



UNIVERSIDADE DO ALGARVE  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
Departamento de Física

## Problemas de Física Aplicada

José Mariano

Leonor Cruzeiro

Paulo Silva

Rui Guerra

Orlando Camargo Rodríguez

Faro, Setembro de 2008

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Cálculo Vectorial</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Sistemas de Unidades</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Tratamento de Erros</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Mecânica</b>	<b>11</b>
4.1	Cinemática . . . . .	11
4.2	Dinâmica . . . . .	16
4.3	Conservação da quantidade de movimento . . . . .	20
4.4	Trabalho, Potência e Energia . . . . .	23
4.5	Corpo Rígido . . . . .	24
<b>5</b>	<b>Mecânica de Fluidos</b>	<b>26</b>
5.1	Hidrostática . . . . .	26
5.2	Hidrodinâmica . . . . .	30
<b>6</b>	<b>Oscilações e Ondas</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>Termodinâmica</b>	<b>37</b>
7.1	Temperatura . . . . .	37
7.2	Calorimetria . . . . .	39
7.3	Gases Ideais . . . . .	41
7.4	Primeiro Princípio . . . . .	43
7.5	Segundo Princípio . . . . .	46
<b>8</b>	<b>Electrostática</b>	<b>50</b>
8.1	Lei de Coulomb . . . . .	50
8.2	Campo electrostático . . . . .	52
8.3	Dipolos electrostáticos . . . . .	53
8.4	Potencial electrostático . . . . .	55
8.5	Corrente e resistência eléctricas . . . . .	57
8.6	Circuitos . . . . .	58
8.7	Movimento de cargas . . . . .	61
<b>9</b>	<b>Radiações</b>	<b>64</b>
<b>10</b>	<b>Óptica</b>	<b>65</b>
10.1	Reflexão da luz, espelhos . . . . .	65
10.2	Refracção da luz . . . . .	66
10.3	Lentes . . . . .	67
10.4	Instrumentos ópticos . . . . .	68

<b>11 Tabelas</b>	<b>70</b>
11.1 O sistema SI de unidades . . . . .	70
11.2 Prefixos . . . . .	70
11.3 Constantes Fundamentais Físicas . . . . .	71
11.4 Escalas de temperaturas . . . . .	71
11.5 Factores de Conversão de Unidades para SI . . . . .	72
11.6 Densidade de algumas substâncias . . . . .	74

# 1 Cálculo Vectorial

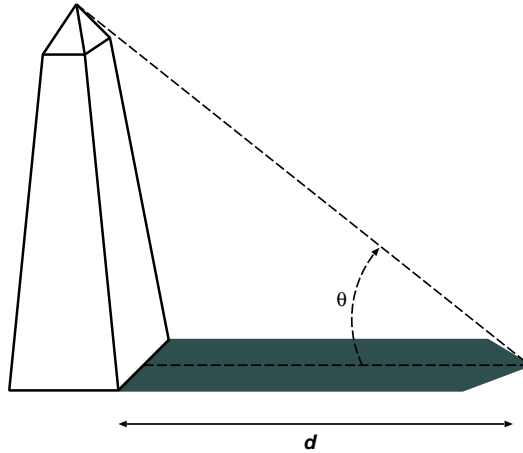


Figura 1: Medindo a altura de um obelisco pela sua sombra.

**Problema 1** Um obelisco, disposto na vertical, projecta uma sombra de comprimento  $d = 12$  m e sabe-se que o ângulo  $\theta$  representado na Figura 1 mede  $75^\circ$ . Qual é a altura  $h$  do obelisco?

**1 Rpta.**  $h = 45$  m.

**Problema 2** Uma força  $\vec{F}_1$ , de módulo igual a 300 N faz um ângulo de  $20^\circ$  com o eixo dos  $xx$ , e uma segunda força  $\vec{F}_2$ , de módulo 200 N, faz um ângulo de  $80^\circ$  com o eixo dos  $xx$ .

(a) Calcule a força resultante da soma das duas forças. Qual o seu módulo e o ângulo que ela faz com o eixo dos  $xx$ .

(b) Faça o mesmo para a diferença  $\vec{F}_1 - \vec{F}_2$ .

**2 Rpta.** (a)  $\vec{R} = (317\vec{e}_x + 300\vec{e}_y)$  N;  $|\vec{R}| = 436$  N;  $\theta = 43,42^\circ$ , (b)  $\vec{R} = (247\vec{e}_x - 94\vec{e}_y)$  N;  $|\vec{R}| = 264$  N;  $\theta = 20,83^\circ$ .

**Problema 3** Três crianças, usando cordas, puxam um barco que se encontra num lago sem corrente. o João exerce na sua corda uma força de 3,0 N e esta faz com a margem, suposta rectilínea, um ângulo de  $20^\circ$ ; a Teresa faz actuar uma força de 5,0 N, numa direcção que faz com a margem  $43^\circ$ : a Rosa puxa a corda com uma força de 1,0 N, fazendo um ângulo de  $14^\circ$  com a margem. Determine:

(a) O módulo da força a que o barco fica sujeito.

(b) A direcção dessa força relativamente à margem do lago.

**3 Rpta.** (a)  $F = 9$  N; (b)  $\theta = 35^\circ$ .

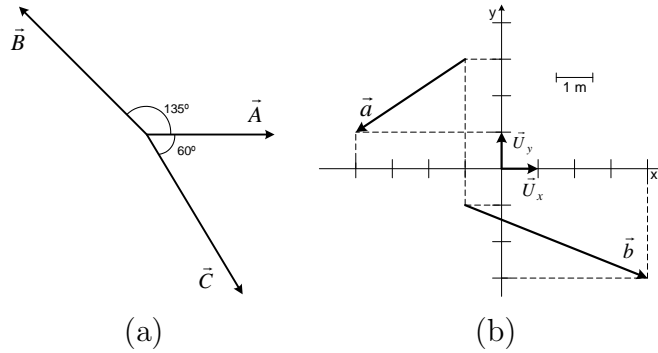


Figura 2:

**Problema 4** Os vectores  $\vec{A}$ ,  $\vec{B}$  e  $\vec{C}$ , representados na figura 2(a) têm comprimentos respectivamente iguais a 2,0; 4,0 e 6,0. Determine:

- (a) O comprimento do vector soma  $\vec{S} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$ .  
 (b) A amplitude do ângulo  $\theta$  que  $\vec{S}$  faz com o vector  $\vec{A}$ .

**4 Rpta.** a)  $|\vec{S}| = 3,3$ ; b)  $\theta = 133^\circ$ .

**Problema 5** Na figura 2 b) estão representados os vectores  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$  e um referencial diortogonal. Exprima em função das suas componentes nesse referencial: (a)  $\vec{a}$ ; (b)  $\vec{b}$ ; (c)  $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$ ; (d)  $\vec{d} = \vec{a} - \vec{b}$ ; (e)  $\vec{A} = -5\vec{a}$ ; (f)  $\vec{f} = \vec{b}/2$ ; (g)  $\vec{e}_a = \text{vers } \vec{a}$ .

**5 Rpta.** (a)  $-3\vec{e}_x - 2\vec{e}_y$  m; (b)  $5\vec{e}_x - 2\vec{e}_y$  m; (c)  $2\vec{e}_x - 4\vec{e}_y$  m; (d)  $8\vec{e}_x$  m; (e)  $15\vec{e}_x + 10\vec{e}_y$  m; (f)  $5/2\vec{e}_x - \vec{e}_y$  m; (g)  $-3/\sqrt{13}\vec{e}_x - 2\sqrt{13}\vec{e}_y$  m.

**Problema 6** Um ciclista percorreu 30 km para Norte, em seguida 40 km para Nordeste e finalmente 50 km para Oeste. Determine:

- (a) A distância a que o ciclista no final se encontra do ponto de partida.  
 (b) O ângulo que o deslocamento faz com a direcção Norte-Sul.

**6 Rpta.** (a) 62 km; (b)  $20^\circ$ .

**Problema 7** Considere os vectores no plano do papel, representados nas figura 3. Determine em cada caso o módulo do vector soma e o ângulo que ele faz com o vector  $\vec{A}$ .

**7 Rpta.** (a) (7,  $38,2^\circ$ ); (b) (3,5,  $64^\circ$ ).

**Problema 8** Duas forças  $\vec{f}_1 = \vec{e}_x + 2\vec{e}_y$  e  $\vec{f}_2 = 2\vec{e}_x + 2\vec{e}_y$  estão aplicadas sobre uma bola.

- (a) Qual o vector força total aplicado sobre a bola? Qual o seu módulo?  
 (b) Qual o ângulo que as duas forças fazem entre si?  
 (c) Qual o produto externo entre as duas forças?

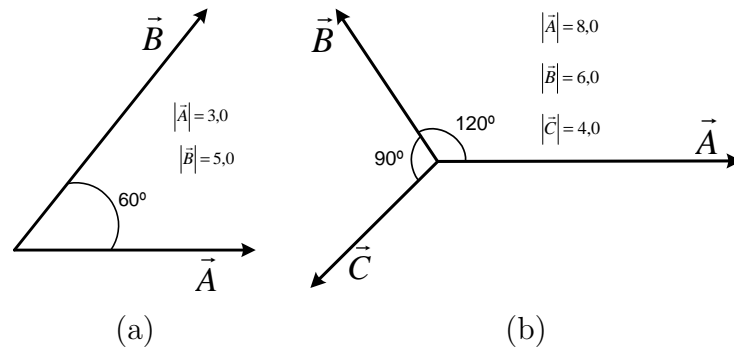


Figura 3:

**8 Rpta.** (a)  $\vec{F}_t = 3\vec{e}_x + 4\vec{e}_y$ ,  $|\vec{F}_t| = 5$ ; (b)  $18,43^\circ$ ; (c)  $-2\vec{e}_z$ .

**Problema 9** Determine o valor de  $m$  para que os vetores  $\mathbf{u} = m\mathbf{e}_x + 5\mathbf{e}_y + 3\mathbf{e}_z$  e  $\mathbf{v} = 2\mathbf{e}_x - m\mathbf{e}_y - \mathbf{e}_z$  sejam perpendiculares entre si.

**Problema 10** Determine o valor de  $a$  e  $b$  para que os vetores  $\mathbf{u} = a\mathbf{e}_x + 3\mathbf{e}_y + \mathbf{e}_z$  e  $\mathbf{v} = 2\mathbf{e}_x + b\mathbf{e}_y + 2\mathbf{e}_z$  sejam colineares entre si.

## 2 Sistemas de Unidades

**Problema 11** Quantos pés cabem num quilómetro?

**11 Rpta.**  $1 \text{ km} = 3,281 \times 10^3 \text{ ft}$ .

**Problema 12** Um atleta corre uma jarda em 9,4 s. Qual será o seu tempo para 100 m?

**12 Rpta.** 10,28 s.

**Problema 13** Quantos segundos tem um ano?

**13 Rpta.**  $3,154 \times 10^7 \text{ s}$ .

**Problema 14** Exprima a idade da Terra ( $4,5 \times 10^9$  anos) em segundos

**14 Rpta.**  $1,418 \times 10^{17} \text{ s}$ .

**Problema 15** As maiores células existentes são apenas um pouco mais pequenas que a menor coisa que pode ser vista por uma lupa (aproximadamente 0,1 mm). Qual o número máximo  $N$  de células contidas em  $1 \text{ cm}^3$ ?

**15 Rpta.**  $N = 10^6$ .

**Problema 16** A densidade do tecido humano é em média,  $1,071 \text{ g/cm}^3$ . Qual o volume aproximado de uma pessoa que pesa 60 kg? Se a dimensão média das células é 1 micron, quantas células tem em média uma pessoa com 60 kg?

**16 Rpta.**  $V \approx 5,6 \times 10^4 \text{ cm}^3$ ; número de células  $\approx 5,6 \times 10^{16}$ .

**Problema 17** Um corredor de sprint atinge uma velocidade máxima de 10,5 m/s. Qual a sua velocidade em km/h?

**17 Rpta.** 37,8 km/h.

**Problema 18** A posição de um ponto material é dada por  $x = kv^2 \text{ m}$ , onde  $v$  representa a velocidade e  $k$  é uma constante. Determine as unidades de  $k$  no sistema SI.

**18 Rpta.**  $[k] = \text{s}^2/\text{m}$ .

**Problema 19** A posição de um ponto material é dada por  $x = ka^2 \text{ m}$ , onde  $a$  representa a aceleração, e  $k$  é uma constante. Determine as unidades de  $k$ .

**19 Rpta.**  $[k] = \text{s}^4/\text{m}$ .

**Problema 20** A aceleração dum ponto material é dada por  $a = kv^2 \text{ m/s}^2$ , onde  $v$  representa a velocidade, e  $k$  é uma constante. Determine as unidades de  $k$ .

**20 Rpta.**  $[k] = 1/\text{m}$ .

**Problema 21** Pela 2a. lei de Newton, a força  $f$  verifica a igualdade  $f = ma$ . Deduza o factor de conversão da unidade de força do sistema CGS, que é o dyn, para o sistema SI. Lembre-se que  $1 \text{ dyn} = 1 \text{ g}\cdot\text{cm}/\text{s}^2$ .

**21 Rpta.**  $1 \text{ dyn} = 10^{-5} \text{ N}$ .

**Problema 22** Considere um ponto material que se desloca em linha recta ao longo do eixo dos  $xx$  de acordo com a lei:

$$x(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 \text{ m.}$$

Determine as unidades das constantes  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  e  $a_3$  no sistema SI.

**22 Rpta.**  $[a_0] = \text{m}$ ;  $[a_1] = \text{m}/\text{s}$ ;  $[a_2] = \text{m}/\text{s}^2$ ;  $[a_3] = \text{m}/\text{s}^3$ .

**Problema 23** Qual o factor de conversão de metros cúbicos para centímetros cúbicos?

**23 Rpta.**  $1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cm}^3$ .

**Problema 24** Um lata de bebida cilíndrica é feita de uma folha de alumínio com 0,5 mm de espessura. Se a lata tiver uma altura de 11 cm e um diâmetro de 6 cm, qual será a sua massa  $m$ ?

**24 Rpta.**  $m = 35,63 \text{ g}$ .

**Problema 25** As células absorvem nutrientes através da sua superfície. Tendo em conta este dado, diga uma razão pela qual elas se dividem quando atingem um certo tamanho.

### 3 Tratamento de Erros

**Problema 26** Indique o número de algarismos significativos dos números seguintes:

$$\begin{array}{rcl} 425 & , & 4,25 & , & 0,000425 & , \\ 0,40 & , & 0,07 & , & 5,20 & , \\ 9,90 \times 10^5 & , & 0,070 & , & 1025 & . \end{array}$$

**26 Rpta.**

$$\begin{array}{rcl} 3 & , & 3 & , & 3 & , \\ 2 & , & 1 & , & 3 & , \\ 3 & , & 2 & , & 4 & . \end{array}$$

**Problema 27** No seguinte conjunto de medidas indique os algarismos duvidosos, a forma correcta de apresentar as medidas e o número de algarismos significativos:

$$2,7348 \pm 0,003 \text{ cm} \quad , \quad 14,722 \pm 0,2 \text{ m}^2 \quad , \quad 8,34 \pm 1 \text{ km} \quad .$$

**27 Rpta.**

- Primeira medida: o último dígito não é significativo, o que torna o 4 no dígito duvidoso. Mas antes de eliminar o dígito não significativo temos que fazer um arredondamento, pelo que a primeira medida deve ser apresentada como

$$2,735 \pm 0,003 \text{ cm} \quad ,$$

o que corresponde a 4 algarismos significativos.

- Segunda medida: o dígito duvidoso é o 7, mas não é preciso fazer arredondamentos antes de eliminar os dígitos não significativos. A medida deve ser apresentada como

$$14,7 \pm 0,2 \text{ m}^2 \quad ,$$

o que corresponde a 3 algarismos significativos.

- Terceira medida: o dígito duvidoso é o 8, mas não é preciso fazer arredondamentos antes de eliminar os dígitos não significativos. A medida deve ser apresentada como

$$8 \pm 1 \text{ km} \quad ,$$

o que corresponde a 1 algarismo significativo.

**Problema 28** Um estudante regista os seguintes valores experimentais:

$$a = 1,50 \quad , \quad b = 2,0 \quad , \quad c = 9,2 \quad , \quad d = 3,0 \quad ,$$

após o qual usa uma calculadora para obter os resultados seguintes:

$$a \times b = 3 \quad , \quad c/d = 3,066666667 \quad .$$

Tendo em conta os algarismos significativos de  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  indique quais os valores que devem ficar registados como resultado das operações  $a \times b$  e  $c/d$ .

