

FÍSICA FUNDAMENTAL

2º Semestre de 2011

Prof. Maurício Fabbri

© 2001-11

6ª Série de Exercícios

1ª Lei da Termodinâmica
Calorimetria e Transporte de Calor
Gases perfeitos
Ondas

1. O PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA (*1ª lei da termodinâmica*)

(I) É possível associar a cada um dos fenômenos que ocorre na natureza uma quantidade, chamada de energia, de modo que a energia total envolvida durante um processo físico seja invariante. Esse é um fato da natureza, um princípio (também conhecido como a primeira lei da termodinâmica), e não pode ser demonstrado matematicamente. Hoje sabemos expressar a energia envolvida nos vários tipos de processos de uma maneira única, utilizando uma mesma unidade (o Joule), e assim comparar quantitativamente quantidades de energia de origens diferentes. Cada processo químico, elétrico, térmico, nuclear, etc... envolve um tipo de energia característico de cada um deles.

(II) Consideremos um sistema que pode trocar energia com o meio ambiente. É conveniente considerar dois tipos de troca de energia:

- a troca de energia na forma de calor; em termos simples, é uma forma desordenada de energia que o sistema troca com o ambiente devido à agitação interna dos átomos e moléculas (também entra aqui a distribuição estatística de qualquer outra propriedade que envolva forças em escala microscópica, e que tenha caráter desordenado, tal como momentos magnéticos atômicos aleatórios);
- a troca de energia na forma de trabalho, que pode ser aproveitada para realizar algo útil e ordenado. Essa troca de energia pode ser colocada na forma de (força \times distância), analisando o sistema de um ponto de vista macroscópico (em algumas situações, esse trabalho pode ser de natureza não mecânica, por exemplo, devido a campos elétricos e magnéticos externos)

Consideremos um processo qualquer, onde o sistema recebe uma quantidade de calor ΔQ e realiza trabalho ΔW . Durante esse processo, a energia que o sistema armazena (chamada de energia interna U) sofre uma mudança ΔU . Pelo princípio da conservação da energia, devemos ter

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W$$

Em termos simples: o sistema recebeu uma quantidade de energia ΔQ em forma de calor. O sistema transforma uma parte ΔW dessa energia em trabalho útil e armazena internamente uma parte ΔU .

Na prática, em muitas situações é interessante que se tenha ΔU o mais pequeno possível, assim transformaríamos todo o calor ΔQ recebido em trabalho útil. Infelizmente, a natureza não permite que todo o calor ΔQ seja transformado em trabalho útil (segunda lei da termodinâmica). Existe um limite para transformar calor em trabalho.

Ao aplicar a primeira lei a situações práticas, é preciso anotar se o sistema perde ou ganha calor, e se o trabalho mecânico fornece ou retira energia do sistema.

(III) A unidade de energia no SI é o Joule (J). A quantidade de energia necessária para se elevar a temperatura de 1g de água de 1°C é 4,18J, chamada de caloria (cal):

$$1\text{cal} = 4,18\text{J}$$

(a caloria que se emprega para o conteúdo energético dos alimentos é, na verdade, 1Kcal)

Exercício 1. Quando 30cal de calor são absorvidas por um gás, o sistema efetua 45J de trabalho. Qual a variação da energia interna do gás? (3 significativos)

Resp.: 80,4J ou 19,2cal

(IV) Uma situação prática bastante comum é quando o sistema aumenta de volume lentamente, mantendo a pressão interna praticamente igual à pressão externa. Nesse caso, o trabalho efetuado pelo sistema pode ser calculado simplesmente pelo produto $p \cdot \Delta V$.

