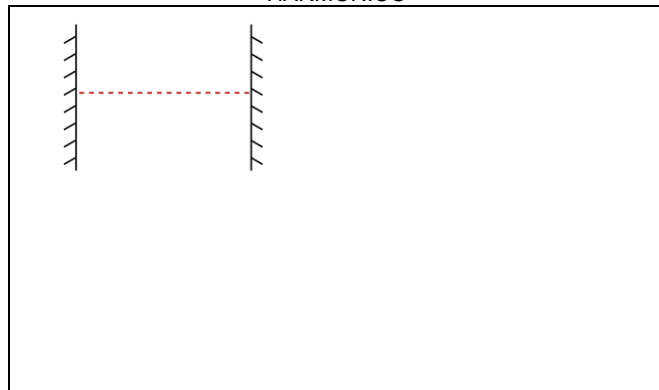
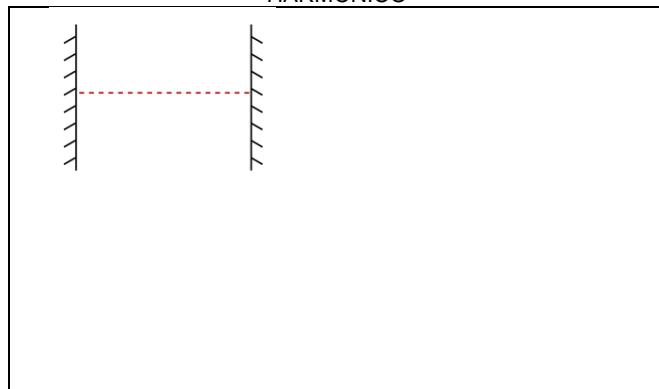
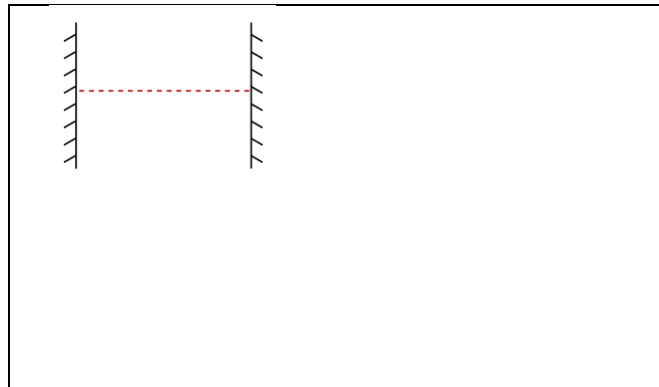
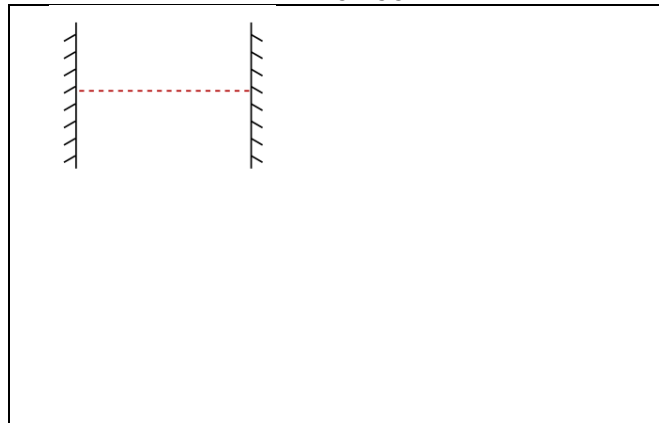
- Imagine uma onda produzida em uma corda com ambas as extremidades presas
- Quando refletida ela volta com inversão de fase



- Se o comprimento do fio tiver tamanho adequado dizemos que a onda no fio é uma onda estacionária, pois vemos a onda como se estivesse parada
- Vamos estudar os harmônicos nesse caso

Q. 9 – ONDA ESTACIONÁRIA EM CORDAS – PRIMEIRO HARMÔNICO

ACÚSTICA – ENGENHARIA – 25/09/2024

Q. 10 – ONDA ESTACIONÁRIA EM CORDAS – SEGUNDO HARMÔNICO**Q. 11 – ONDA ESTACIONÁRIA EM CORDAS – TERCEIRO HARMÔNICO****Q. 12 – ONDA ESTACIONÁRIA EM CORDAS – QUARTO HARMÔNICO****Q. 13 – ONDA ESTACIONÁRIA EM CORDAS – n-ÉSIMO HARMÔNICO**

PROFESSOR DANILO

RESUMINDO O QUE APRENDEMOS:

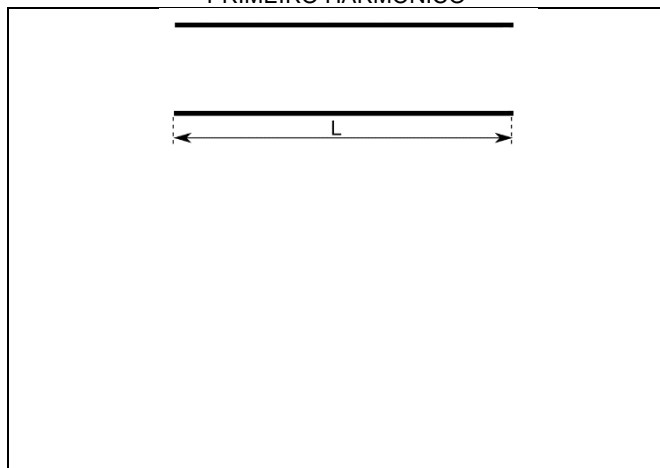
	1º Harmônico	$\lambda_1 = \frac{2L}{1}$
	2º Harmônico	$\lambda_2 = \frac{2L}{2} = L$
	3º Harmônico	$\lambda_3 = \frac{2L}{3}$
	4º Harmônico	$\lambda_4 = \frac{2L}{4} = \frac{L}{2}$
...
	nº Harmônico	$\lambda_n = \frac{2L}{n}$

TUBOS SONOROS

- Instrumentos musicais cujo som é produzido por sopro segue a mesma lógica
- Em geral um dos lados é aberto e o outro é ou aberto ou fechado
 - Quando ambos os lados são abertos, chamamos de tubo aberto;
 - Quando uma extremidade é fechada e a outra aberta chamamos de tubo fechado.