**28 Rpta.**  $a \times b = 3,0$ ;  $c/d = 3,1$ .

**Problema 29** Indique o arredondamento, às décimas, dos valores seguintes:

62,73 , 62,769 , 62,754 , 62,85 .

**29 Rpta.** 62,7; 62,8; 62,8; 62,8.

**Problema 30** Um dado relógio tem, segundo o seu fabricante, uma precisão de 99,995%. Qual será o erro, em minutos, que o relógio apresenta após um mês de funcionamento?

**30 Rpta.** 2,160 min.

**Problema 31** Um comboio ao deslocar-se regista os seguintes intervalos de tempo entre as diversas estações do seu percurso:

de  $A$  até  $B$ : 2,63 h,  
de  $B$  até  $C$ : 8,2 h,  
de  $C$  até  $D$ : 0,873 h,  
de  $D$  até  $E$ : 3 h.

Indique como devem ser registados os tempos de percurso entre  $A$  e  $C$ ,  $B$  e  $D$ ,  $A$  e  $E$ .

**31 Rpta.** 10,8 h; 9,1 h; 15 h.

**Problema 32** Considere uma sala rectangular de comprimento  $5,70 \pm 0,05$  m e largura  $2,30 \pm 0,05$  m. Apresente o valor numérico correcto para a área da sala  $A$  tendo em consideração o erro.

**32 Rpta.**  $A = 13,1 \pm 0,4$  m<sup>2</sup>.

**Problema 33** Numa experiência de queda livre um aluno regista os seguintes valores de tempos de queda (em s):

0,45 , 0,40 , 0,51 , 0,47 , 0,46 .

Determine o valor médio do tempo de queda e o erro de observação. Se o erro de leitura corresponde a 0,01 s como deve ser apresentado o valor do tempo de queda?

**33 Rpta.**  $\bar{t} = 0,46$  s,  $\delta t_{obs} = 0,03$  s.

**Problema 34** Pretende-se determinar a energia cinética  $E_c = 1/2mv^2$  de um corpo a partir dos valores medidos para a massa e velocidade:

$$\begin{aligned} m \pm \delta m &= (1,25 \pm 0,05) \times 10^{-1} \text{ kg} \\ v \pm \delta v &= 0,87 \pm 0,01 \text{ m/s.} \end{aligned}$$

a) Calcule o valor da energia cinética. b) Calcule o erro.

**34 Rpta.** a)  $E_c = 4,73 \times 10^{-2}$  J; b)  $\delta E_c \sim 3,0 \times 10^{-3}$  J.

**Problema 35** Pretende-se calcular a componente da aceleração da gravidade  $g$  ao longo de um plano inclinado  $a = g \sin \theta$ , em que  $\theta$  é o ângulo que o plano faz com a horizontal. Os valores experimentais afectados do erro estatístico são:

$$\begin{aligned}g \pm \delta g &= 978 \pm 3 \text{ cm/s}^2 \\ \theta \pm \delta \theta &= 0,859 \pm 0,002^\circ.\end{aligned}$$

a) Calcule o valor da aceleração. b) Calcule o erro.

**35 Rpta.** a)  $a = 14,7 \text{ cm/s}^2$ ; b)  $\delta a \sim 2,0 \text{ cm/s}^2$ .

**Problema 36** A temperatura de uma sala foi medida em intervalos de cinco minutos durante uma hora. Os resultados obtidos, expressos em graus centígrados, foram:

21,1; 22,0; 21,5; 21,8; 21,7; 21,3; 20,9; 21,0; 21,2; 21,5; 21,2; 21,0.

a) Calcule o valor médio da temperatura durante essa hora. b) Calcule o desvio padrão. c) Considerando que as 12 medições correspondem a 4 séries de três medições cada uma, calcule o desvio padrão da média. d) Considere uma função  $v$  que depende da temperatura segundo a expressão  $v = A\sqrt{T}$ , onde  $A = 100^\circ\text{C}^{-1/2} \text{ m/s}$ . Qual o valor médio de  $v$  e o erro em  $v$  de acordo com as medições anteriores?

**36 Rpta.** a) 21,4; b) 0,35; c) 0,25; d) 462,6 m/s; 3 m/s.

## 4 Mecânica

### 4.1 Cinemática

**Problema 37** Qual o valor da aceleração  $a$  num movimento uniforme?

**37 Rpta.**  $a = 0 \text{ m/s}^2$  (com excepção do movimento circular uniforme).

**Problema 38** Um transatlântico faz uma viagem de 3600 milhas (náuticas) em 8 dias e 8 horas. Qual é a sua velocidade média  $v$ , em km/h, durante a viagem?

**38 Rpta.**  $v = 33,36 \text{ km/h}$ .

**Problema 39** Qual é a velocidade  $v$ , em km/s, da Terra na sua órbita em torno do Sol?

**39 Rpta.**  $v = 29,89 \text{ km/s}$ .

**Problema 40** Um carro faz uma viagem de 200 km com uma velocidade média de 40 km/h. Um segundo carro inicia a viagem 1 hora depois e, seguindo a mesma estrada, chega ao mesmo destino que o primeiro à mesma hora. Qual foi a velocidade média  $v$  do segundo carro?

**40 Rpta.**  $v = 50,00 \text{ km/h}$ .

**Problema 41** Uma partícula num movimento plano, num dado instante  $t$  passa pelo ponto  $P$   $(-4,3)$  m.

(a) Qual o vector posição nesse instante  $t$ , relativamente à origem do referencial.

(b) Qual o módulo (ou norma) desse vector posição?

**41 Rpta.** (a)  $\vec{r} = -4\vec{e}_x + 3\vec{e}_y$  m; (b) 5 m.

**Problema 42** Um objecto desloca-se ao longo do eixo dos  $xx$  com velocidade constante. Se ele se encontra na posição  $x = 3$  m quando  $t = 2$  s, e na posição  $x = 7$  m quando  $t = 3$  s, qual é a sua velocidade  $v$ ? Escreva a posição do objecto na forma  $x = v_0t + x_0$ , em que  $x$  e  $x_0$  estão em metros e  $t$  em segundos.

**42 Rpta.**  $v = 4,00 \text{ m/s}$ ;  $x = 4t - 5$  m.

**Problema 43** Um automóvel desloca-se ao longo de uma recta a uma velocidade de 50 milhas/h. Em  $t = 0$  o condutor trava e o carro desacelera uniformemente até à velocidade de 30 milhas/h em 5 s. Qual é o valor da aceleração? Exprima o resultado em (milhas/h)/s e em pé/s<sup>2</sup>.

**43 Rpta.**  $-4,00 \text{ (milhas/h)/s}$ ;  $-5,867 \text{ pé/s}^2$ .

**Problema 44** Duas estradas, rectas e horizontais, cruzam-se perpendicularmente, uma por cima e outra por baixo de uma ponte de 12 m de altura. Num dado instante inicial,  $t_0$ , dois carros  $A$  e  $B$  passam exactamente um por cima do outro, isto é, pela mesma vertical. Num instante posterior,  $t$ , o carro  $A$  percorreu 160 m, contados a partir do instante  $t_0$  e o carro  $B$  percorreu, nas mesmas condições, 120 m. Considerando a velocidade dos dois carros constante calcule:

- (a) Quais os vectores velocidades dos dois carros?
- (b) Quais os vectores de posição dos dois carros?
- (c) Qual a distância  $d$  que separa os carros no instante  $t$ ?

**44 Rpta.** (a)  $\vec{v}_A = 160\vec{e}_y/t$  m/s,  $\vec{v}_B = 120\vec{e}_x/t$  m/s; (b)  $\vec{r}_A = 160\vec{e}_y$  m,  $\vec{r}_B = 120\vec{e}_x + 12\vec{e}_z$  m; (c)  $d = 200,36$  m.

**Problema 45** Qual deve ser o valor da aceleração constante de um avião ligeiro para que ele atinja a velocidade necessária para descolar ( $v = 80$  milhas/h) numa pista de 1000 ft? Escreva o resultado em múltiplos de  $g$  ( $= 9,8$  m/s<sup>2</sup>, 1 milha = 1,6 km e 1 ft = 30,48 cm).

**45 Rpta.**  $a = 0,21 g$ .

**Problema 46** Um paraquedista cai com uma velocidade limite de 120 milhas/h. O pára-quedas leva 2 s a abrir e a reduzir a sua velocidade para 20 milhas/h. Qual a aceleração, que se assume constante, que o paraquedista sofre? Escreva o resultado em unidades de  $g$ . Acha que este desporto é aconselhável a pessoas que desmaiam a  $2g$ ?

**46 Rpta.**  $a = 2,3g$ ; não.

**Problema 47** Um foguetão é lançado da superfície da Terra com uma aceleração vertical de  $4 g$ . Ao fim de 10 s, qual é a velocidade  $v$  do foguetão e a que altura  $h$  é que ele subiu?

**47 Rpta.**  $v = 392$  m/s,  $h = 1960$  m.

**Problema 48** Mach é uma unidade de velocidade. Mach 1 corresponde à velocidade do som no ar e ao nível do mar é igual a 330 m/s. Mach 2 corresponde a duas vezes a velocidade do som e assim por diante. Um foguetão de grande aceleração atinge Mach 1,2 ao fim de um percurso de 300 m. Qual a sua aceleração? Exprima o resultado em múltiplos de  $g$ , a aceleração da gravidade.

**48 Rpta.**  $a = 26,6g$ .

**Problema 49** Uma bola é lançada verticalmente do cimo de uma torre com uma velocidade inicial de 45 m/s. Qual é a velocidade  $v$  descendente da bola 3 s depois de ter passado o topo da torre no seu percurso de descida?

**49 Rpta.**  $v = 74,40$  m/s.

**Problema 50** As equações paramétricas do movimento de um projectil, lançado horizontalmente, tomando para origem dos eixos o ponto de partida (à saída da boca da arma) e para sentidos positivos dos eixos os indicados pelos versores, são:

$$x(t) = 100t \text{ m e } y(t) = -5t^2 \text{ m.}$$

O alvo foi atingido ao fim de 2,0 s.

- (a) Escreva a equação do movimento.
- (b) Determine a posição do alvo.
- (c) Determine a distância a que se encontra o alvo.
- (d) Escreva a equação da trajectória e classifique a trajectória.
- (e) Diga se a distância calculada em c) coincide com o espaço percorrido pelo projectil.

**50 Rpta.** (a)  $\vec{r} = 100t\vec{e}_x - 5t^2\vec{e}_y$  m; (b)  $\vec{r} = 200\vec{e}_x - 20\vec{e}_y$  m; (c) 201 m; (d) a trajectória é parabólica, dada pela equação  $y = -5 \times 10^{-4}x^2$ . (e) não.

**Problema 51** Seja um passarinho, com ambições de voar, mas sem ter crescido o suficiente, e que se lança do ninho, com uma velocidade  $v_0 = 5$  m/s, paralela ao chão. Assumindo que o passarinho não consegue ganhar mais nenhuma velocidade por si próprio, e que inicialmente se encontra a uma altura de 20 m do chão, qual a sua velocidade de impacto? E qual a sua trajectória? (despreze as forças de fricção).

**51 Rpta.**  $v = 20,42$  m/s; a trajectória é parabólica, dada pela equação  $y = 20 - gx^2/50$ .

**Problema 52** Um atleta começa um salto com uma velocidade horizontal de 10,5 m/s e atinge uma altura de 0,6 m.

- (a) Qual a sua velocidade total inicial?
- (b) Qual o ângulo inicial do salto?
- (c) Qual a duração total do salto?
- (d) Considerando que o atleta começa o salto da posição vertical, isto é, que a altura inicial é 0,6 m, qual o alcance do salto na horizontal?

**52 Rpta.** (a) 11 m/s; (b)  $18,08^\circ$ ; (c) 0,7 s; (d) 8,82 m.

**Problema 53** A aceleração da gravidade na Lua é cerca de sete vezes menor do que na Terra.

- (a) Qual a relação, para uma dada pessoa, entre as alturas máximas de salto na Lua e na Terra?
- (b) Qual a relação entre os tempos de duração desses dois saltos?

**53 Rpta.** (a)  $h_L = 7h_T$ ; (b)  $t_L = 7t_T$ .

**Problema 54** Uma bala de canhão é lançada do topo de uma colina com 80 m de altura, com uma velocidade de módulo  $v = 50$  m/s e segundo um ângulo  $\theta = 37^\circ$  acima da horizontal. Determine:

- (a) o tempo de permanência do projectil no ar;
- (b) as coordenadas do ponto onde a bala atinge o solo;
- (c) a velocidade nesse instante.

**54 Rpta.** (a) 8 s; (b)  $(x, y) = (325, 0)$  m; (c)  $\vec{v} = 40\vec{e}_x - 50\vec{e}_y$  m/s,  $|\vec{v}| = 64$  m/s.

**Problema 55** Um projectil é lançado fazendo um ângulo  $\theta = 45^\circ$  com a horizontal. Mostre que o alcance do projectil é igual a quatro vezes a altura máxima alcançada.

**Problema 56** As equações paramétricas de um dado movimento plano são:

$$x(t) = 3t^2 - 2t \text{ cm}, \quad y(t) = 4t^2 - 5t \text{ cm}.$$

- (a) Qual o tipo de movimento descrito por estas equações?
- (b) Determine o ângulo  $\theta$  formado pelos vectores velocidade e aceleração no instante  $t = 1$  s.

**56 Rpta.** (a) Movimento uniformemente variado; (b)  $\theta = 16^\circ 61'$ .

**Problema 57** Um objecto segue uma trajectória circular com um raio  $R = 10$  m. Sendo o ponto de chegada diametralmente oposto ao ponto de partida, calcule o comprimento da trajectória.

**57 Rpta.**  $l = 31,4$  m.

**Problema 58** Qual a velocidade angular do movimento da Terra em torno de si própria? Qual a velocidade linear à superfície da Terra?

**58 Rpta.**  $\omega = 7,3 \times 10^{-5}$  rad/s,  $v = 1670$  km/h.

**Problema 59** Um objecto move-se numa trajectória circular de raio  $R = 3$  m, com aceleração centrípeta igual a  $3g$ . Qual é a sua velocidade em m/s? Qual é o período do seu movimento?

**59 Rpta.**  $v = 9,390$  m/s;  $T = 2,007$  s.

**Problema 60** O PoSat (ver Fig.4) encontra-se numa órbita quase circular a 790 km de altura.

- (a) Calcule a velocidade linear  $v$  do PoSat.
- (b) Calcule o período  $T$  da órbita do PoSat.

**60 Rpta.** (a)  $v = 7500$  m/s; (b)  $T = 1,67$  h.

**Problema 61** Uma partícula descreve uma circunferência de raio  $R = 27$  cm com movimento circular uniformemente acelerado. Num ponto  $A$ , a sua velocidade é  $v_1 = 9$  cm/s e, num outro ponto  $B$ , onde a partícula se encontra 0,25 s após a passagem em  $A$ , a sua velocidade é  $v_2 = 10$  cm/s.

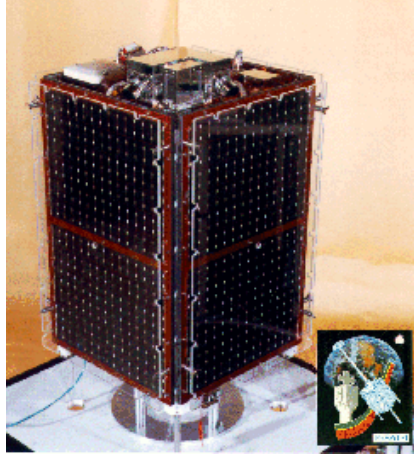


Figura 4: O PoSat, primeiro satélite português, que entrou em órbita em 26 de Setembro de 1993.

- (a) Determine o módulo da aceleração da partícula em  $A$ .
- (b) Determine a tangente do ângulo formado pela aceleração com o vector posição em  $A$ , em relação ao centro.

**61 Rpta.** (a)  $a = 5 \text{ cm/s}^2$ ; (b)  $\tan(\alpha) = -4/3$ .

**Problema 62** Qual é o valor da velocidade angular atingida por uma roda inicialmente em repouso, ao fim de 10 s, se sujeita a uma aceleração angular uniforme de 10 rot/s<sup>2</sup>?