(trabalho = força \times distância = pressão \times área \times distância = pressão \times variação do volume)

Exercício 2. Um cilindro de diâmetro 15cm, munido de um pistão que pode se deslocar sem atrito, contém um gás a 20°C. Fornecendo-se 150cal de calor ao sistema, dos quais 30cal foram utilizados para elevar a temperatura do cilindro, o gás é aquecido lentamente a 60°C, mantendo-se o equilíbrio com a pressão atmosférica externa (1atm). Durante o aquecimento o pistão desloca-se 25cm. Qual a variação de energia interna do gás? (3 significativos) 1 atm = $1,013 \times 10^5$ Pa

Resp.: 12,9cal

(V) A unidade termodinâmica de temperatura é o Kelvin (K) (chamada também de temperatura absoluta), que está diretamente relacionada com medidas da energia interna em gases perfeitos. A menor temperatura possível que a matéria pode atingir é 0K, que corresponde a $-273,16^\circ\text{C}$. Uma variação de temperatura de 1K corresponde exatamente a uma variação de 1°C . Ao valor absoluto de temperatura T_{abs} corresponde o valor ($T_{\text{abs}} + 273,16$) em $^\circ\text{C}$.

2. CALORIMETRIA

(VI) O calor específico c é a energia necessária para se elevar a temperatura de certa quantidade de uma substância; no sistema SI, é medido em $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$.

A energia necessária para elevar de ΔT a temperatura de uma massa Δm da substância será

$$\Delta E = c \cdot \Delta m \cdot \Delta T$$

Se, durante a variação de temperatura, a substância sofrer grande variação de volume (ou melhor, se o produto da pressão ambiente pela variação de volume resultar em um trabalho mecânico apreciável), o valor do calor específico vai depender das condições em que se deu o aumento de temperatura. (por exemplo, para um gás, o calor específico a pressão constante é diferente do valor a volume constante)

O calor específico da água é $1\text{cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C}) = 4,18\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$, a 20°C

O calor específico molar C é o valor do calor específico para um mol da substância:

$$C = c \times M, \text{ onde } M \text{ é a massa molar da substância}$$

Exercício 3. Um recipiente fechado, termicamente isolado, contendo uma massa m de água, cai de uma altura h . Se a colisão com o solo for perfeitamente inelástica, e se toda a energia mecânica for convertida em energia térmica para a água, calcular o aumento de temperatura ΔT . Qual o valor de h para que $\Delta T = 1^\circ\text{C}$? (use $g = 10\text{m}/\text{s}^2$)

Resp: 418m

Exercício 4. Uma amostra de 250g de chumbo é aquecida a 80°C e lançada num calorímetro que contém 700g de água que está, inicialmente, a 20°C . Desprezando a capacidade calorífica do vaso do calorímetro, achar a temperatura final do chumbo e da água. (*três significativos*)

Resp.: $20,6^{\circ}\text{C}$

(VII) A quantidade de energia calculada com o calor específico assume que a substância não muda de fase durante o aquecimento ou resfriamento. A energia extra que é requerida para uma mudança de fase é chamada de calor latente. Se a substância for pura (composta de um só elemento ou composto químico), a temperatura permanece constante durante uma mudança de fase; nesse caso, o calor latente é dado, no SI, em Joules por quilograma do material (J/kg).

Exercício 5. Se 500g de chumbo fundido, a 450°C , forem derramados numa cavidade feita num grande bloco de gelo, a 0°C , qual a quantidade de água que será formada? (o ponto de fusão do chumbo é 327°C). Suponha que o calor específico do chumbo líquido é o mesmo que o do chumbo sólido.

Resp.: $\approx 120\text{ml}$

Exercício 6. Um pacote com doze latas de cerveja, 250ml cada, inicialmente a 28°C , é colocado num vaso térmico isolado. Calcule aproximadamente quantos cubos de gelo, de 25g cada um, inicialmente a -5°C , devem ser postos no recipiente, de modo que a temperatura final da cerveja seja de 2°C . A cerveja pode ser considerada como sendo água, e despreze a energia necessária para resfriar o alumínio das latas e o interior do vaso.

Resp.: ≈ 25 cubos

Tabela de calor específico a pressão constante

	c_p [J/gm K]	Molar C_p J/mol K
Ar (típico)	1,0035	29,07
Hidrogênio	14,3	28,8
Nitrogênio	1,040	29,1
Oxigênio	0,918	29,4
asfalto	0,92	...
Aço	0,450	25,1
areia de construção	0,835	...
Alumínio	0,897	24,2
Diamante	0,509	6,12
Grafite	0,710	8,53
Cobre	0,385	24,5
Ouro	0,129	25,4
Chumbo	0,128	26,4
concreto	0,88	...
granito	0,79	...
Prata	0,233	24,9
tijolo	0,84	...
Tungstenio	0,134	24,8
terra (típico)	0,80	...
Zinco	0,387	25,2
Mercurio	0,140	28,0
madeira (típico)	0,42	...
Alcool etílico	2,44	112
água (25°C)	4,181	75,3
água (100°C) vapor	2,08	37,5
gêlo (0°C)	2,11	38,1
Granito	.790	...
Vidro pyrex	.753	...