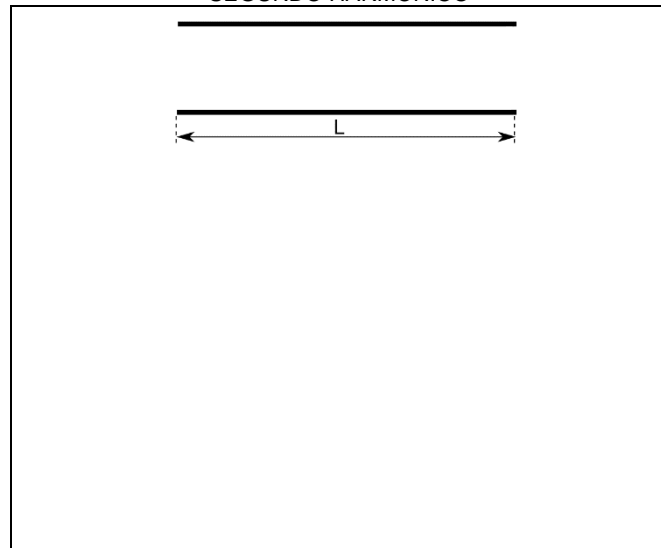
AMBAS AS EXTREMIDADES ABERTAS/LIVRES

Q. 14 – ONDA ESTACIONÁRIA EM TUBO ABERTO – PRIMEIRO HARMÔNICO

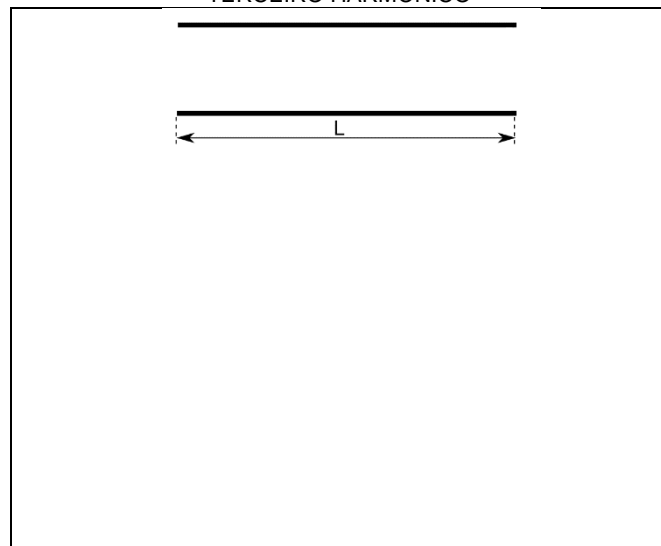


ACÚSTICA – ENGENHARIA – 25/09/2024

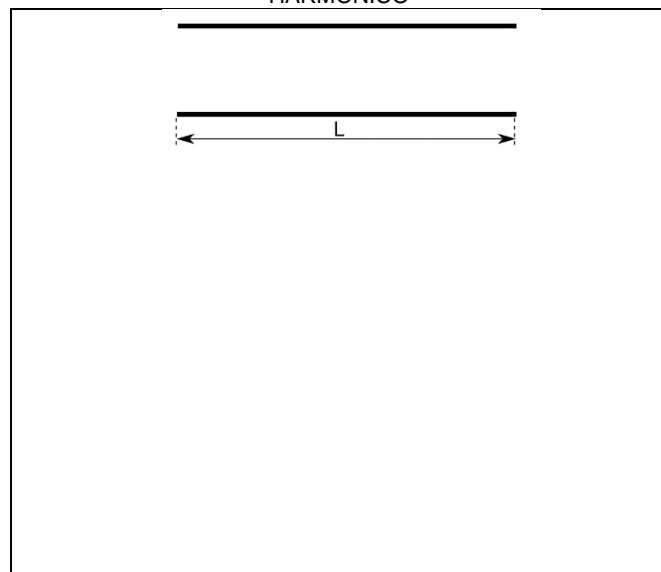
Q. 15 – ONDA ESTACIONÁRIA EM TUBO ABERTO – SEGUNDO HARMÔNICO



Q. 16 – ONDA ESTACIONÁRIA EM TUBO ABERTO – TERCEIRO HARMÔNICO

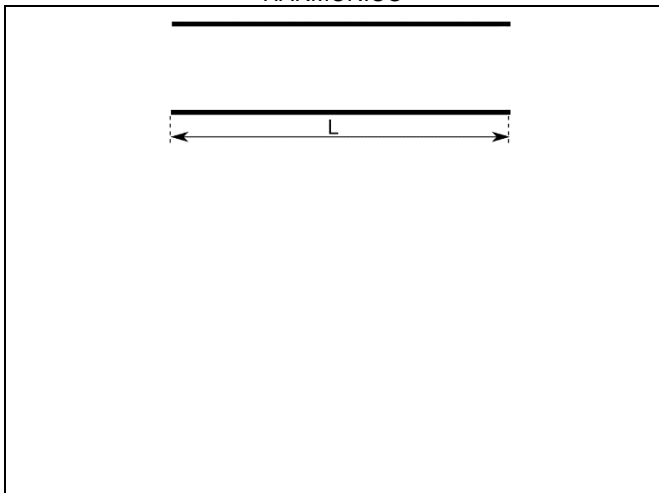


Q. 17 – ONDA ESTACIONÁRIA EM TUBO ABERTO – QUARTO HARMÔNICO



PROFESSOR DANILO

Q. 18 – ONDA ESTACIONÁRIA EM TUBO ABERTO – n-ÉSIMO HARMÔNICO



RESUMINDO O QUE APRENDEMOS:

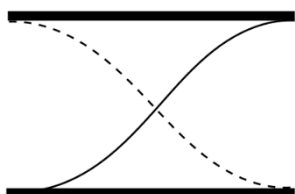
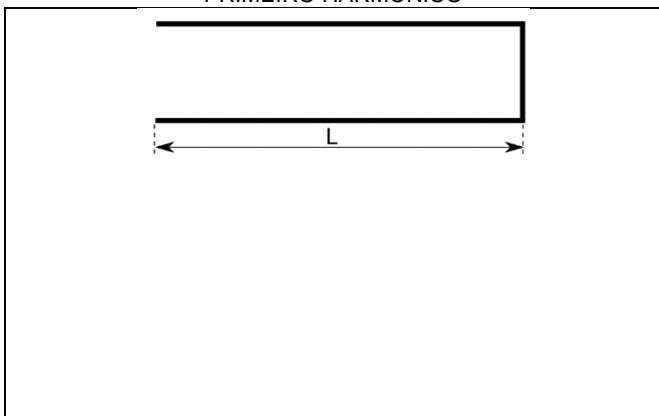


Figura 7: Representação de um tubo sonoro com ambas as extremidades abertas e em seu primeiro harmônico

1º Harmônico	$L = 2 \frac{\lambda_1}{4} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{4L}{2} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{4L}{2 \cdot 1}$
2º Harmônico	$L = 4 \frac{\lambda_2}{4} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{4L}{2 \cdot 2}$
3º Harmônico	$\lambda_3 = \frac{4L}{2 \cdot 3}$
4º Harmônico	$\lambda_4 = \frac{2L}{4}$
...	...
nº Harmônico	$\lambda_n = \frac{2L}{n}$