**62 Rpta.**  $6,283 \times 10^2 \text{ rad/s}$ .

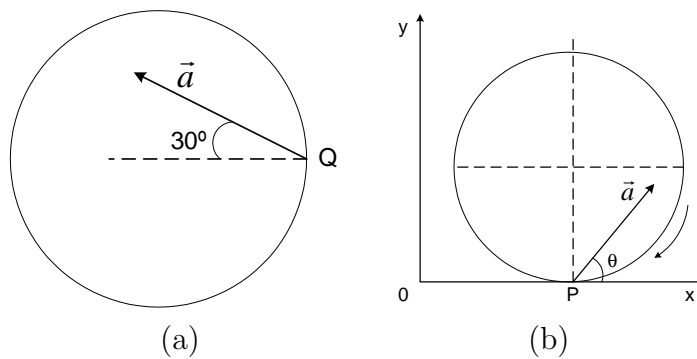


Figura 5: Movimento circular

**Problema 63** Uma partícula descreve uma trajetória circular (Fig 5(a)), no sentido dos ponteiros do relógio. O raio da trajetória é  $R = 4,8 \text{ m}$ . O valor da aceleração no ponto  $Q$  é  $24 \text{ m/s}^2$ .

- (a) Represente na figura o vector velocidade da partícula no ponto  $Q$ .
- (b) Caracterize o movimento da partícula.

(c) Determine as componentes tangencial e normal da aceleração em  $Q$  (em módulo).

(d) Determine o valor da velocidade  $v$  da partícula em  $Q$ .

**63 Rpta.** (b) Movimento circular variado; (c)  $a_t = 12 \text{ m/s}^2$ ,  $a_n = 21 \text{ m/s}^2$ ; (d)  $v = 10 \text{ m/s}$ .

**Problema 64** Uma partícula descreve uma trajetória circular tangente ao eixo dos  $xx$ , no ponto  $P$  (Fig5(b)). Os valores da velocidade e da aceleração nesse ponto são, respectivamente,  $10 \text{ m/s}$  e  $25 \text{ m/s}^2$ ;  $\vec{a}$  representa o vector aceleração em  $P$  e  $\theta = 37^\circ$ .

(a) Escreva a expressão do vector velocidade e do vector aceleração em  $P$ .

(b) Determine o raio da circunferência.

(c) Caracterize, justificando, o movimento no instante em que a partícula passa em  $P$ .

**64 Rpta.** (a)  $\vec{v} = -10\vec{e}_x \text{ m/s}$ ,  $\vec{a} = 20\vec{e}_x + 15\vec{e}_y \text{ m/s}^2$ ; (b)  $6,67 \text{ m}$ ; (c) retardado.

**Problema 65** Um astrónomo afirma ter encontrado um novo planeta, cuja órbita é também aproximadamente circular e se encontra a metade da distância entre a Terra e o Sol e cujo período é de 240 dias. Diga se a afirmação pode ser verdadeira.

**65 Rpta.** Não.

## 4.2 Dinâmica

**Problema 66** Uma força de intensidade  $41,6 \text{ N}$  provoca uma aceleração de  $4,2 \text{ m/s}^2$ . Determine a massa do objecto.

**66 Rpta.**  $9,9 \text{ kg}$ .

**Problema 67** Um carro com uma massa de  $1000 \text{ kg}$ , que se desloca com uma velocidade de  $90 \text{ km/h}$ , é obrigado a travar subitamente, após o qual demora  $6 \text{ s}$  em ficar completamente parado. Partindo do princípio de que desacelera de maneira uniforme determine a intensidade da força que faz parar o carro.

**67 Rpta.**  $4170 \text{ N}$ .

**Problema 68** Determine o peso que um astronauta de massa  $m = 70 \text{ kg}$  deverá ter nos planetas seguintes: (a) Terra ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ); (b) Lua ( $g = 1,7 \text{ m/s}^2$ ); (c) Vénus ( $g = 8,7 \text{ m/s}^2$ ).

**68 Rpta.** (a)  $625 \text{ N}$ ; (b)  $119 \text{ N}$ ; (c)  $609 \text{ N}$ .

**Problema 69** Determine a aceleração de um *skydiver* (atleta que salta de um avião e fica em queda livre por algum tempo, antes de abrir o pára-quedas) em queda livre, se a sua massa for de  $65 \text{ kg}$  e se a resistência do ar exercer uma força de  $250 \text{ N}$ .

**69 Rpta.**  $5,95 \text{ m/s}^2$ .

**Problema 70** Um homem salta de uma torre de altura  $h = 5$  m. Quando os pés tocam o solo, dobra os joelhos de modo a que o seu tronco e cabeça desaceleram ao longo de uma distância  $d = 0,7$  m. Se as massas do seu tronco e cabeça somarem 50 kg, determine:

- (a) a velocidade do homem no momento imediatamente anterior aquele em que os seus pés tocam o solo;
- (b) a intensidade da força média exercida sobre o seu tronco e cabeça pelas pernas durante a desaceleração.

**70 Rpta.** (a) 9,9 m/s; (b) 3500 N.

**Problema 71** De acordo com um modelo simplificado de coração de um mamífero, em cada pulsação são acelerados aproximadamente 20 g de sangue, que vão da velocidade 0,25 m/s à velocidade de 0,35 m/s em 0,10 s. Qual a intensidade da força média exercida pelos músculos do coração?

**71 Rpta.** 0,02 N.

**Problema 72** Uma partícula de massa  $m = 0,4$  kg está sujeita a duas forças,  $\vec{F}_1 = 2\vec{e}_x - 4\vec{e}_y$  N e  $\vec{F}_2 = -2,6\vec{e}_x + 5\vec{e}_y$  N. Determine a posição e velocidade da partícula no instante  $t = 1,6$  s se esta partir do repouso, na origem, no instante  $t = 0$  s.

**72 Rpta.**  $\vec{r} = -1,92\vec{e}_x + 3,20\vec{e}_y$  m e  $\vec{v} = -2,40\vec{e}_x + 4,00\vec{e}_y$  m/s.

**Problema 73** Um aluno arrasta ao longo do chão uma caixa de cartão de massa  $m = 10$  kg, usando para tal uma corda inclinada num ângulo  $\theta = 30^\circ$  com a horizontal, na qual aplica uma tracção de 40 N. Determine:

- (a) a aceleração da caixa;
- (b) a intensidade da força vertical exercida pelo solo sobre a caixa de cartão (despreze o atrito).

**73 Rpta.** (a) 3,5 m/s<sup>2</sup>; (b) 78 N.

**Problema 74** Um balde pesa 20 N e está pendurado por meio de uma corda, de massa desprezável, de outro balde, cujo peso é também 20 N. Ambos os baldes estão a ser puxados para cima, com uma aceleração de 1,65 m/s<sup>2</sup>, por outra corda ao balde superior. Calcule a tensão a que cada corda está sujeita.

**74 Rpta.** 46,7 N e 23,4 N.

**Problema 75** Uma viatura inicia a sua descida ao longo de um plano inclinado, cuja altura e comprimento estão na razão de 1 para 4. Determine a velocidade da viatura quando atinge o fim da rampa de 50 m de comprimento (despreze o atrito).

**75 Rpta.** 15,7 m/s.

**Problema 76** Um praticante de esqui inicia uma descida por uma colina com uma inclinação  $\theta = 30^\circ$ . Determine:

1. a sua aceleração;
2. a sua velocidade ao fim de 6 s (considere em ambos casos que o coeficiente de atrito cinético é 0,10).

**76 Rpta.** (a) 4,0 m/s<sup>2</sup>; (b) 24 m/s.

**Problema 77** Duas crianças estão sentadas num trenó, que é puxado com uma corda sobre a neve por um adulto. A corda forma um ângulo de 40° com a horizontal. A massa conjunta das crianças é de 45 kg e a massa do trenó é de 5 kg. Os coeficientes de atrito estático e de atrito cinético são, respectivamente, 0,20 e 0,15. Determine a intensidade da força de atrito exercida sobre o trenó pelo solo e a intensidade da aceleração do trenó se a tensão tiver uma intensidade de (a) 100 N, (b) 140 N.

**77 Rpta.** (a) 76,6 N e  $a = 0$ ; (b) 60,0 N e  $a = 0,6$  m/s<sup>2</sup>.

**Problema 78** Um corpo com uma massa  $m = 2$  kg encontra-se sobre um plano inclinado de 30° em relação à horizontal. Determine a aceleração do corpo se nele actuar uma força de intensidade 12 N, aplicada paralelamente ao solo, nas situações seguintes:

- (a) a subir o plano inclinado;
- (b) a descer o plano inclinado (desprezar o atrito em ambos casos).

**78 Rpta.** (a) 1,1 m/s<sup>2</sup>; (b) 10,9 m/s<sup>2</sup>.

**Problema 79** Um bloco com uma massa  $m_1 = 250$  g encontra-se sobre um plano inclinado num ângulo  $\theta = 30^\circ$  em relação à horizontal (ver Fig.6). O bloco está ligado a outro bloco com uma massa  $m_2 = 150$  g através de um fio inextensível e de massa desprezável, por meio de uma roldana sem atrito.

- (a) Calcule a aceleração dos dois blocos;
- (b) determine a intensidade da tensão no fio.

**79 Rpta.** (a) 0,61 m/s<sup>2</sup>; (b) 1,4 N.

**Problema 80** Uma caixa de massa  $m = 12$  kg é puxada por meio de uma corda que faz um ângulo  $\theta = 25^\circ$  em relação à horizontal. Nestas condições:

- (a) se o coeficiente de atrito estático fôr igual a 0,5 qual é a intensidade da tensão necessária para que a caixa inicie o seu movimento?
- (b) se o coeficiente de atrito cinético fôr igual a 0,3 qual é a aceleração da caixa?
- (c) qual é a tensão na corda quando a aceleração da caixa corresponde a  $g$ ?

**80 Rpta.** (a) 535 N; (b) 1,16 m/s<sup>2</sup>; (c) 163 N.

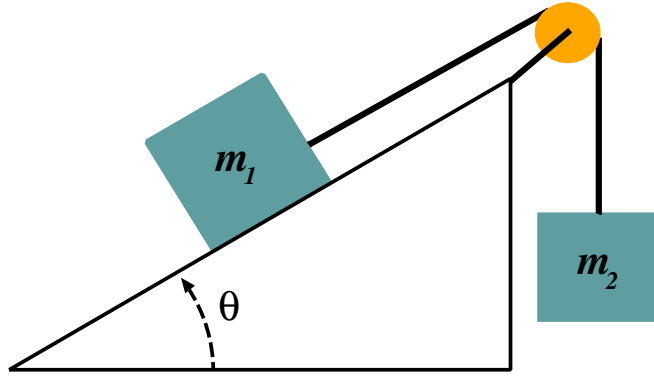


Figura 6: Sistema de blocos sobre um plano inclinado.

**Problema 81** Uma força horizontal com uma intensidade de 70 N empurra um bloco com um peso de 30 N contra uma parede vertical, tal como indicado na Fig.7. O coeficiente de atrito estático entre a parede e o bloco corresponde a 0,55 e o coeficiente de atrito cinético corresponde a 0,35. Considere que o bloco se encontra inicialmente em repouso. Nestas condições:

- A força aplicada impede o bloco de cair? justifique a sua resposta.
- Determine as forças que actuam sobre o bloco.
- Determine a intensidade que  $\vec{F}$  deve ter para iniciar o movimento.
- Determine a intensidade que  $\vec{F}$  deve ter para que o corpo deslize com velocidade constante.
- Determine a intensidade que  $\vec{F}$  deve ter para que o corpo deslize com uma aceleração de  $4 \text{ m/s}^2$ .

**81 Rpta.** (b)  $F_v = 30 \text{ N}$ ,  $F_H = 70 \text{ N}$ ; (c) 54,5 N; (d) 85,7 N; (e) 50,8 N.

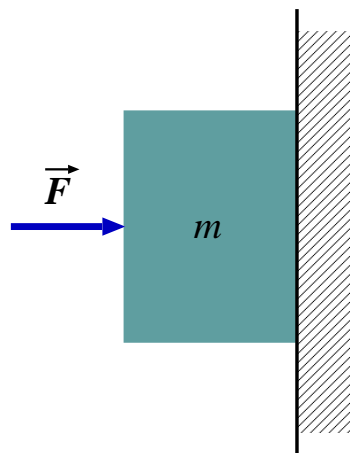


Figura 7: Bloco empurrado contra uma parede vertical.

**Problema 82** Em que posição devem ser empurrados os blocos da Fig.8 para que a força de contacto entre os blocos seja mínima? (considere que  $m_1 = 30$  kg e  $m_2 = 15$  kg).

**82 Rpta.** Na posição I.

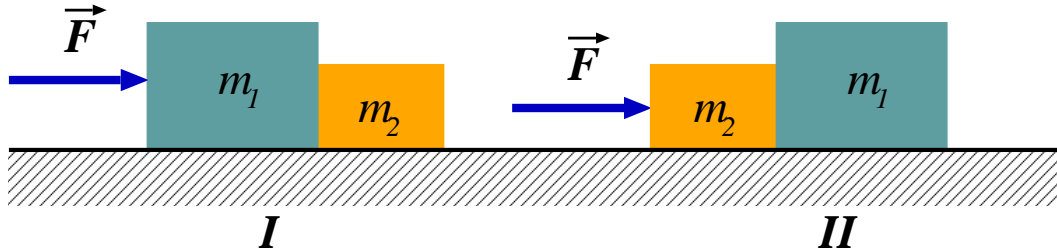


Figura 8: Blocos em contacto.

**Problema 83** Um camião transporta uma caixa de 200 kg de massa cuja base é um quadrado de 1 m de lado e que tem 2 m de altura. A massa da caixa está uniformemente distribuída pelo seu volume e o coeficiente de atrito estático entre a base da caixa e a plataforma do camião é de 0,8. A partir de que valores da aceleração do camião é que a caixa desliza?

**83 Rpta.**  $7,84 \text{ m/s}^2$ .

**Problema 84** Uma pessoa com um peso de 100 kg encontra-se dentro de um elevador, em cima de uma balança. Se o elevador descer com uma aceleração de  $a = 2 \text{ m/s}^2$ , qual é o valor em newton que a balança indica? E se o elevador subir com velocidade uniforme  $v = 2,5 \text{ m/s}$ , qual será o valor indicado?

**84 Rpta.**  $7,80 \times 10^2 \text{ N}$ ;  $9,80 \times 10^2 \text{ N}$ .

**Problema 85** Num planeta hipotético um pêndulo gravítico simples com um comprimento de 5 m tem um período de 8 s. Determine a aceleração de queda livre nesse planeta.

**85 Rpta.**  $3,08 \text{ m/s}^2$ .

### 4.3 Conservação da quantidade de movimento

**Problema 86** Um homem e uma criança, de massa 80 kg e 40 kg respectivamente, estão parados numa pista de patinagem sobre o gelo. Depois de se empurrarem mutuamente, o homem afasta-se com uma velocidade de 0,5 m/s em relação ao gelo. Calcule a distância  $d$  entre o homem e a criança ao fim de 5 s.

**86 Rpta.**  $d = 7,5 \text{ m}$ .

**Problema 87** Um patinador de massa  $m_1 = 75$  kg desliza sobre o gelo com uma velocidade  $u_1 = 5 \text{ m/s}$ , segurando nos braços a sua parceira, cuja massa é  $m_2 = 50$  kg. Com elegância ele larga a parceira, que começa a deslizar com uma velocidade  $v_2 = 3 \text{ m/s}$ , perpendicular à direcção original de movimento do patinador. Desprezando o atrito do gelo, determine a nova velocidade do patinador.

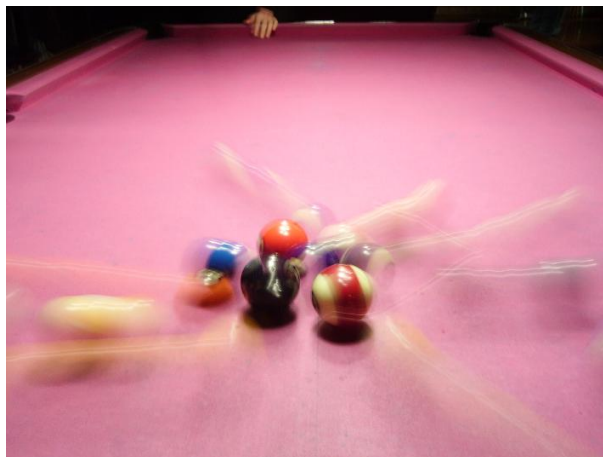


Figura 9: Colisão de bolas de snooker.

**87**  $u_1 = 8,57 \text{ m/s}$ ,  $\theta = 13,5^\circ$ .

**Problema 88** Uma lula pode expelir de uma vez 100 g de tinta a uma velocidade  $v = 5 \text{ m/s}$  para afugentar os seus predadores e fugir deles. Se a massa com que a lula fica é 400 g que velocidade  $v$  adquire ao expulsar a tinta? Despreze a força de atrito exercida pela água na lula.