Tabela de calor latente

	Calor latente fusão J/g	Temperatura de fusão $^{\circ}\text{C}$	Calor latente evaporação J/g	Temperatura de ebulição $^{\circ}\text{C}$
álcool etílico	108	-114	855	78,3
hidrogênio	58	-259	455	-253
nitrogênio	25,7	-210	200	-196
oxigênio	13,9	-219	213	-183
água	334	0	2272	100

Densidades

	Densidade (gm/cm^3)
água a 4°C	1,0000
água a 20°C	0,998
Gasolina	0,70
Mercúrio	13,6
Alumínio	2,7
Cobre	8,3-9,0
Ouro	19,3
Ferro	7,8
Chumbo	11,3
Platina	21,4
Gêlo a 0°C	0,92
Ar	0,001293
Hirogenio	0,00009
Nitrogenio	0,001251

Calor latente de fusão

	Calor de fusão (kJ/kg)
Alumínio	321
Cobre	176
Chumbo	22,4
Níquel	19,4
Prata	88,0
Estanho	58,5
Zinco	118

3. GASES PERFEITOS

(VIII) Um gás perfeito é aquele constituído de partículas de tamanho e energia interna desprezíveis, e que não interagem entre si. O único efeito de um gás perfeito é exercer pressão no recipiente onde se encontra, devido ao choque das partículas do gás com as paredes. A velocidade com que as partículas se movem, em um gás perfeito, é função apenas da temperatura do gás. Se uma quantidade n de um gás perfeito ocupa um volume V à temperatura T , então pode-se mostrar que

$$PV = nRT$$

, onde P é a pressão exercida pelo gás.

A quantidade n se mede pelo número de moles de gás.

1 mol equivale a N_A partículas (N_A é o número de Avogadro, $6,02 \times 10^{23}$)

$R = 8,315 \text{ J/(mol.K)}$ é a constante dos gases perfeitos

NOTE que a equação dos gases perfeitos deve ser utilizada com valores da temperatura absoluta (Kelvin)

Gases leves (constituídos de partículas leves, como o hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, ar) nas condições normais de temperatura e pressão – CNTP (0°C e 1atm), obedecem de perto a equação acima.

Exercício 7. Um gás é mantido a pressão constante. Se a sua temperatura for alterada de 25 para 100°C , por qual fator fica multiplicado seu volume? *Resp. 1,25*

Exercício 8. O êmbolo montado no cilindro ao lado pode deslizar livremente.

No interior do cilindro, um gás ocupa o volume de 1 litro a 25°C .

A que temperatura o volume do gás será de dois litros?

Resp.: 323°C



Exercício 9. Com uma bomba de vácuo, de difusão a óleo, pode-se atingir pressões tão baixas quanto 10^{-8} mmHg ($1\text{mmHg} = 1\text{torr} = 133,3 \text{ Pa}$). Quantas moléculas há em 1 cm^3 do gás, nesta pressão, se a sua temperatura for de 25°C ? (*três significativos*) *Resp.: $3,23 \times 10^8$*

4. DILATAÇÃO DE SÓLIDOS E LÍQUIDOS

(IX) A densidade dos líquidos e sólidos varia com a temperatura. Para variações não muito grandes ΔT de temperatura, a variação relativa de volume é proporcional a ΔT :

$$\frac{\Delta V}{V} = \gamma \Delta T$$

γ é chamado de coeficiente volumétrico de dilatação.

Na maioria dos sólidos cristalinos, a dilatação não é a mesma em diferentes direções (anisotropia).

Alguns materiais apresentam coeficiente de dilatação negativo.

Exercício 10. A peça ao lado é feita de um metal isotrópico. Quando a temperatura aumenta, as pontas se aproximam ou se afastam? Elas chegam a se tocar? Discuta.