UMA EXTREMIDADE ABERTA E OUTRA FECHADA

Q. 19 – ONDA ESTACIONÁRIA EM TUBO ABERTO – PRIMEIRO HARMÔNICO



ACÚSTICA – ENGENHARIA – 25/09/2024

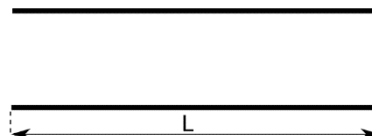
Q. 20 – ONDA ESTACIONÁRIA EM TUBO ABERTO – SEGUNDO HARMÔNICO

Vamos começar tentando desenhar uma onda com a metade do comprimento de onda do primeiro harmônico começando pelo nó à direita.



Temos uma contradição.

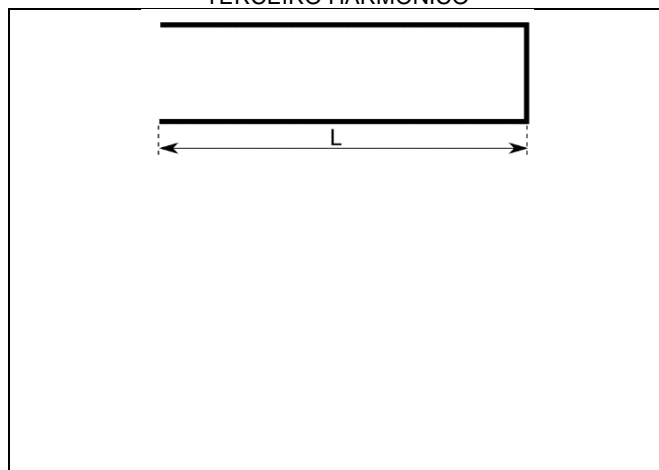
Se, no entanto, começarmos pelo ventre a esquerda, teremos outra contradição:



Conclusão:

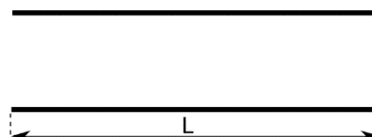
HARMÔNICOS PARES NÃO EXISTEM PARA TUBOS FECHADOS.

Q. 21 – ONDA ESTACIONÁRIA EM TUBO ABERTO – TERCEIRO HARMÔNICO



Q. 22 – ONDA ESTACIONÁRIA EM TUBO ABERTO – QUARTO HARMÔNICO

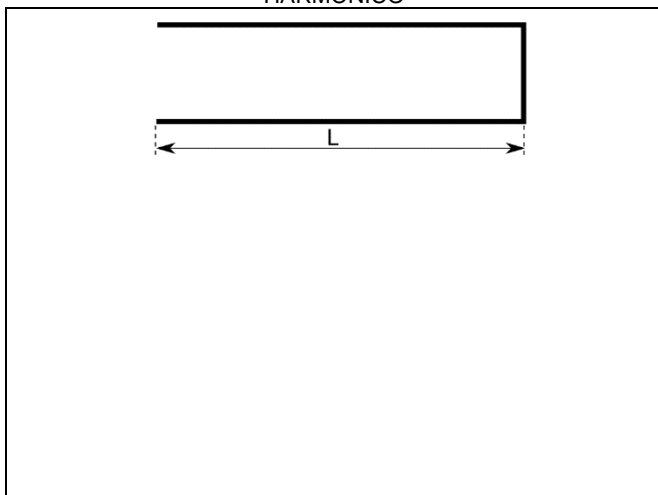
Tente reproduzir o raciocínio do Q. 20



PROFESSOR DANILO

ACÚSTICA – ENGENHARIA – 25/09/2024

Q. 23 – ONDA ESTACIONÁRIA EM TUBO ABERTO – n-ÉSIMO HARMÔNICO



RESUMINDO O QUE APRENDEMOS:

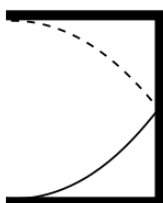


Figura 8: Representação de um tubo sonoro com uma extremidade fechada e outra aberta. Como tubos sonoros com ambas as extremidades fechadas é impossível para um instrumento musical, dizemos que isso é um **tubo fechado**

1° Harmônico	$L = 1 \frac{\lambda_1}{4} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{4L}{1}$
2° Harmônico	Não existe
3° Harmônico	$\lambda_3 = \frac{4L}{3}$
4° Harmônico	Não existe
...	...
n° Harmônico	$\lambda_n = \frac{4L}{n}$

- Note que não existe os harmônicos pares