**88 Rpta.**  $v = 1,25 \text{ m/s}$ .

**Problema 89** Uma carrinha de 1,8 T percorre a estrada rumo a leste, com velocidade de 72 km/h. Em dado instante choca com um camião de 4 T, que se deslocava para o sul, com velocidade de 27 km/h. Se permaneceram unidos depois do choque, qual seria o vector velocidade depois da colisão?

**89 Rpta.**  $v = 29 \text{ km/h} \approx 8 \text{ m/s}$ ,  $\tan \alpha = 0,84$ .

**Problema 90** Dois corpos, com velocidades perpendiculares entre si, e iguais a 5 e 10 m/s respectivamente, chocam um com outro, permanecendo ligados depois disto. Determine a massa do segundo dos corpos sabendo que a massa do primeiro era de 4 kg e a velocidade depois do choque formava um ângulo de  $45^\circ$  com a velocidade do primeiro.

**90**

**Problema 91** Dois corpos  $A$  e  $B$  de massas  $m_A = m_B = 2 \text{ kg}$  colidem. As velocidades antes da colisão são  $\vec{v}_A = 15\vec{e}_x + 30\vec{e}_y \text{ m/s}$  e  $\vec{v}_B = -15\vec{e}_x + 5\vec{e}_y \text{ m/s}$  e a velocidade de  $A$  depois da colisão é  $\vec{u}_A = -5\vec{e}_x + 20\vec{e}_y \text{ m/s}$ . Determine a velocidade final de  $B$ .

**91 Rpta.**  $\vec{u}_B = 5\vec{e}_x + 15\vec{e}_y \text{ m/s}$ .

**Problema 92** Um brinquedo desloca-se sobre uma superfície horizontal com velocidade  $v_1 = 1,5 \text{ m/s}$ , terminando por colidir com outro brinquedo que se desloca na mesma direcção, com velocidade  $v_2 = 0,5 \text{ m/s}$ . Se após a colisão os brinquedos continuam a deslocar-se juntos, na mesma direcção, com velocidade  $u = 1 \text{ m/s}$ , determine a relação entre as suas massas.

**92 Rpta.**  $m_1/m_2 = 1$ .

**Problema 93** Um bloco com uma massa  $m_1$  encontra-se ligado horizontalmente a outro bloco com uma massa  $m_2 = 5$  kg através de uma mola. Quando os blocos são afastados e largados começam a oscilar em torno do seu centro de massa (despreze o atrito). Determine a velocidade do segundo bloco quando o primeiro bloco se aproxima do centro de massa com uma velocidade  $v_1 = 6,5$  m/s.

**93 Rpta.**  $v_2 = 1,3$  m/s, orientada ao contrário de  $v_1$ .

**Problema 94** Duas pessoas, de massas  $m_1 = 80$  kg e  $m_2 = 50$  kg, respectivamente estão sentadas nos assentos de uma canoa de massa  $m = 50$  kg, separados entre si por uma distância  $d = 3$  m e localizados simetricamente em relação ao centro de massa da canoa. Enquanto a canoa permanece parada num lago as duas pessoas decidem trocar de lugar. Determine o deslocamento do centro de massa depois das pessoas trocarem de lugar.

**94 Rpta.** 0,50 m.

**Problema 95** Uma espingarda dispara num segundo 10 balas de 10 g cada, com uma velocidade  $v = 500$  m/s. As balas são disparadas contra um bloco de madeira. Determine:

- (a) o momento linear de cada bala;
- (b) a energia cinética de cada bala;
- (c) a força média exercida pelas balas sobre o bloco de madeira.

**95 Rpta.** (a) 5 N·s; (b) 1250 J; (c) 50 N.

**Problema 96** No decorrer de um treino militar um recruta usa um rifle automático, que dispara balas de 60 g com uma velocidade  $v = 1000$  m/s. A frequência de disparo do rifle é de 250 balas por minuto. Calcule a força média que o rifle exerce sobre o recruta.

**96 Rpta.** 250 N.

**Problema 97** Um núcleo radioactivo, inicialmente em repouso, desintegra-se emitindo um electrão e um neutrino, em direcções mutuamente perpendiculares. O momento linear do electrão é  $p_e = 1,2 \times 10^{-22}$  N·s e o do neutrino é  $p_n = 6,4 \times 10^{-23}$  N·s. Determine:

- (a) o momento linear do núcleo quando recua;
- (b) a energia cinética do núcleo recuante (a massa do núcleo residual é  $5,8 \times 10^{-26}$  kg).

**97 Rpta.** (a)  $\vec{p} = -\vec{e}_x (1,2 \times 10^{-22}) - \vec{e}_y (6,4 \times 10^{-23})$  N·s; (b)  $E_c = 1,6 \times 10^{-19}$  J.

**Problema 98** Um vagão de carga com uma massa  $m = 10$  toneladas, aberto na parte superior, desliza sobre os carris com uma velocidade  $v = 0,6$  m/s, quando de repente começa a chover. Determine a velocidade do vagão se após algum tempo a chuva acumula meia tonelada de água no seu interior.

**98 Rpta.** 0,57 m/s.

**Problema 99** Sobre um corpo actua uma força  $F = 10 + 2t$  ( $t$  em segundos,  $F$  em N). Determine (com  $p(0) = 0$  N·s):

- (a) a quantidade de movimento do corpo;
- (b) a variação da quantidade de movimento entre 0 e 4 segundos;
- (c) o tempo  $t_1$  para o qual  $p(t_1) = 200$  N·s.

**99 Rpta.** (a)  $p = t^2 + 10t$  N·s; (b) 56 N·s; (c) 10 s.

#### 4.4 Trabalho, Potência e Energia

**Problema 100** Uma mulher de 55 kg escala uma montanha com 3000 m de altura.

- (a) Calcule o trabalho realizado pelo peso durante a escalada.
- (b) Supondo que um quilograma de gordura fornece a  $3,8 \times 10^7$  J de energia, calcule a gordura consumida durante a escalada, admitindo que apenas 20% da energia consumida é convertida em energia mecânica.

**100 Rpta.** (a)  $W_p = -1,6 \times 10^6$  J, (b) 212,75 g.

**Problema 101** Um objecto de massa igual a 100 kg é lançado verticalmente no campo gravítico da Terra com uma velocidade inicial de 5 m/s.

- (a) Calcule a altura que o objecto atinge.
- (b) Calcule o trabalho realizado pela força da gravidade.
- (c) Verifique que o princípio de conservação da energia é observado calculando a energia total inicial e a energia total quando o objecto se encontra na altura máxima.
- (d) A que altura se encontra o objecto quando a sua velocidade é igual a 2 m/s?

**101 Rpta.** (a) 1,27 m; (b) -1250 J; (d) 1,07 m.

**Problema 102** Uma partícula deslocou-se ao longo de uma recta passando por uma posição  $A$  e por outra posição  $B$ . Estas posições, num dado referencial, podem ser definidas pelas coordenadas  $x_A = -2,0$  m e  $x_B = 4,0$  m. Qual o trabalho realizado sobre a partícula, entre  $A$  e  $B$ :

- (a) Por uma força  $\vec{F} = -40\vec{e}_x$  N?
- (b) Por uma força  $\vec{F} = 10\vec{e}_x - 20\vec{e}_y$  N?

**102 Rpta.** (a) -240 J; (b) 60 J.

**Problema 103** Uma partícula tem um movimento circular sob a acção de uma força cuja componente tangencial,  $\vec{F}_t$ , é constante em módulo.

- (a) Poderá ser constante o módulo da componente centrípeta,  $\vec{F}_c$ ?
- (b) Calcule o trabalho realizado pela força tangencial durante uma rotação.
- (c) Calcule o trabalho realizado pela força centrípeta durante uma rotação.

**103 Rpta.** (a) não; (b)  $2\pi R |\vec{F}_t|$ ; (c) 0.

**Problema 104** Uma criança de 40 kg abandona-se do alto de um “escorrega” de 3,0 m de altura e 6,0 m de comprimento e atinge o final do “escorrega” com uma velocidade de 6,0 m/s. Qual a força de atrito, suposta constante, que actuou na criança?

**104 Rpta.**  $F_a = 76$  N.

**Problema 105** Um gafanhoto com uma massa de 30 g salta de uma árvore, a 1,6 m de altura, segundo uma direcção que faz com a horizontal um ângulo de  $30^\circ$ . Considerando que a altura máxima atingida no salto é de 1,8 m, calcule:

- (a) a velocidade inicial do gafanhoto,
- (b) a força exercida pelo gafanhoto na árvore para executar o salto, considerando que as patas exercem essa força durante 0,2 s,
- (c) a distância na horizontal alcançada pelo gafanhoto,
- (d) a energia cinética máxima adquirida pelo gafanhoto e o ponto do salto em que esse valor foi atingido.

**105 Rpta.** (a) 4 m/s; (b) 0,6 N; (c) 2,8 m; (d) 0,7 J.

**Problema 106** Uma massa de 5 kg está ligada a um fio de comprimento  $l = 3$  m, com o extremo livre fixo no tecto. A massa é deslocada num ângulo de  $40^\circ$  com a vertical e abandonada. Determine a velocidade da massa quando o fio forma um ângulo de  $25^\circ$  com a vertical.

**106 Rpta.** 2,87 m/s.

## 4.5 Corpo Rígido

**Problema 107** Quatro massas pontuais estão localizadas da maneira seguinte:  $m_1 = 1$  kg em  $x = 0$  m,  $y = 0$  m;  $m_2 = 2$  kg em  $x = 0$  m,  $y = 6$  m;  $m_3 = 6$  kg em  $x = 4$  m,  $y = 6$  m, e  $m_4 = 3$  kg em  $x = 4$  m,  $y = 0$  m.

- (a) Calcule a posição do centro de massa deste sistema.
- (b) Calcule o momento de inércia  $I$  em torno da massa  $m_1$ .

**107 Rpta.** (a)  $\vec{r} = (3\vec{e}_x + 4\vec{e}_y)$  m; (b)  $I = 432$  kg/m<sup>2</sup>.

**Problema 108** Uma roda com um raio  $R = 15$  cm e um momento de inércia rotacional  $I = 0,085$  kg m<sup>2</sup> roda inicialmente à taxa de 75 rotações por minuto.

(a) Qual a sua velocidade angular em rad/s?

(b) Se um travão aplicar uma força tangencial de fricção constante de 10 N, quantas rotações fará a roda antes de parar?

**108 Rpta.** (a)  $2,5\pi$  rad/s; (b) 0,28.

## 5 Mecânica de Fluidos

### 5.1 Hidrostática

**Problema 109** Porque é que as paredes das barragens são mais espessas no fundo que no topo? (ver Figura 10).



Figura 10: Barragem da Éder, na Alemanha.

**Problema 110** Um taco de forma cónica é actuado por uma força de 15 N. O raio do lado do pico é 0,1 mm e o raio da cabeça é 5 mm. a) Calcule a pressão aplicada na cabeça do taco. b) Calcule a pressão aplicada no pico do taco.

**110 Rpta.** a)  $2 \times 10^5$  Pa; b)  $5 \times 10^8$  Pa.

**Problema 111** Aplica-se uma força de 4 N ao êmbolo de uma seringa de secção transversal  $2,5 \text{ cm}^2$ . a) Qual é a pressão no líquido dentro da seringa? b) O líquido passa através de uma agulha hipodérmica de  $0,008 \text{ cm}^2$  de secção. Que força há que aplicar no extremo da agulha para evitar que o líquido saia? c) Qual a força mínima que se deve aplicar ao êmbolo para injectar líquido numa veia em que a pressão, em relação à pressão atmosférica, é de 100 mm Hg?

**111 Rpta.** a)  $1,6 \times 10^4$  Pa; b)  $1,28 \times 10^{-2}$  N; c) 3,33 N.

**Problema 112** Suponha que em vez de medir a pressão em mm de mercúrio, media a pressão em mm de óleo. Qual seria o valor de uma atmosfera nestas unidades? (considere a densidade do óleo  $0,85 \text{ g/cm}^3$ ).

**112 Rpta.** 12,16 m.

**Problema 113** Um elevador de automóveis numa garagem consiste numa bomba hidráulica com um pistão de diâmetro igual a 30 cm e uma massa total de 400 kg. O elevador consegue mover carros com uma massa máxima de 3000 kg. A bomba é um cilindro com um diâmetro de 2,5 cm. Qual a força que precisa de ser exercida pela bomba para levantar um carro com 3000 kg?

**113 Rpta.** 231,4 N.

**Problema 114** Calcule a variação da pressão entre o rés do chão e o décimo andar de um prédio, assumindo que a cada andar corresponde uma altura de 3 m. Calcule também a variação na altura de uma coluna de mercúrio.

**114 Rpta.** 379 Pa; 2,84 mm.

**Problema 115** Calcule a variação da pressão sanguínea entre os pés e a cabeça de uma pessoa que mede 1,83 m, considerando que a densidade do sangue é  $1,06 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

**115 Rpta.** 10910 Pa = 0,19 atm.

**Problema 116** A que profundidade num oceano é que a pressão da água se torna igual a 100 atmosferas? Considere que a densidade da água do mar corresponde a  $1,25 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

**116 Rpta.** 827,1 m.

**Problema 117** Em 1773 um carpinteiro inglês conseguiu a proeza de testar um veículo submarino feito de madeira, capaz de mergulhar a uma profundidade de 9 m. Calcule a pressão hidrostática exercida pela coluna de água nas paredes desse submarino.

**117** 88200 Pa.

**Problema 118** Um cilindro com um diâmetro de 4 m enche-se de glicerina. Sabendo que a pressão da glicerina no fundo do cilindro é 55,6 torr, qual é o volume da glicerina no cilindro?

**118 Rpta.**  $7,54 \text{ m}^3$ .

**Problema 119** Suponha que o ar é incompressível e que a sua densidade em qualquer parte é igual ao valor que tem ao nível do mar. À superfície da Terra a pressão é 1 atmosfera. A que altitude é que nós encontraríamos o topo da atmosfera? Como se compara esta altura com a das mais altas montanhas e dos aviões que voam mais alto?

**119 Rpta.** 8015 m.

**Problema 120** Uma piscina tem um comprimento de 15 m e uma largura de 5 m. O fundo é em rampa e vai de uma profundidade de 1 m num lado até a uma profundidade de 3 m no outro. Qual é a pressão máxima da água dentro da piscina? Qual é a força total exercida pela água sobre o fundo da piscina?

**120 Rpta.**  $2,94 \times 10^4 \text{ Pa}$ ;  $1,47 \times 10^6 \text{ N}$ .

**Problema 121** Considerando que alguns peixes podem mergulhar até profundidades de 100 m no oceano qual é a diferença de pressão que eles devem ser capazes de suportar? Considere que a densidade da água do mar corresponde a  $1,25 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

**121 Rpta.**  $1,225 \times 10^6 \text{ Pa}$ .

**Problema 122** Se um elevador sobe inicialmente com uma aceleração de  $1,0 \text{ m/s}^2$ , compare a pressão arterial média no cérebro e nos pés de uma pessoa no seu interior com a que teria quando o elevador se encontra parado. Admita que a pessoa se encontra de pé, e que a sua pressão arterial normal medida no braço é  $120/70 \text{ mmHg}$ . Responda à mesma questão considerando o caso em que o elevador desce com a mesma aceleração. Considere  $\rho_{\text{sangue}} = 1,02 \text{ g/cm}^3$ ,  $d_{\text{cabeça-braço}} = 0,8 \text{ m}$ ,  $d_{\text{pés-braço}} = 1,2 \text{ m}$ .

**122 Rpta.** A subir:  $p_{\text{cabeça}} = 54/4 \text{ mmHg}$ ,  $p_{\text{pés}} = 219/169 \text{ mmHg}$ ; a descer :  $p_{\text{cabeça}} = 66/16 \text{ mmHg}$ ,  $p_{\text{pés}} = 201/151 \text{ mmHg}$ .

**Problema 123** Antes das leis da Hidrostática começarem a ser estudadas de maneira sistemática existiram variadas tentativas de criar dispositivos submarinos de respiração. Regra geral, tais dispositivos consistiam num longo tubo flexível, em que a extremidade inferior era usada para respirar e a extremidade superior era mantida à superfície da água (ver Fig.11). Tendo em conta que em média os pulmões de uma pessoa apenas conseguem funcionar contra um diferencial de pressão igual a  $p_{\text{atm}}/12$  determine qual é a profundidade máxima a que o mergulhador conseguiria usar esse dispositivo ( $p_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pa}$ ).