(X) Em muitas situações práticas, precisamos calcular a dilatação em uma dada direção, ou seja, a variação em uma medida linear L de uma peça, ou então a dilatação da área S de uma placa. Empregamos

$$\frac{\Delta S}{S} = \lambda \Delta T \quad \text{e} \quad \frac{\Delta L}{L} = \alpha \Delta T$$

, onde λ é o coeficiente de dilatação superficial e α o coeficiente de dilatação linear.

Se o material é isotrópico, teremos $\gamma \approx 3\alpha$ e $\lambda \approx 2\alpha$.

Exercício 11. Uma régua de aço tem o comprimento de 30cm a 20°C. O coeficiente de dilatação linear do aço é $11 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Qual a variação em seu comprimento entre 20°C e 100°C? (dois significativos)

Resp.: 0,26mm

Exercício 12. Uma ponte de 50m de comprimento é construída em aço. Se a sua estrutura for contínua, sem articulações, qual será a variação do seu comprimento entre um dia muito frio (0°C) e um dia muito quente (42°C)? (dois significativos)

Resp.: 2,3cm

Exercício 13. No esquema de um relê térmico, mostrado ao lado, a fita menor, feita de cobre (coeficiente de expansão linear $\alpha = 17 \times 10^{-6}$), medindo 15,0cm (a 25°C), desliza sobre a fita maior, feita de filme de diamante ($\alpha = 1,2 \times 10^{-6}$), de comprimento 15,1cm (também a 25°C).

As fitas são fixas na extremidade esquerda, que permanece imóvel. A que temperatura a fita de cobre toca a trava **T**?



Resp.: 397°C

Exercício 14. Um automóvel tem um tanque de gasolina, em alumínio, com 45 litros, cheio até a boca, quando a temperatura é de 25°C. O coeficiente volumétrico de expansão térmica da gasolina é $0,0009 \text{ K}^{-1}$, e o coeficiente linear de expansão do alumínio é $24 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Quanta gasolina transbordará do tanque quando o carro estiver estacionado no sol e a sua temperatura chegar a 45°C? (dois significativos)

Resp.: 0,79 litros

Exercício 15. (Tipler) Um tubo de aço tem diâmetro externo de 3,000 cm na temperatura ambiente (20°C). Um tubo de latão tem diâmetro interno de 2,997 cm, na mesma temperatura. A que temperatura se deve lavar as extremidades dos tubos para que o tubo de aço possa ser inserido no de latão? O coeficiente linear de expansão térmica do latão é $19 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. (três significativos)

Resp.: 125°C

5. A CONDUÇÃO DO CALOR

(XI) O calor pode ser transportado por três processos distintos:

- na condução, a energia térmica flui dentro do material, que permanece estático, de um ponto mais quente para um ponto mais frio;
- na convecção, o calor é transportado quando há fluxo de material: em líquidos e gases, a diferença de temperatura provoca uma mudança na densidade, e o material mais leve tende a subir;
- na radiação, o calor é transportado através de uma onda eletromagnética (como o calor que chega do Sol, ou o aquecimento em um forno de microondas)

(XII) A condução de calor é provocada por uma diferença de temperatura, e precisa de um meio material para ocorrer. A lei de Fourier estabelece que o fluxo de calor é proporcional ao gradiente de temperatura, ou seja, que o fluxo térmico é proporcional à taxa com que a temperatura varia entre pontos vizinhos:

$$\Phi = -K \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Nessa equação, energia térmica é conduzida na direção x .

ΔT é a diferença de temperatura entre dois pontos vizinhos que estão à distância Δx um do outro.

K é a condutividade térmica do material onde ocorre a condução.

O fluxo Φ é a quantidade de energia por tempo que atravessa uma área colocada transversalmente ao fluxo de calor, por tempo e por área.

Em unidades SI, o fluxo se mede em $\text{J}/(\text{s} \cdot \text{m}^2) = \text{W}/\text{m}^2$ (Watts por metro quadrado), e a condutividade térmica K em $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

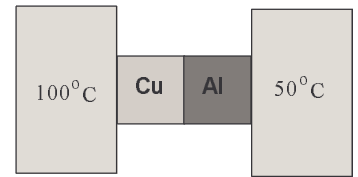
NOTE que o sinal negativo indica que o fluxo de calor é na direção oposta ao aumento de temperatura (do mais quente para o mais frio).