**123 Rpta.** 86 cm.

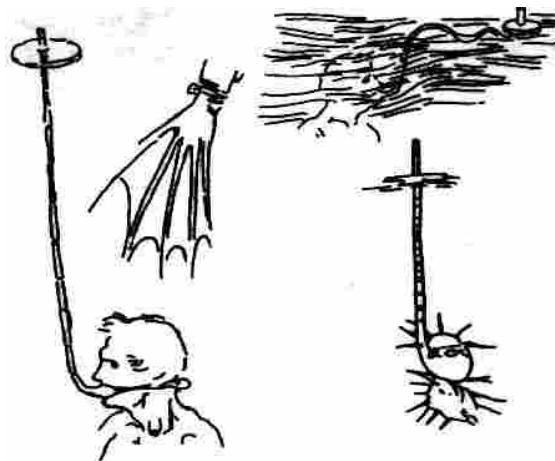


Figura 11: Desenho de Leonardo da Vinci para um sistema submarino de respiração.

**Problema 124** Duas peças, uma de ouro e outra de cobre, são mergulhadas em mercúrio. Diga que percentagem dos seus volumes se encontra submergida quando atingem uma posição de equilíbrio.

**124 Rpta.** Ouro: 100%; cobre: 65,6 %.

**Problema 125** Uma mulher de 55 kg flutua na superfície da água do mar, estando o seu corpo 80% submerso. Qual é o seu volume?

**125 Rpta.**  $0,067 \text{ m}^3$ .

**Problema 126** Uma jangada feita de fibra de vidro tem dimensões iguais a  $2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 0,2\text{ m}$ . Qual a altura da jangada que se encontra acima da superfície da água? E qual é essa altura quando dois nadadores de  $60\text{ kg}$  cada um sobem para cima dela? (a densidade da fibra de vidro é  $0,3\text{ g/cm}^3$ ).

**126 Rpta.**  $0,14\text{ m}$ ,  $0,11\text{ m}$ .

**Problema 127** Um objecto é pesado no ar sendo o resultado  $0,98\text{ N}$ . A seguir é pesado na água com um resultado de  $0,855\text{ N}$ . Finalmente, o objecto é pesado quando imerso em óleo, sendo o resultado  $0,880\text{ N}$ . Calcule a densidade do óleo e a densidade do objecto.

**127 Rpta.**  $7,84\text{ g/cm}^3$ ;  $0,8\text{ g/cm}^3$ .

**Problema 128** Uma mola, que tanto pode ser de bronze como de latão, tem uma massa de  $1,26\text{ g}$  medida no ar e uma massa aparente de  $1,11\text{ g}$  quando mergulhada em água. Determine o material com que a mola foi feita.

**128** A mola é feita de latão.

**Problema 129** Um bloco de madeira flutua na água com dois terços do seu volume submersos. Em óleo o mesmo bloco de madeira terá  $0,9$  do seu volume submerso. Determine a massa específica: (a) da madeira; (b) do óleo.

**129** a)  $6,67 \times 10^2\text{ kg/m}^3$ ; b)  $740\text{ kg/m}^3$ .

**Problema 130** Uma peça de ferro fundido, contendo várias cavidades, tem o peso de  $270\text{ N}$  no ar e de  $162\text{ N}$  na água. Qual o volume das cavidades na peça? considere a densidade do ferro como sendo  $7,8\text{ g/cm}^3$ .

**130**  $7,5 \times 10^{-3}\text{ m}^3$ .

**Problema 131** Uma esfera oca de ferro flutua completamente imersa na água. Se o seu raio externo mede  $120\text{ cm}$  e a densidade do ferro é  $7,8 \times 10^3\text{ kg/m}^3$ , qual é o valor do seu raio interno?

**131**  $114,64\text{ cm}$ .

**Problema 132** Um grupo de 4 estudantes, cada um com um peso de  $600\text{ N}$ , decide construir uma jangada juntando cilindros de madeira. Cada cilindro tem um raio  $r = 0,15\text{ m}$  e um comprimento  $l = 1,5\text{ m}$ . Determine o número mínimo de troncos necessários para construir uma jangada que suporte o peso do grupo sem se afundar. Considere que a madeira tem uma densidade de  $667\text{ kg/m}^3$ .

**132** 7 troncos.

## 5.2 Hidrodinâmica

**Problema 133** Determine qual deve ser a velocidade de um fluido num tubo que tem uma secção transversal de  $15 \text{ cm}^2$  de um lado e de  $5 \text{ cm}^2$  do lado oposto, se a velocidade do fluido na primeira secção for de  $10 \text{ m/s}$ .

**133**  $30 \text{ m/s}$ .

**Problema 134** A mangueira de um jardim possui um diâmetro de  $2 \text{ cm}$  e está ligada a um irrigador que consiste num recipiente munido de  $25$  orifícios, cada um dos quais com diâmetro de  $0,15 \text{ cm}$ . A água na mangueira escoava com uma velocidade de  $1 \text{ m/s}$ . Determine a velocidade da água ao sair dos orifícios.

**134**  $7,11 \text{ m/s}$ .

**Problema 135** Determine a velocidade de saída de um fluido por um orifício, feito num cilindro cheio de água, se a distância entre o orifício e o topo do cilindro corresponde a  $90 \text{ cm}$ .

**135**  $4,2 \text{ m/s}$ .

**Problema 136** O diâmetro interno aproximado da aorta é de  $0,50 \text{ cm}$ . O de um capilar é de  $10 \mu\text{m}$ . A velocidade média do fluxo de sangue é de  $1,0 \text{ m/s}$  na aorta e  $1,0 \text{ cm/s}$  nos capilares. Se todo o sangue na aorta fluir também nos capilares, estime o número  $N$  de capilares no sistema circulatório.

**136 Rpta.**  $N = 2,5 \times 10^7$ .

**Problema 137** Um vaso sanguíneo de raio  $r$  ramifica-se em  $3$  vasos de raio  $r/2$ . Se a velocidade média no vaso maior for  $v$ , indique qual é a velocidade média em cada um dos outros vasos na zona da ramificação.

**137 Rpta.**  $4/3 v$ .

**Problema 138** Considere um tanque com água até uma altura  $h$ . Suponha que no fundo do tanque há um orifício que, se for aberto, faz a água sair debaixo para cima. A que altura sobe a água quando se abre esse orifício? (despreze as forças de atrito).

**138 Rpta.**  $h$ .

**Problema 139** Um tanque cilíndrico cheio de água até uma altura de  $4 \text{ m}$  encontra-se pousado no chão. Alguém faz um pequeno buraco no lado do cilindro à altura de  $1,5 \text{ m}$  abaixo da superfície da água. A que distância do cilindro é que a água que sai desse buraco vai inicialmente atingir o chão?

**139 Rpta.**  $3,87 \text{ m}$ .

**Problema 140** Num tubo horizontal a pressão da água no lado onde o diâmetro do tubo é  $25 \text{ cm}$  é de  $0,54 \text{ atm}$ , enquanto que no estrangulamento (com um diâmetro de  $12,5 \text{ cm}$ ) a pressão é de  $0,41 \text{ atm}$ . Calcule o caudal de escoamento.

140  $6,53 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ .

**Problema 141** Por um tubo inclinado de secção variável flui óleo, com uma densidade  $\rho = 920 \text{ kg/m}^3$ . Para um dos lados tem-se que  $h_1 = 3 \text{ m}$ ,  $v_1 = 6 \text{ m/s}$ ,  $S_1 = 10 \text{ cm}^2$  e  $p_1 = 2 \text{ Pa}$ , enquanto que para o outro lado  $S_2 = 15 \text{ cm}^2$  e  $p_2 = 3 \text{ Pa}$ . Determine a altura  $h_2$  do tubo.

141  $h_2 = 4 \text{ m}$ .

**Problema 142** Um fluido circula por um tubo horizontal de secção variável. Determine a densidade do fluido sabendo que  $A_1 = 10 \text{ cm}^2$ ,  $A_2 = 20 \text{ cm}^2$ ,  $v_1 = 2,5 \text{ m/s}$ ,  $p_2 = 2500 \text{ Pa}$  e  $p_1 = 100 \text{ Pa}$ .

142  $\rho = 1024 \text{ kg/m}^3$ .

**Problema 143** O débito médio de sangue na aorta é  $8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ . Suponha que esta artéria tem um raio igual a  $1,3 \times 10^{-2} \text{ m}$ , e considere que a viscosidade do sangue é,  $\eta_{\text{sangue}} = 3,02 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ . a) Qual é a velocidade média do sangue na aorta? b) Qual é a queda de pressão em 10 cm de aorta?

143 **Rpta.** a) 0,15 m/s; b) 2,15 Pa.

**Problema 144** Determine a velocidade a que o fluxo de sangue através de uma artéria de 0,20 cm de diâmetro se tornaria turbulento ( $\text{Re} = 3000$ , a densidade do sangue é de  $1050 \text{ kg/m}^3$  e a sua viscosidade é  $2,7 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ).

144 **Rpta.**  $v > 3,86 \text{ m/s}$ .

**Problema 145** A lei de Poiseuille

$$Q = \frac{\pi a^4}{8\eta l} (p_2 - p_1) , \quad (1)$$

(em que  $Q$  representa o fluxo através da conduta,  $a$  é o raio da conduta,  $\eta$  é a viscosidade do fluido que atravessa a conduta,  $l$  é o comprimento da conduta e  $p_1/p_2$  representam as pressões nos extremos da conduta) pode escrever-se da forma seguinte

$$Q = \frac{p_2 - p_1}{R} , \quad (2)$$

onde  $R$  representa a resistência da conduta à passagem do fluido:

$$R = \frac{8\eta l}{\pi a^4} . \quad (3)$$

Pretende-se mostrar, com base na equação 2, porque é que a acumulação de colesterol leva ao aumento da tensão arterial.

- a) Se o diâmetro das artérias do sistema circulatório diminuir 5% em virtude da acumulação de colesterol, por que factor aumenta a resistência do sistema circulatório?

- b) O coração vai manter o mesmo caudal na presença do colesterol, mas como a resistência dos vasos é maior, então, por (2), tem que manter uma pressão maior aos extremos do sistema circulatório. Se a diferença de pressão na ausência de colesterol for de 120 mmHg (pressão sistólica/diastólica à saída do ventrículo = 120/80 mmHg, pressão à entrada da aurícula = 0 mmHg), para quanto tem que subir essa diferença de pressão na presença de colesterol, nas condições referidas na alínea anterior?

**145 Rpta.** a) 1,23; b) 14,7/9,8 mmHg.

**Problema 146** A resistência  $R$  oferecida por duas condutas ligadas em paralelo, de resistências individuais  $R_1$  e  $R_2$ , é dada por:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \quad (4)$$

que é uma expressão idêntica à que encontramos nos circuitos eléctricos para a associação de resistências eléctricas. A ideia deste problema consiste em mostrar que a resistência conjunta de todos os capilares não é muito maior do que a resistência da aorta. Para ver isso há que mostrar um pequeno resultado auxiliar:

- a) Considere a associação de  $N$  condutas iguais em paralelo, cada uma com resistência  $R$ . Mostre que a resistência equivalente é  $R_{eq} = R/N$ .
- b) Calcule agora a resistência da aorta e a resistência associada ao conjunto de todos os capilares. Os valores a usar são
- aorta:  $a = 0,25$  cm,  $l = 0,2$  m;
  - capilares:  $a = 5$   $\mu$ m,  $l = 0,5$  mm e  $N = 2,54 \times 10^7$ ;
  - sangue:  $\eta = 2,7 \times 10^{-3}$  Pa.s.
- c) Qual a razão das quedas de pressão na aorta e nos capilares?

**146 Rpta.** b) Aorta:  $R = 3,5 \times 10^7$  Pa.s/m<sup>3</sup>; para um único capilar:  $R = 5,5 \times 10^{15}$  Pa.s/m<sup>3</sup>; para todos os capilares:  $R = 2,2 \times 10^8$  Pa.s/m<sup>3</sup>. c) De acordo com estas estimativas a queda de pressão nos capilares é cerca de 6 vezes maior do que na aorta. Devemos no entanto ter em conta de que se tratam de estimativas.

**Problema 147** Determine a quantidade de água que flui em 25 s através de 300 mm de um tubo capilar com um diâmetro  $d = 1$  mm, se a diferença de pressão ao longo do tubo for de 15 cm de mercúrio. Considere que a viscosidade da água corresponde a 0,801 cP.

**147 Rpta.**  $5,11 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>.

**Problema 148** Compare o caudal de água através de um tubo com o caudal respectivo de óleo para o mesmo diferencial de pressão. Considere que a viscosidade do óleo corresponde a 200 cP.

**148 Rpta.** 250.

**Problema 149** Determine a viscosidade de um plástico fundido, que escoar ao longo de um tubo com um comprimento  $l = 10$  cm e um diâmetro interno  $d = 1$  mm, sob a acção de um diferencial de pressão  $\Delta p = 200$  mmHg, com um caudal  $Q = 13$  cm<sup>3</sup>/min.

**149 Rpta.** 30,1 cP.

**Problema 150** Numa transfusão de sangue o mesmo sai de uma garrafa à pressão atmosférica, para entrar na veia de um doente, na qual a pressão do sangue é 20 mmHg mais elevada do que a pressão atmosférica. A garrafa encontra-se a uma altura de 95 cm acima da veia, e a agulha que entra na veia tem um comprimento de 3 cm e um diâmetro de 0,45 mm. Determine a quantidade de sangue que entra na veia em cada minuto. Considere que para o sangue  $\eta = 0,0040$  Pa·s e  $\rho = 1005$  kg/m<sup>3</sup>.

**150 Rpta.** 3,4 cm<sup>3</sup>.

**Problema 151** Determine a quantidade máxima de água que pode fluir através de um tubo com um diâmetro  $d = 3$  cm, por minuto, sem turbulência. Considere que para a água  $Re = 2000$  para um fluxo não turbulento. Para a água a 20°C  $\eta = 1,0 \times 10^{-3}$  Pa·s.

**151 Rpta.** 0,0028 m<sup>3</sup>.

**Problema 152** Determine a velocidade com que uma gota de chuva de raio  $r = 1,5$  mm deve cair através do ar, para que o fluxo em torno dela esteja próximo da turbulência ( $Re = 10$ ). Para o ar considere que  $\eta = 1,8 \times 10^{-5}$  Pa·s.

**152 Rpta.** 4,65 cm/s.

## 6 Oscilações e Ondas

**Problema 153** Qual é a distância  $d$  percorrida por uma partícula que executa um movimento harmónico simples de amplitude  $x_0$  num intervalo de tempo igual ao período do movimento,  $T$ ?

**153 Rpta.**  $d = 4x_0$ .

**Problema 154** Se a coordenada de uma partícula varia segundo a equação

$$x = -x_0 \cos(\omega t).$$

a) Quais são a fase inicial e a abcissa inicial do movimento? b) Calcule o valor de  $\omega$  sabendo que em  $t = 2$  s a partícula passa pela primeira vez em  $x = x_0/2$ .

**154 Rpta.** a) Fase inicial -  $180^\circ$ ; abcissa inicial:  $-x_0$ .

**Problema 155** Uma massa de 0,5 kg ligada a uma mola de constante de força 20 N/m oscila na horizontal sobre uma superfície sem atrito. a) Determine a frequência característica das vibrações. b) Calcule a energia total do sistema sabendo que a amplitude de oscilação é de 3 cm. c) Calcule a velocidade máxima. d) Substituindo a mola por outra de constante de força dupla quais seriam as consequências para a frequência característica e para a energia total da massa em vibração.

**155 Rpta.** a) 6,32 Hz; b)  $9 \times 10^{-3}$  J; c) 0,19 m/s, d)  $\nu' = \sqrt{2}\nu$ ,  $E' = 2E$ .

**Problema 156** Uma partícula descreve um círculo de raio  $R = 3$  m, no sentido directo, com velocidade angular constante de 8 rad/s. No instante inicial a partícula tem uma abcissa igual a 2 m. a) Determine  $x(t)$ . b) Determine  $v_x(t)$ . c) Determine  $a_x(t)$ .

**156 Rpta.** a)  $x(t) = 3 \cos(8t+0,84)$ ; b)  $v_x(t) = -24 \sin(8t+0,84)$ ; c)  $a_x(t) = -192 \cos(8t+0,84)$ .

**Problema 157** Uma partícula move-se de acordo com uma aceleração dada por

$$a(t) = -32 \cos(4\pi t).$$

a) Escreva a expressão da velocidade em função do tempo. b) Escreva a expressão da trajectória em função do tempo. c) Qual é a amplitude do movimento? Qual o período do movimento?

**157 Rpta.** a)  $v(t) = 8/\pi \sin(4\pi t)$ ; b)  $x(t) = 2/\pi^2 \cos(4\pi t)$ ; c)  $2/\pi^2$ , 0,5 s.

**Problema 158** Uma força de 4 N é aplicada a uma massa de 0,1 kg que está ligada a uma mola e provoca um deslocamento de 0,1 m da mola. a) Qual a velocidade máxima atingida pela massa depois de a força deixar de ser aplicada? b) Qual o período do movimento?

**158 Rpta.** a) 2 m/s; b) 0,31 s.

**Problema 159** Uma massa de 0,2 kg oscila ligada a uma mola. Quando a massa passa pela posição de equilíbrio, a sua velocidade é 0,4 m/s. Calcule o trabalho que foi necessário fazer inicialmente para esticar a mola. Sabendo que a amplitude da oscilação é 0,1 m, calcule a constante  $k$  da mola.

**159 Rpta.** 0,016 J; 3,2 N/m.

**Problema 160** Uma corda elástica tem uma massa por unidade de comprimento de 0,050 kg/m. a) A que velocidade se propaga uma onda quando a corda está esticada com uma tensão de 80 N? b) Se a tensão da corda aumentar para 120 N, qual vai ser a nova velocidade da onda?

**160 Rpta.** a) 40 m/s; b) 49 m/s.

**Problema 161** A equação de onda para o deslocamento  $y(x, t)$  numa corda é dada por

$$y(x, t) = 1,5 \cos(x/5 - 4t) \text{ cm,}$$

onde  $x$  está em cm e  $t$  está em segundos. a) Qual é a amplitude da onda? b) Qual o comprimento de onda da onda? c) Qual o período da onda? d) Qual a velocidade da onda? e) Em que sentido ao longo do eixo dos  $xx$  é que a onda se propaga?

**161 Rpta.** a) 1,5 cm; b) 20 cm/s; c)  $10 \pi$  cm; d)  $0,5 \pi$  s; e) positivo.

**Problema 162** Um golfinho encontra-se no mar, num local em que a água está à temperatura de 25°C. O golfinho emite um som dirigido ao fundo do oceano, 150 m abaixo dele. Quanto tempo passa antes de escutar o eco? (A velocidade de propagação do som na água à temperatura de 25°C é 1200 m/s).

**162 Rpta.** 0,25 s.

**Problema 163** Um trovão ouve-se 8 s depois do clarão de um relâmpago. A que distância se encontra a trovoada? (A velocidade do som no ar é 360 m/s).

**163 Rpta.** 2880 m.

**Problema 164** O ouvido humano tem a capacidade de detectar sons num espectro que vai desde aproximadamente 20 Hz até 20000 Hz. Determine os comprimentos de onda destes extremos. Admita que a velocidade do som no ar é de 345 m/s.

**164 Rpta.** 17,25 m,  $17,25 \times 10^{-3}$  m.

**Problema 165** Uma máquina, usada em fisioterapia, gera radiação electromagnética que produz o efeito de "calor profundo" quando absorvida nos tecidos. Uma frequência usada para esse efeito é 27,33 MHz. Qual é o comprimento de onda desta radiação?

**165 Rpta.** 10,98 m.

**Problema 166** Qual o comprimento de onda de uma onda sonora de 10 kHz que se propaga numa barra de ferro? Qual é o comprimento de onda de uma onda sonora com a mesma frequência quando ela se propaga no ar? (O módulo de elasticidade  $\kappa$  do ferro é 16 Pa, a densidade do ferro é 7,84 g/cm<sup>3</sup> e a velocidade do som no ar é 360 m/s).

**166 Rpta.**  $4,5 \times 10^{-6}$  m;  $3,6 \times 10^{-2}$  m.

**Problema 167** Uma corda tem 80 cm e uma massa de 2 g. Quando esta corda está esticada entre dois suportes fixos, qual deve ser a tensão para que a frequência fundamental seja 50 Hz?

**167 Rpta.** 16 N.

**Problema 168** Uma corda esticada entre dois suportes fixos oscila à frequência da segunda harmónica quando a corda está sob a tensão de 12 N. Qual a tensão necessária para excitar a terceira harmónica?

**168 Rpta.** 21,3 N.

**Problema 169** Um morcego pode detectar um objecto pequeno, por exemplo um insecto, cujo tamanho é aproximadamente igual ao comprimento de onda do som que ele emite. Se a frequência desse som for de 60,0 kHz e a sua velocidade no ar for de 340 m/s, qual é o menor tamanho do insecto que o morcego poderá detectar?

**169 Rpta.**  $5,67 \times 10^{-3}$  m.

**Problema 170** Um morcego, voando à velocidade de 5,0 m/s emite um sinal sonoro de 40 Hz. Se este impulso sonoro for reflectido por uma parede, qual é a frequência do eco recebido pelo morcego? (Admita que a velocidade do som no ar é de 345 m/s).

**170 Rpta.** 41,46 Hz.

**Problema 171** Uma corda de violino tem um comprimento de 36 cm e uma massa de 0,42 g. Se a tensão for 90 N, quais são as três harmónicas mais pequenas?

**171 Rpta.** 386 Hz, 771 Hz, 1157 Hz.

**Problema 172** Um pedaço de dinamite explode à superfície da água ( $T = 25^\circ\text{C}$ ). O som propaga-se através da água e através do ar. Qual dos sinais chega primeiro a um ponto a 3 km de distância? Qual o intervalo de tempo entre os sinais? (A velocidade do som na água é 1200 m/s e a velocidade do som no ar é 345 m/s).

**172 Rpta.** 6,2 s.

**Problema 173** Uma nota musical de um órgão, de comprimento de onda 11 m é sustentada durante 1 segundo. Quantas vibrações completas da onda foram emitidas nesse intervalo de tempo? (Considere que a velocidade do som é 345 m/s).

**173 Rpta.** 31.

**Problema 174** Um comboio passa por si e a frequência do apito cai de 1000 Hz para 800 Hz. Qual a velocidade do comboio em km/h? (A velocidade do som no ar é 345 m/s).

**174 Rpta.** 138.

**Problema 175** Um avião supersónico voa paralelamente ao chão. Quando está na vertical do lugar onde se encontra um observador, este vê um míssil ser lançado do avião. Dez segundos depois, o observador ouve a onda de choque, seguida pelo som do motor do míssil 2,8 segundos depois. Qual a velocidade do avião em unidades Mach?

**175 Rpta.** 1,6 Mach.

## 7 Termodinâmica

### 7.1 Temperatura

**Problema 176** Um termómetro de gás a volume constante é calibrado em gelo seco (dióxido de carbono no estado sólido, temperatura de  $-80^{\circ}\text{C}$ ) e em álcool etílico em ebulição (temperatura de  $78^{\circ}\text{C}$ ). Os valores das duas pressões são  $0,9\text{ atm}$  e  $1,635\text{ atm}$ , respectivamente. Determine:

(a) o valor do zero absoluto fornecido pela calibração; (b) o valor da pressão no ponto de congelação da água; (c) o valor da pressão no ponto de ebulição da água.

**176 Rpta.** a)  $273,4694\text{ K}$ ; b)  $1,2722\text{ atm}$ ; c)  $1,7373\text{ atm}$ .

**Problema 177** No termómetro de resistência a propriedade usada para medir a temperatura é a resistência eléctrica de um condutor. As temperaturas medidas por este termómetro (em graus Kelvin ou em graus Celsius) podem ser directamente relacionadas com a resistência  $R$ , medida em ohms. Um certo termómetro de resistência possui uma resistência  $R = 90,35\ \Omega$  quando o seu bulbo é colocado em água, à temperatura do ponto triplo ( $273,16\text{ K}$ ). Determine a temperatura indicada pelo termómetro quando o seu bulbo for colocado num meio tal que a sua resistência seja igual a (a)  $105\ \Omega$ , (b)  $96,28\ \Omega$ .

**177 Rpta.** a)  $317,45\text{ K}$ ; b)  $291,09\text{ K}$ .

**Problema 178** Um gás ideal está à pressão  $p_0$  e a uma temperatura  $T_0$  (em graus Kelvin). O gás é mantido no interior de um recipiente rígido e indeformável. Em virtude do aquecimento do recipiente, a pressão do gás cresce isocoricamente (a volume constante) até atingir um valor  $p$ . Obtenha a expressão da temperatura  $T$  do gás, em graus Kelvin para esta pressão.

**178 Rpta.**  $T = T_0 (p/p_0)$ .

**Problema 179** A temperatura na superfície do Sol é aproximadamente igual a  $6000\text{ K}$ . Expresse esta temperatura em  $^{\circ}\text{C}$  e em  $^{\circ}\text{F}$ .

**179 Rpta.**  $5727^{\circ}\text{C}$ ,  $10340^{\circ}\text{F}$ .

**Problema 180** (a) Exprima a temperatura média do corpo humano ( $36^{\circ}\text{C}$ ) em  $\text{K}$  e em  $^{\circ}\text{F}$ ; (b) exprima a temperatura normal do ponto de ebulição do oxigénio ( $-183^{\circ}\text{C}$ ) em  $^{\circ}\text{F}$ .

**180 Rpta.** a)  $309,15\text{ K}$ ,  $96,8^{\circ}\text{F}$ ; b)  $-297,4^{\circ}\text{F}$ .

**Problema 181** Converta para  $^{\circ}\text{C}$  as seguintes temperaturas: (a)  $223\text{ K}$ ; (b)  $-20^{\circ}\text{F}$ ; (c)  $523\text{ K}$ ; (d)  $235^{\circ}\text{F}$ .

**181 Rpta.** a)  $-50,15^{\circ}\text{C}$ ; b)  $-28,9^{\circ}\text{C}$ ; c)  $249,85\ ^{\circ}\text{C}$ ; d)  $112,8\ ^{\circ}\text{C}$ .

**Problema 182** Converta para graus Kelvin as seguintes temperaturas: (a)  $27^{\circ}\text{C}$ ; (b)  $-23^{\circ}\text{C}$ ; (c)  $-200^{\circ}\text{C}$ ; (d)  $20^{\circ}\text{F}$ ; (e)  $120^{\circ}\text{F}$ ; (f)  $-200^{\circ}\text{F}$ .

**182 Rpta.** (a)  $300,15\text{ K}$ ; (b)  $250,15\text{ K}$ ; (c)  $73,15\text{ K}$ ; (d)  $266,5\text{ K}$ ; (e)  $322\text{ K}$ ; (f)  $144,3\text{ K}$ .

**Problema 183** A que temperatura os seguintes pares de escalas fornecem a mesma leitura? (a) Fahrenheit e Celsius. (b) Fahrenheit e Kelvin. (c) Celsius e Kelvin.

**183 Rpta.** a)  $-40^{\circ}\text{C} = -40^{\circ}\text{F}$ ; b)  $574,25\text{ K} = 574,25^{\circ}\text{F}$ ; c) nenhuma.

**Problema 184** As temperaturas típicas no interior da Terra e do Sol são da ordem de  $4 \times 10^3^{\circ}\text{C}$  e  $1,5 \times 10^7^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Determine os valores correspondentes na escala Kelvin e a percentagem de erro se a conversão não for feita.

**184** Terra:  $4,27 \times 10^3\text{ K}$ , 6,8%; Sol:  $1,5 \times 10^7\text{ K}$ , 0,002%.

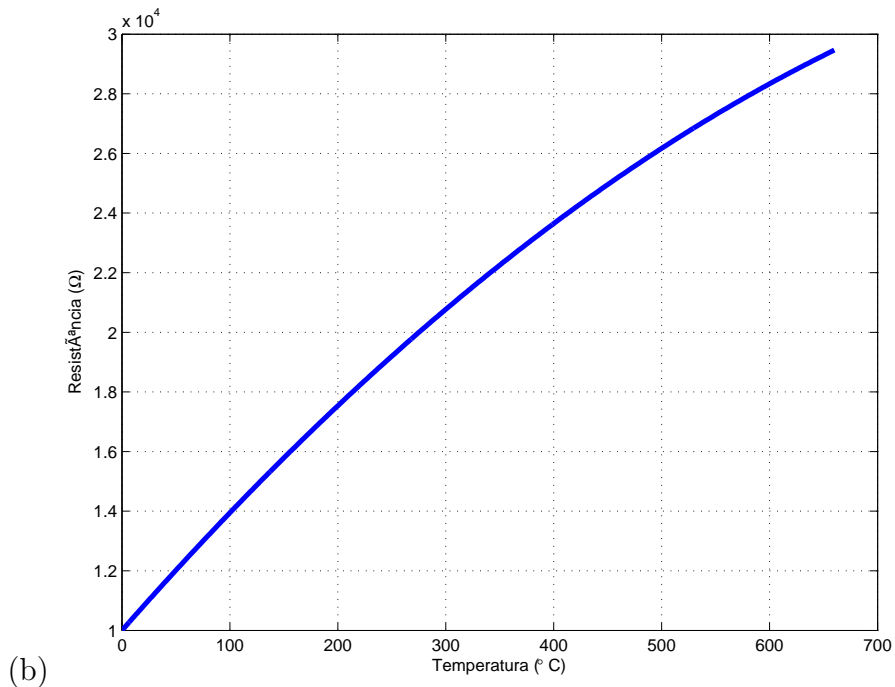
**Problema 185** No intervalo de 0 a  $660^{\circ}\text{C}$  usa-se, para interpolar temperaturas na Escala Internacional Prática, um termómetro de resistência de platina, de características especificadas. A temperatura  $T$  é calculada através de uma equação que exprime a variação da resistência em função da temperatura,

$$R = R_0 (1 + AT + BT^2) ,$$

em que  $R_0$ ,  $A$  e  $B$  são constantes determinadas nos pontos de congelação e de ebulição da água e de fusão do enxofre ( $T_3 = 115^{\circ}\text{C}$ ).

(a) Se  $R = 10000\ \Omega$ , no ponto de congelação,  $R = 13946\ \Omega$  no ponto de ebulição e  $R = 24817\ \Omega$  no ponto de fusão do enxofre, determine  $R_0$ ,  $A$  e  $B$ . (b) Represente graficamente  $R$  em função de  $T$ , entre 0 e  $660^{\circ}\text{C}$ .

**185** (a)  $R_0 = 10000\ \Omega$ ,  $A = 4,12 \times 10^{-1}\text{C}^{-1}$ ,  $B = -1,78 \times 10^{-6}\text{C}^{-2}$ ;



## 7.2 Calorimetria

**Problema 186** Qual é a quantidade de calor que é necessário fornecer a um cubo de gelo de 1 g à temperatura de  $-30^{\circ}\text{C}$  para obter vapor de água a  $128^{\circ}\text{C}$ ? Dados:  $c_g = 2090 \text{ J}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$ ,  $\lambda_f = 333 \text{ kJ}/\text{kg}$ ,  $c_a = 4186 \text{ J}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$ ,  $\lambda_e = 2260 \text{ kJ}/\text{kg}$ ,  $c_v = 2010 \text{ J}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$ .

**186 Rpta.** 3,13 kJ.

**Problema 187** Nas máquinas de café expresso utiliza-se vapor de água para aquecer o café. Qual a massa de vapor de água à temperatura de  $130^{\circ}\text{C}$  necessária para aquecer uma chávena de café ( $m_c = 100 \text{ g}$ ) de  $T_i = 20^{\circ}\text{C}$  até  $T_f = 50^{\circ}\text{C}$ ? considere que  $c_a = c_c$ .

**187 Rpta.**  $4,96 \times 10^{-3} \text{ kg}$ .

**Problema 188** Por vezes, utiliza-se um aparelho constituído por uma resistência eléctrica em forma de serpentina para aquecer água. Se o aparelho tiver uma potência de 10 W, quanto tempo é necessário esperar para que 1 kg de água à temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  se evapore completamente?

**188 Rpta.** 62,8 h.

**Problema 189** No topo das cataratas do Niágara a temperatura da água é  $5^{\circ}\text{C}$ . Sabendo que a altura da catarata é 50 m e assumindo que toda a energia potencial é utilizada para o aquecimento da água, calcule a temperatura da água na base das cataratas.

**189 Rpta.**  $5,12^{\circ}\text{C}$ .

**Problema 190** 10 g de leite a  $10^{\circ}\text{C}$  são adicionados a 160 g de café a  $90^{\circ}\text{C}$ . Determine a temperatura final de equilíbrio da mistura. Considere que  $c_l = c_c = c_a$ .

**190 Rpta.**  $85,3^{\circ}\text{C}$ .

**Problema 191** Um recipiente metálico de 4,0 kg contém 14,0 kg de água e ambos estão a  $15^{\circ}\text{C}$ . Um bloco de 2,0 kg feito do mesmo metal, que estava inicialmente a  $160^{\circ}\text{C}$ , é mergulhado na água. Após o equilíbrio térmico, o sistema total encontra-se à temperatura de  $18^{\circ}\text{C}$ . Determine o calor específico do metal.