Tabela de condutividades térmicas

	Condutividade térmica $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
prata	429
cobre	401
chumbo	353
ouro	318
alumínio	237
aço	46
concreto	0,19 a 1,3
vidro	0,7 a 0,9
água (27°C)	0,609
gelo	0,592
ar (27°C)	0,026

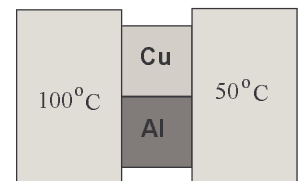
Exercício 16. Qual a potência térmica transmitida por uma barra de cobre de comprimento 20cm e área de seção transversal 4cm^2 , quando conectada a dois reservatórios de calor, de modo que a extremidade fria é mantida a 20°C e a extremidade quente a 100°C ? Suponha que o fluxo de calor ocorra somente ao longo da barra, sem dissipação lateral. (dois significativos) Resp.: 64W

Exercício 17. Projete os comprimentos das barras de cobre e alumínio de modo que a temperatura na interface de contato entre as mesmas seja 70°C , e que a potência térmica transmitida entre as fontes quente e fria seja 80 Watts. As barras têm área de seção transversal retangular de $2\text{cm} \times 3\text{cm}$. Resp.: 9,0cm (Cu) e 3,6cm (Al)



Exercício 18. Se, no exercício anterior, os comprimentos das barras forem iguais, cada uma com 4.0cm, qual será a potência térmica pelas mesmas? Qual a temperatura na interface entre as barras? (três significativos) Resp.: 112W ; $81,4^\circ\text{C}$

Exercício 19. As mesmas barras do exercício anterior estão agora dispostas conforme a figura ao lado. Calcule (a) a corrente térmica total entre os dois reservatórios (b) a condutividade térmica equivalente das duas barras. Suponha que as barras estejam isoladas uma da outra, ou seja, que não haja fluxo de calor entre elas. Resp.: 479W ; 638W/(m.K)



Exercício 20. (Tipler) Um iglu hemisférico, feito de neve compactada, tem o raio interno de 2m. Deseja-se manter a temperatura interna do iglu em 20°C , quando a temperatura externa for -20°C . O calor gerado pelos habitantes do iglu é 38 Megajoules por dia. Qual deve ser a espessura das paredes do iglu? A condutividade térmica da neve compactada é $0,209\text{ W/m.K}$. Como aproximação, admitir que a área superficial interna do iglu seja igual à área superficial externa. (dois significativos) Resp.: 48cm

Exercício 21. (Tipler) Uma panela com fundo de cobre, com 0,8 litros de água em ebulição, seca em 10min. Com a hipótese de que todo o calor passa somente através do fundo plano de cobre, cujo diâmetro é 15cm e espessura 3,0mm, calcular a temperatura da face externa do fundo enquanto ainda existir água recobrendo a face interna. Resp.: $101,3^\circ\text{C}$

6. ONDAS

(XIII) Uma onda é, em termos simples, uma perturbação que se propaga no espaço. Os exemplos mais comuns são as ondas do mar (que se propagam na água), o som (que se propaga no ar, ou em outro meio elástico qualquer), e as ondas de rádio (que se propagam no espaço – mesmo no vácuo - por incrível que possa parecer, as ondas eletromagnéticas não necessitam de um meio material para se propagar).

A velocidade com que as ondas caminham depende do meio onde ela se propaga e da frequência com que a onda vibra; essa dependência é chamada de dispersão. Uma onda que não se dispersa propaga-se mantendo a forma. As ondas mecânicas sempre apresentam dispersão, porque o meio onde se propagam sempre absorvem uma parte de sua energia.

As ondas longitudinais são tais que o sentido de vibração coincide com a direção em que se propagam. O som é uma onda longitudinal. Você pode provocar uma onda longitudinal em uma longa mola: basta vibrar a mola na direção de seu eixo principal.

Nas ondas transversais, o sentido de vibração é perpendicular à direção em que se propagam. A luz é uma onda transversal (como todas as ondas eletromagnéticas). Para provocar uma onda transversal em uma longa mola, basta vibrar a mola perpendicularmente ao seu eixo principal. As ondas transversais são polarizadas quando a direção ao longo da qual vibram permanece fixa.

Uma onda qualquer pode ter uma componente transversal e outra longitudinal.

(XIV) O tipo mais simples de onda consiste em uma vibração harmônica (senoidal) que se propaga no espaço conforme o tempo passa. A forma matemática de uma onda senoidal que se propaga na direção \hat{x} é

$$u(x,t) = A.\text{sen}[k(x - vt)] = A.\text{sen}(kx - \omega t) \quad , \text{onde } k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ e } \omega = \frac{2\pi}{T}$$

u é a quantidade que vibra, que se propaga
 x é uma posição na direção \hat{x} , t é o tempo

A é a amplitude da onda

v é a velocidade com que a onda se propaga

T é o período de vibração

Se T for medido em segundos, então a frequência

$$\text{de vibração em Hz será } f = \frac{1}{T}$$

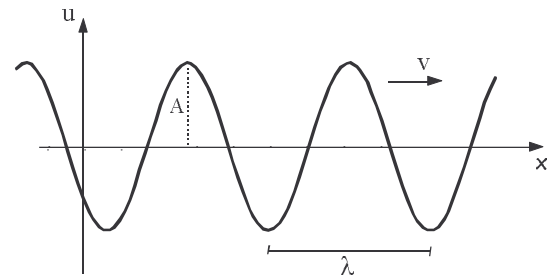
λ é o comprimento de onda (distância que a onda percorre em um período)

Se λ for medido em metros, então $\frac{1}{\lambda}$ é a quantidade de ciclos por metro

k é o número de onda e ω é a frequência angular

(se for preciso considerar a polarização, a quantidade u deve ser vetorial)

Observe que $v = \lambda.f$



(XV) Pode-se provar matematicamente que uma onda não-senoidal pode ser decomposta em uma soma de ondas senoidais (essa decomposição é chamada de análise de Fourier). Portanto, um sinal que não é senoidal envolve, na verdade, várias frequências diferentes, que correspondem às senoides que o compõem (chamadas de harmônicas do sinal).

Nos exercícios abaixo, quando falamos de uma onda com uma frequência específica, estamos nos referindo a uma onda senoidal simples.

Exercício 22: (a) A velocidade do som no ar é cerca de 340m/s. Calcule o comprimento de onda do som audível mais grave (20Hz) e do mais agudo (20KHz). *Resp.: 17m e 17mm*

(b) Calcule esses comprimentos de onda se o som estiver se propagando em uma barra de aço, onde a velocidade do som é cerca de cinco quilômetros por segundo. *Resp.: 250m e 25cm*

(XVI) A superposição de duas ondas senoidais que se propagam em sentidos contrários resulta numa onda estacionária, que percebemos como uma vibração em torno de pontos fixos. Isto pode ser visto assim:

$$u = A\text{sen}(kx - \omega t) + A\text{sen}(kx + \omega t) = 2A.\text{sen}(kx).\text{sen}(\omega t)$$

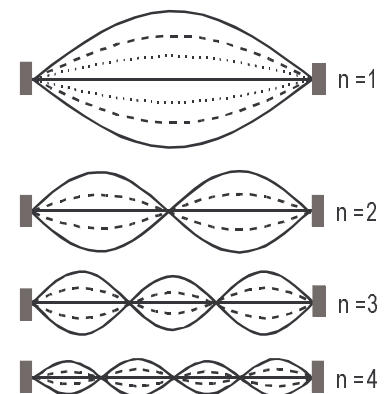
Essa é uma vibração tal que, nas posições

$$\text{onde } x = n\pi/k, u \text{ permanece fixo em zero.}$$

É o que ocorre em uma corda que vibra com as extremidades fixas.

Cada valor de n corresponde a um modo de vibração.

Os quatro primeiros modos estão ilustrados na figura ao lado.