**191 Rpta.**  $0,155 \text{ cal}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$ .

**Problema 192** Dois cubos de gelo de 40 g são colocados num copo com 150 g de água. A temperatura inicial da água era de  $20^{\circ}\text{C}$  e a temperatura inicial dos cubos de gelo era de  $-10^{\circ}\text{C}$ . Calcule a temperatura final de equilíbrio ( $c_g = 0,50 \text{ cal}/\text{g}^{\circ}\text{C}$  e  $\lambda_f = 80 \text{ cal}/\text{g}$ ).

**192 Rpta.**  $0^{\circ}\text{C}$ .

**Problema 193** Um termómetro de massa 0,055 kg e calor específico  $0,20 \text{ kcal}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$  marca  $15^{\circ}\text{C}$ . O termómetro é mergulhado em 0,3 kg de água e, após atingirem o equilíbrio térmico, vai marcar  $44,4^{\circ}\text{C}$ . Calcule a temperatura inicial da água, isto é, antes da imersão do termómetro, desprezando outras perdas possíveis de calor.

**193 Rpta.**  $45,48^{\circ}\text{C}$ .

**Problema 194** A temperatura do ar nas regiões costeiras é influenciada pelo elevado valor do calor específico da água ( $4,186 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$ ). Uma das razões está relacionada com o facto de que o calor libertado por  $1 \text{ m}^3$  de água quando arrefece  $1^\circ\text{C}$ , aumenta em  $1^\circ\text{C}$  a temperatura de um grande volume de ar. Calcule este volume, sabendo que o calor específico do ar é  $1 \text{ kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$  e a densidade do ar é  $1,3 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

**194 Rpta.**  $3220 \text{ m}^3$ .

**Problema 195** Um projectil de chumbo de  $2 \text{ g}$  de massa move-se com velocidade de  $200 \text{ m/s}$  quando penetra num bloco de madeira de um pêndulo balístico de  $2 \text{ kg}$  de massa. Calcule a variação da temperatura do projectil, supondo que todo o calor libertado devido ao atrito foi gasto para aquecê-lo (para o chumbo  $c = 129 \text{ J}/(\text{kgdegC})$ ).

**195 Rpta.**  $156,25^\circ\text{C}$ .

**Problema 196** Numa experiência de Joule, um corpo de massa  $6 \text{ kg}$  cai de uma altura de  $50 \text{ m}$  e faz rodar um conjunto de pás que agitam  $0,6 \text{ kg}$  de água. Calcule:

(a) a variação da temperatura da água; (b) a temperatura final da água, sabendo que a mesma tinha uma temperatura inicial de  $15^\circ\text{C}$ .

**196 Rpta.** a)  $1,17^\circ\text{C}$ ; b)  $16,17^\circ\text{C}$ .

**Problema 197** Em torno de uma cratera formada por um meteorito,  $75 \text{ kg}$  de rocha fundiram devido ao impacto. A temperatura do solo antes do impacto era de  $0^\circ\text{C}$ . Supondo que o meteorito atingiu o solo enquanto se movia a uma velocidade de  $600 \text{ m/s}$ , determine a massa inicial do meteorito considerando que durante o impacto não houve perdas de calor para a rocha circundante, nem para a atmosfera. Considere  $c_{rocha} = 0,8 \text{ kcal}/(\text{kg}^\circ\text{C})$ ,  $T_f = 500^\circ\text{C}$ ,  $\lambda_f = 48 \text{ kcal}/\text{kg}$ .

**197 Rpta.**  $781,4 \text{ kg}$ .

**Problema 198** Num calorímetro misturaram-se  $100 \text{ g}$  de alumínio à temperatura de  $100^\circ\text{C}$  com  $50 \text{ g}$  de água à temperatura de  $20^\circ\text{C}$ . Determine a temperatura final do conjunto. Considere  $c_{Al} = 0,251 \text{ cal}/(\text{gK})$ .

**198 Rpta.**  $319,89 \text{ K}$ .

**Problema 199** Num recipiente isolado,  $250 \text{ g}$  de gelo a  $0^\circ\text{C}$  são adicionados a  $600 \text{ g}$  de água a  $18^\circ\text{C}$ . (a) Determine a temperatura final do sistema; (b) determine a quantidade de gelo que permanece no sistema quando este atinge o estado de equilíbrio.

**199 Rpta.** a)  $0^\circ\text{C}$ ; b)  $115 \text{ g}$ .

**Problema 200** Um atleta dissipa toda a energia da sua dieta, que é de  $4000 \text{ kcal}/\text{dia}$ . Compare este valor, supondo que ele fosse dissipado a uma taxa constante, com a produção de energia de uma lâmpada de  $100 \text{ W}$ .

**200 Rpta.**  $1,9$  vezes.

### 7.3 Gases Ideais

**Problema 201** Um gás ideal encontra-se num recipiente à pressão  $p_1$  e temperatura  $T_1$ . Outro gás ideal encontra-se noutro recipiente de volume  $V_2$  (diferente de  $V_1$ ) e pressão  $p_2$  (diferente de  $p_1$ ). A temperatura  $T$  é a mesma nos dois recipientes. Obtenha uma expressão para a determinação da pressão de equilíbrio quando os dois recipientes forem ligados.

**201 Rpta.**  $p = (p_1V_1 + p_2V_2) / (V_1 + V_2)$ .

**Problema 202** Um recipiente de 20 litros, mantido à temperatura de 127°C, contém 3,2 g de oxigénio, 2,8 g de de azoto e 0,2 g de hidrogénio. As massas moleculares valem 32 para o oxigénio, 28 para o azoto e 2 para o hidrogénio. Determine a pressão parcial:

- (a) do oxigénio;
- (b) do azoto;
- (c) do hidrogénio.

**202 Rpta.** (a) 0,163 atm; (b) 0,163 atm; (c) 0,163 atm.

**Problema 203** A massa da molécula de hidrogénio ( $H_2$ ) é  $3,32 \times 10^{-24}$  g. Se  $10^{23}$  moléculas de hidrogénio chocarem, durante um segundo, contra  $2,0 \text{ cm}^2$  de uma parede inclinada de  $45^\circ$  em relação à direcção da velocidade, que vale  $10^5 \text{ cm/s}$ , qual a pressão que elas exercem sobre a parede?

**203 Rpta.**  $2,3 \times 10^3 \text{ Pa}$ .

**Problema 204** Uma sala de  $80 \text{ m}^3$  de volume contém ar com uma massa molar média de  $29 \text{ g/mol}$ . a temperatura ambiente é de  $18^\circ\text{C}$ . Se se aumentar a temperatura ambiente para  $25^\circ\text{C}$ , qual é a variação da massa de ar na sala?

**204 Rpta.**  $2,28 \text{ kg}$ .

**Problema 205** Determine o volume ocupado por uma mole de um gás ideal nas condições normais de pressão e temperatura. Mostre que o número de moléculas por  $\text{cm}^3$  nestas condições (conhecido como “número de Loschmidt”) corresponde a  $2,687 \times 10^{19}$ .

**205 Rpta.**  $22,4 \text{ litros}$ .

**Problema 206** A pressão mais baixa que se pode alcançar utilizando as melhores técnicas de vácuo que se conhecem corresponde a  $p = 10^{-12} \text{ Pa}$ . Determine o número de moléculas por  $\text{cm}^3$  que restam a  $0^\circ\text{C}$  num recipiente com um valor tal de pressão.

**206 Rpta.**  $2,66 \times 10^2 \text{ moléculas/cm}^3$ .

**Problema 207** Determine a densidade do oxigénio à temperatura de  $300 \text{ K}$  e pressão de  $1,6 \times 10^5 \text{ Pa}$ . Calcule a massa de oxigénio que ocupa nestas condições um volume de  $200 \text{ m}^3$ .

**207 Rpta.**  $\rho = 2,05 \text{ kg/m}^3$ ;  $m = 410,53 \text{ kg}$ .

**Problema 208** Uma bolha de ar de  $20 \text{ cm}^3$  de volume, encontra-se no fundo de um lago a  $40 \text{ m}$  de profundidade e à temperatura de  $4^\circ\text{C}$ . A bolha sobe a superfície que está à temperatura de  $20^\circ\text{C}$ . Supondo que a temperatura da bolha é igual à temperatura da água na sua vizinhança, calcule o seu volume imediatamente antes de chegar à superfície do lago.

**208 Rpta.**  $103 \text{ cm}^3$ .

**Problema 209** Para fazer emergir um submarino é injectado ar nas cisternas do mesmo. Isto é feito à profundidade de  $25 \text{ m}$ . O ar adquire a temperatura da água circundante, que corresponde a  $277 \text{ K}$ . Determine o volume de água despejado das cisternas se o ar é injectado de uma bomba com capacidade de  $30 \text{ litros}$ , à pressão de  $14,7 \text{ MPa}$  e a uma temperatura de  $285 \text{ K}$  (considere que a densidade da água de mar corresponde a  $1030 \text{ kg/m}^3$ ).

**209 Rpta.**  $1,2 \text{ m}^3$ .

**Problema 210** Determine a temperatura da mistura quente num cilindro de combustão interna no fim da etapa de compressão tendo em conta que antes da compressão  $p = 76 \text{ kPa}$ ,  $T = 315 \text{ K}$ , depois da compressão  $p = 851 \text{ kPa}$  e que  $V_1/V_2 = 6,3$ .

**210 Rpta.**  $560 \text{ K}$ .

**Problema 211** Se um mergulhador encher os pulmões ao máximo da capacidade destes, que corresponde a  $V_1 = 5 \text{ litros}$ , quando se encontra a  $12 \text{ m}$  abaixo da superfície da água, a que volume ficariam os seus pulmões se o mergulhador de repente subisse à superfície? é isto aconselhável?

**211 Rpta.**  $V_2 = 11,98 \text{ litros}$  (não parece muito aconselhável).

**Problema 212** Um litro de oxigênio gasoso, à temperatura de  $40^\circ\text{C}$  e pressão de  $760 \text{ mmHg}$ , expande-se até o volume de  $1,5 \text{ litros}$  e pressão de  $800 \text{ mmHg}$ . Determine:

- (a) a massa do sistema em moles;
- (b) a sua temperatura final.

**212 Rpta.** a)  $0,039 \text{ moles}$ ; b)  $494,45 \text{ K}$ .

**Problema 213** A  $273^\circ\text{F}$  e  $1,0 \times 10^{-2} \text{ atm}$  a densidade de um gás é  $1,24 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$ .

- (a) Determine a velocidade quadrática média das moléculas do gás.
- (b) Determine a massa molecular do gás e identifique-o.

**213 Rpta.** a)  $495 \text{ m/s}$ ; b)  $0,0414 \text{ kg}$  (árgon).

**Problema 214** (a) Calcule a velocidade quadrática média de um átomo de árgon à temperatura ambiente ( $20^\circ\text{C}$ ).

- (b) A que temperatura a velocidade quadrática média do átomo será reduzida à metade desse valor? E a que temperatura ela valerá o dobro?

**214 Rpta.** a) 430 m/s; b) 73 K; 1172 K.

**Problema 215** No espaço longínquo a massa volúmica da matéria é de cerca de um átomo por  $\text{cm}^3$  (sobretudo átomos de hidrogénio), a uma temperatura de cerca de 3,5 K. Determine a velocidade média destes átomos e a pressão correspondente, em atmosferas (considere que cada átomo tem uma massa  $m = 1,6605655 \times 10^{-27}$  kg).

**215 Rpta.** 291,22 m/s;  $4,69 \times 10^{-17}$  Pa  $\approx 4,79 \times 10^{-22}$  atm.

**Problema 216** A massa atómica do hélio (um gás monoatômico) é  $m = 6,66 \times 10^{-27}$  kg. Determine o calor específico mássico a volume constante do hélio gasoso.

**216 Rpta.**  $c_v = 3108$  J/(kg·K).

## 7.4 Primeiro Princípio

**Problema 217** Dez moles de um gás ideal absorvem 5000 cal, que são integralmente utilizadas para aumentar a sua energia interna. Calcule a variação de temperatura do gás se este for: (a) monoatômico; (b) diatômico.

**217 Rpta.** (a) 168 K; (b) 101 K.

**Problema 218** Calcule a energia interna de 1 mol de um gás ideal à temperatura  $T = 273,15$  K se este for: (a) monoatômico; (b) diatômico.

**218 Rpta.** (a) 3407 J; (b) 5678 J.

**Problema 219** Uma mole de um gás ideal diatômico tem uma pressão inicial  $p_1$  e um volume inicial  $V_1$ . Por aquecimento sua pressão aumenta até alcançar o valor  $p_2 = 3p_1$  e o seu volume torna-se igual a  $V_2 = 2V_1$ . Determine a variação da energia interna do gás.

**219 Rpta.**  $\Delta U = 12,5p_1V_1$ .

**Problema 220** Uma mole de  $\text{H}_2$  gasoso é aquecido a pressão constante de 300 K até 420 K. Calcule:

(a) o aumento da energia interna do gás;

(b) a quantidade de energia transferida para o gás sob a forma de calor.

**220 Rpta.** (a) 2494 J; (b) 3492 J.

**Problema 221** Um gás ideal sofre uma expansão isotérmica, passando do volume  $V_1$  ao volume  $V_2$  ( $V_2 > V_1$ ). Determine o calor absorvido pelo gás.

**221 Rpta.**  $Q^+ = nRT \ln(V_2/V_1)$ .

**Problema 222** Um gás ideal, com um índice da adiabata  $\gamma = 3/2$ , ocupa um volume  $V_1 = 4$  litros à pressão  $p_1 = 1$  atm e à temperatura de 300 K. O gás é comprimido adiabaticamente até o volume  $V_2 = 1$  litro. Determine:

- (a) a pressão final do gás;
- (b) a temperatura final do gás.

**222 Rpta.** (a) 8 atm; (b) 600 K.

**Problema 223** Um gás ideal expande-se adiabaticamente entre as temperaturas  $T_1$  e  $T_2$ . Determine o trabalho realizado pelo gás.

**223 Rpta.**  $W = nc_v(T_1 - T_2)$ .

**Problema 224** Um gás ideal realiza um trabalho  $W = 3000$  J ao expandir-se isotermicamente até alcançar os valores de pressão e temperatura  $p_2 = 1$  atm e  $V_2 = 25,01$  litros. Determine o volume inicial do gás.

**224 Rpta.**  $V_1 = 7,65$  litros.

**Problema 225** Um gás ideal, com um índice da adiabata  $\gamma = 1,3$ , ocupa um volume inicial  $V_1 = 1$  litro e encontra-se a uma temperatura  $T_1 = 273$  K e a uma pressão  $p_1 = 1$  atm.

- (a) Determine a pressão e temperatura finais do gás se o mesmo for comprimido rapidamente até metade do seu volume inicial.
- (b) Determine o volume final do gás se o mesmo fosse aquecido isobaricamente até a temperatura  $T_2 = 400$  K.

**225 Rpta.** (a) 2,5 atm, 340 K; (b) 1,47 litros.

**Problema 226** Um gás ideal monoatômico, que se encontra inicialmente a uma temperatura  $T_1 = 17^\circ\text{C}$ , é comprimido bruscamente até um décimo do seu volume inicial. Determine a temperatura no final da compressão. Faça o mesmo tipo de cálculos para um gás ideal diatômico.

**226 Rpta.** 1346 K, 728 K.

**Problema 227** Quatro moles de um gás ideal diatômico sofrem um acréscimo de temperatura de 60 K enquanto que a sua pressão se mantém constante. Determine:

- (a) o acréscimo da energia interna;
- (b) o trabalho realizado pelo gás;
- (c) a quantidade de calor absorvida pelo gás;
- (d) o acréscimo da energia cinética de cada molécula do gás;
- (e) o acréscimo da energia cinética do gás na sua totalidade.

**227 Rpta.** (a) 4986 J; (b) 1994 J; (c) 6980 J; (d)  $1,242 \times 10^{-21}$  J; (e) 4989 J.

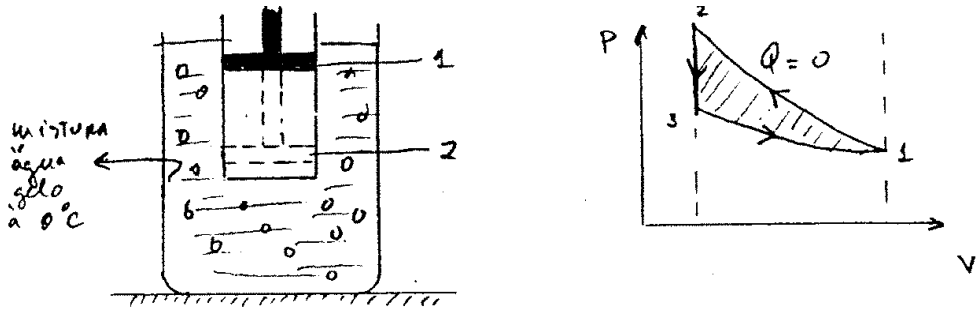


Figura 12: Cilindro com êmbolo móvel.