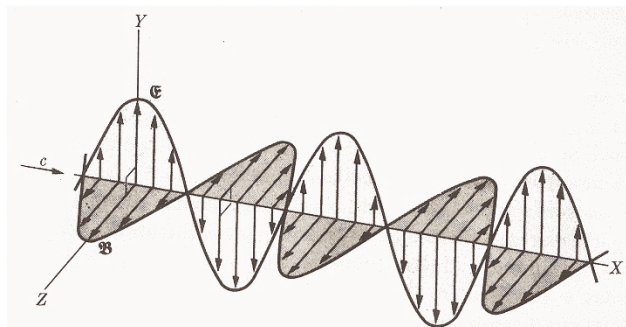
Exercício 23: Uma corda de náilon tem densidade linear $\mu = 2,5\text{g/m}$. Quando esticada entre dois pontos fixos em um violão, tem comprimento de 60cm. A velocidade de propagação de ondas transversais pela corda é dada por $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$, onde F é a tensão com que a corda é esticada ($1\text{ Newton} = 1\text{kg.m/s}^2$).

(a) Calcule a tensão na corda para que, no primeiro modo normal de vibração, ela emita a nota Sol a 396Hz. (dois significativos) Resp.: $5,6 \times 10^2\text{N}$

(b) A que distância da extremidade a corda deve ser pressionada no batente, para que emita a nota Fá em 704Hz? (quatro significativos) Resp.: a 26,25cm da extremidade que sai do braço

(XVII) Por volta de 1860, Maxwell previu matematicamente que uma perturbação eletromagnética propaga-se no espaço à velocidade da luz (aproximadamente $3 \times 10^8\text{ m/s}$ no vácuo). Na verdade, uma onda eletromagnética manifesta-se na forma de rádio, calor ou luz, dependendo de sua frequência. A relação entre a velocidade da luz c , a permissividade elétrica ϵ e a permeabilidade magnética μ é $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$.

No vácuo, $c = 2,99792458 \times 10^8\text{ m/s}$.
Uma onda eletromagnética é sempre transversal, os campos elétrico e magnético são perpendiculares entre si e perpendiculares à direção de propagação.



Alonso, M. e Finn, E.J. Física, Vol II, Edgard Blücher, 1972.

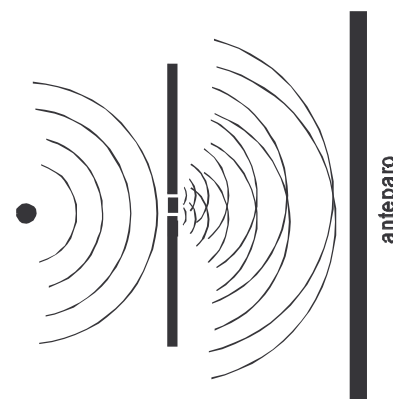
Exercício 24: (a) Calcule o comprimento de onda de uma portadora de rádio FM a 108MHz (dois significativos) Resp.: 2,8m

(b) Calcule a frequência de vibração da luz amarela de arco de sódio, cujo comprimento de onda é 590nm . (dois significativos) Resp.: $5,1 \times 10^{14}\text{Hz} = 510\text{ mil gigahertz}$

(XVIII) Quando ondas se propagam e eventualmente interagem entre si, aparecem efeitos de interferência e difração. A interferência ocorre entre duas ondas que se propagam na mesma região do espaço: uma pode reforçar ou cancelar a outra, dependendo da fase entre elas. A difração ocorre porque cada ponto na frente de uma onda funciona como uma fonte emissora dessa onda; isto faz com que, quando a onda atravessa obstáculos com dimensões comparáveis ao comprimento de onda, ela mude de direção ou se espalhe (na verdade, a difração é a interferência de uma onda com ela mesma).

Exercício 25: Calcule a distância entre duas franjas vizinhas de interferência que aparecem sobre o anteparo no experimento ao lado, onde a luz amarela de sódio incide sobre duas fendas separadas de 0,5mm, distantes meio metro do anteparo.

Resp.: 0,59mm



REFERENCIAS

1. Tipler, P.A. Física (4a Edição), Vol.1, LTC, 2000.
2. <http://en.wikipedia.org>
3. Alonso, M. e Finn, E.J. Física, Vol II, Edgard Blücher, 1972.