**Problema 228** Um cilindro provido de um êmbolo móvel contém gás no seu interior e acha-se imerso numa mistura de gelo e água, como está ilustrado na Figura 12. O gás é comprimido rapidamente, levando-se o êmbolo da posição (1) à posição (2), onde é mantido até que atinja a temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$ . Em seguida é levado muito lentamente até á posição (1). Se se fundirem 100 g de gelo durante um ciclo, qual o trabalho realizado sobre o gás? ( $\lambda_f = 333 \text{ kJ/kg}$ ).

**228 Rpta.** 8000 cal.

**Problema 229** Um sistema termodinâmico é levado do estado inicial  $A$  até ao estado  $B$  e trazido de volta a  $A$  através do estado  $C$ , conforme o diagrama  $p - V$  da Figura 13(a).

- (a) Complete a tabela da Figura 13(b), atribuindo os sinais + ou - às grandezas termodinâmicas associadas a cada processo.
- (b) Calcule o trabalho realizado pelo sistema para o ciclo completo  $A - B - C - A$ .

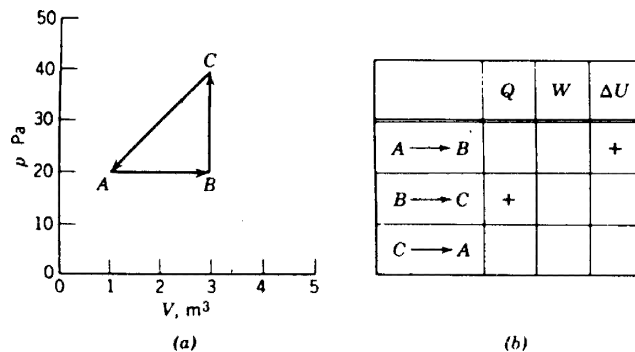


Figura 13: Diagrama  $p - V$ .

**Problema 230** Considere a Figura 14. Suponha que a variação de energia interna do sistema seja igual a 230 J para o percurso  $iaf$ . Calcule a variação de energia interna para os percursos (a)  $if$ ; (b)  $ibf$  e (c)  $fi$ .

**Problema 231** Considere novamente a Figura 14. Quando um sistema é levado do estado  $i$  para o estado  $f$ , ao longo do caminho  $iaf$ ,  $Q = 50 \text{ cal}$  e  $W = 20 \text{ cal}$ . Ao longo do caminho  $ibf$ , verifica-se que  $Q = 36 \text{ cal}$ .

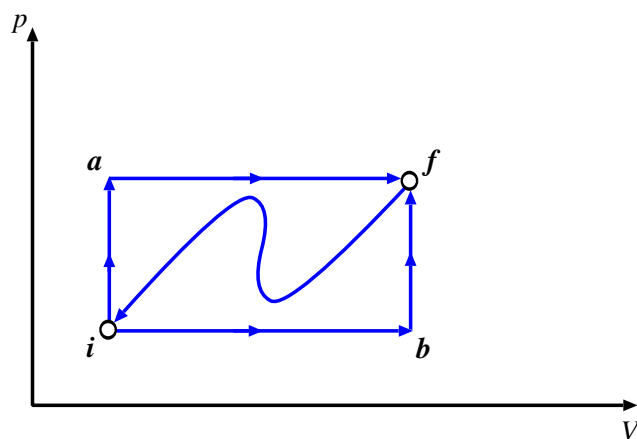


Figura 14: Variação de energia interna.

- Qual o valor de  $W$  para o percurso  $ibf$ ?
- Se  $W = -13$  cal para o caminho  $fi$ , qual o valor de  $Q$ ?
- Se  $U_i = 10$  cal, quanto vale  $U_f$ ?
- Se  $U_b = 22$  cal, quanto vale  $Q$ , para o processo  $ib$ ? e para o processo  $bf$ ?

**Problema 232** Uma mole de oxigénio é aquecido a pressão constante, a partir de  $0^\circ\text{C}$ . Qual é a quantidade de calor que deve ser adicionada ao gás para que o seu volume aumente para o dobro?

**232 Rpta.** 7950 J.

**Problema 233** Dez gramas de oxigénio são aquecidos desde  $27^\circ\text{C}$  até  $127^\circ\text{C}$  à pressão atmosférica, considerada constante.

- Qual a quantidade de calor transmitida para o oxigénio?
- Que fracção desse calor é usada para aumentar a energia interna do oxigénio?

**233 Rpta.** a) 920 J; b) 71%.

## 7.5 Segundo Princípio

**Problema 234** Em cada ciclo, um motor absorve 1600 J de um reservatório quente e expõe 1000 J para um reservatório frio. Determine:

- o rendimento da máquina;
- o trabalho realizado em cada ciclo;
- a potência se cada ciclo tiver uma duração de 0,3 s.

**234 Rpta.** (a) 37,5%; (b) 600 J; (c) 2 kW.

**Problema 235** Em cada ciclo, uma máquina térmica absorve 360 J de energia térmica e realiza 25 J de trabalho. Determine o rendimento da máquina e a energia térmica expelida em cada ciclo.

**235 Rpta.** 7%, 335 J.

**Problema 236** A quantidade de energia sob a forma de calor absorvida por uma máquina térmica é três vezes maior do que o trabalho por ela realizado.

- (a) Determine o rendimento da máquina.
- (b) Que fração da energia absorvida sob a forma de calor é expelida para o reservatório frio?

**236 Rpta.** (a) 33,3%; (b) 67%.

**Problema 237** Um motor tem uma potência de 5 kW e um rendimento de 25%. Se a máquina expelir 8 kJ de energia térmica em cada ciclo, determine:

- (a) a quantidade de energia sob a forma de calor absorvida em cada ciclo;
- (b) a duração de um ciclo.

**237 Rpta.** (a) 10,7 kJ; (b) 0,54 s.

**Problema 238** Uma máquina de Carnot utiliza um gás ideal como substância de trabalho e funciona entre as temperaturas 227°C e 127°C. Ela absorve  $6,0 \times 10^4$  calorias à temperatura mais elevada. Determine:

- (a) o trabalho realizado pela máquina em cada ciclo;
- (b) o rendimento da máquina.

**238 Rpta.** (a)  $1,2 \times 10^4$  cal; (b) 20%.

**Problema 239** Uma máquina ideal funciona segundo um ciclo de Carnot, em que a isoterma inferior se encontra à temperatura de 27°C. A potência da máquina é de 4,18 kW. Em cada ciclo a máquina absorve 3 kcal na transformação isotérmica à temperatura mais alta. Determine a temperatura da isoterma superior.

**239 Rpta.** 450 K.

**Problema 240** Uma máquina de Carnot funciona entre um reservatório quente à temperatura de 320 K e um reservatório frio a 260 K.

- (a) Se ela absorver 500 J de calor do reservatório quente, que trabalho irá produzir esta máquina num ciclo?
- (b) Se ela funcionar ao contrário, como um frigorífico, que trabalho deve ser fornecido à máquina para extrair 1000 J de calor do reservatório frio?

**240 Rpta.** (a) 94 J; (b) 230 J.

**Problema 241** O motor de um frigorífico tem uma potência de 200 W. Suponha que a temperatura dentro do frigorífico é 270 K e a temperatura exterior 300 K. Qual a quantidade máxima de calor que pode ser retirada do frigorífico em 10 minutos?

**241 Rpta.**  $1,1 \times 10^6$  J.

**Problema 242** O perpetuum mobile de primeira espécie (ou motor contínuo de primeira espécie) é um dispositivo que viola o Primeiro Princípio da Termodinâmica. O perpetuum mobile de segunda espécie é um dispositivo que viola o Segundo Princípio da Termodinâmica. Um engenheiro diz que inventou uma máquina térmica tal que, operando por ciclos, consome uma quantidade de calor igual a  $1,06 \times 10^8$  J de uma fonte a 480 K e fornece uma quantidade de calor igual a  $4,2 \times 10^7$  J a uma fonte a 240 K. Ele diz que esta máquina produz um trabalho de 16 kWh. Verifique se esta máquina viola:

- (a) o 1<sup>o</sup> princípio da termodinâmica;
- (b) o 2<sup>o</sup> princípio da termodinâmica.

**242 Rpta.** (a) não; (b) sim.

**Problema 243** Uma turbina combinada tem uma primeira turbina, que usa como substância de trabalho mercúrio, e uma segunda turbina que usa vapor de água. A primeira turbina absorve vapor saturado de mercúrio de uma caldeira à temperatura de 470°C e descarrega-o para uma caldeira que produz vapor de água à temperatura de 238°C. A segunda turbina recebe este vapor e lança-o para um condensador que está a temperatura de 38°C. Qual o rendimento máximo da combinação?

**243 Rpta.** 58%.

**Problema 244** Um motor de *combustão interna* a gasolina pode ser aproximado pelo *ciclo Otto* mostrado na Figura 15. O processo 1–2 representa a explosão (faísca), os processos 2–3 e 4–1 representam a expansão e compressão, respectivamente, e o processo 3–4 representa a admissão da mistura inicial (a expansão seguida do escape). Neste problema considere um gás ideal. Considere ainda uma razão de compressão  $V_4/V_1 = 4$  e suponha que  $p_2 = 3p_1$ .

- (a) Calcule a temperatura em cada um dos vértices do diagrama  $p - V$ , em função de  $p_1$ ,  $T_1$  e da razão  $\gamma = c_p/c_v$ .
- (b) Calcule o rendimento deste ciclo.
- (c) Concretize a alínea anterior, considerando um gás ideal diatómico,  $p_1 = 1,013 \times 10^5$  Pa e  $T_1 = 293$  K e compare o resultado obtido com o rendimento de uma máquina de Carnot que funciona entre as temperaturas  $T_2$  e  $T_4$  do ciclo analisado.

**244 Rpta.** (a)  $T_2 = 3T_1$ ,  $T_3 = 3 \times 4^{\gamma-1}T_1$ ,  $T_4 = 4^{\gamma-1}T_1$ ; (b)  $\eta = 1 - 4^{1-\gamma}$ ; (c)  $\eta_C = 43\%$ .

**Problema 245** Na Figura 16 está representado o ciclo de uma máquina térmica, cuja substância de trabalho é um gás ideal monoatômico.

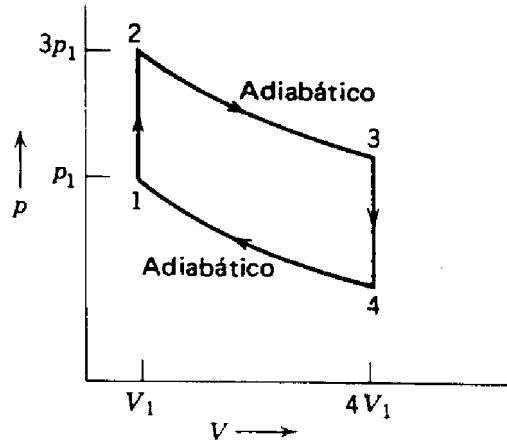


Figura 15: Ciclo Otto.

- (a) Calcule a constante adiabática do gás.
- (b) Mostre que  $T_3 = 2^{1-\gamma}T_2$ .
- (c) Mostre que  $T_2 = 2^\gamma T_1$ .
- (d) Calcule o rendimento da máquina térmica.

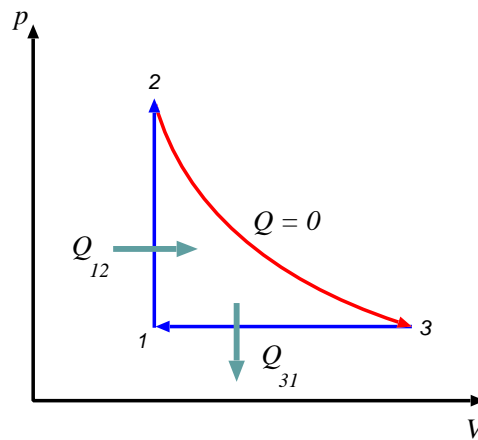


Figura 16: Ciclo de uma máquina térmica.

**245 Rpta.** (a) 1,67; (d) 23%.

## 8 Electrostática

### 8.1 Lei de Coulomb

**Problema 246** Responda às questões seguintes:

- (a) se se duplicar a distância entre duas cargas iguais a força de repulsão electrostática deverá...
- (b) se se duplicar em simultâneo a distância entre duas cargas iguais e o valor da carga, a intensidade da força de repulsão electrostática deverá...

**246 Rpta.**

- (a) diminuir por um factor de 4;
- (b) manter-se invariável;

**Problema 247** Determine:

- (a) o número  $N$  de electrões, necessários para construir uma carga de 1 C;
- (b) a massa dos  $N$  electrões;
- (c) a força de repulsão entre duas cargas de 1 C separadas por uma distância  $r = 1$  km.

**247 Rpta.** (a)  $N = 6,25 \times 10^{18}$ ; (b)  $m = 5,69 \times 10^{-12}$  kg; (c)  $F =$  kN.

**Problema 248** Duas cargas fixas, de  $+1 \times 10^{-6}$  C e  $+3 \times 10^{-6}$  C, estão separadas por uma distância  $d = 10$  cm. Determine onde é que se pode localizar uma terceira carga, de modo a que a força resultante sobre ela seja nula.

**248** Entre as duas cargas, a 0,037 m da carga de  $+1 \times 10^{-6}$  C (mas o equilíbrio vai ser instável).

**Problema 249** A força electrostática entre dois iões iguais, separados por uma distância  $r = 5 \times 10^{-10}$  m, é de  $3,7 \times 10^{-9}$  N. Determine

- (a) a carga em cada ião;
- (b) quantos electrões faltam em cada ião.

**249** (a)  $3,2 \times 10^{-19}$  C; (b) dois.

**Problema 250** A carga total de duas esferas carregadas positivamente é de  $5 \times 10^{-5}$  C. Determine como está a carga distribuída entre as duas esferas, sabendo que a força de repulsão entre elas, quando estão separadas de 2 m, é igual a 1 N.

**250**  $1,2 \times 10^{-5}$  C e  $3,8 \times 10^{-5}$  C.

**Problema 251** Determine qual deve ser a distância entre dois prótons, para que a força eléctrica repulsiva entre eles seja igual ao peso de um próton na superfície da Terra (para um próton  $m = 1,7 \times 10^{-27}$  kg).

**251** 0,12 m.

**Problema 252** Duas esferas iguais, de massa  $m$  e carga  $q$ , estão penduradas por fios de seda de comprimento  $l$ , como mostra a Figura 17. Admita que o ângulo  $\theta$  é tão pequeno que permite fazer a substituição  $\tan \theta \approx \sin \theta$ , sem se cometer um erro apreciável. Mostre que, dentro desta aproximação, se tem que

$$x = \left( \frac{lq^2}{2\pi\epsilon_0 mg} \right)^{1/3},$$

onde  $x$  é a distância entre os centros das duas esferas. Determine o valor da carga  $q$  se  $l = 120$  cm,  $m = 10$  g e  $x = 5$  cm.

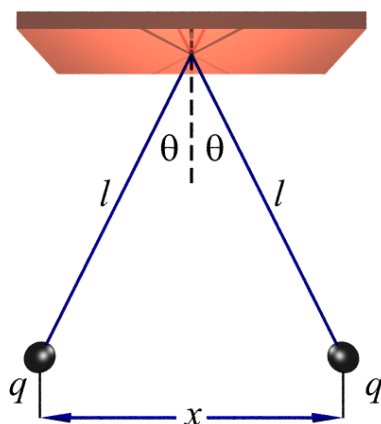


Figura 17: Duas esferas iguais.

**252**  $2,4 \times 10^{-8}$  C.

**Problema 253** Um determinado objecto é carregado positivamente através da remoção de  $10^{-15}$  kg dos seus electrões. Quantos electrões foram removidos e qual é a carga do objecto?

**253 Rpta.**  $N = 1,10 \times 10^{15}$  electrões;  $Q = 1,76 \times 10^{-4}$  C.

**Problema 254** Calcule a razão entre as forças electrostática e gravitacional de um electrão e um próton no ar.

**254 Rpta.**  $2,27 \times 10^{39}$ .

**Problema 255** No modelo do átomo hidrogénio de Bohr, o electrão move-se numa órbita circular à volta do próton. O raio dessa órbita é  $0,53 \text{ \AA}$ . Qual a velocidade do electrão nesta órbita?

**255 Rpta.**  $v = 2,18 \times 10^6$  m/s.

**Problema 256** Duas cargas iguais estão inicialmente separadas por uma distância  $r = 3,2 \times 10^{-3}$  m, e devido à repulsão electrostática afastam-se com acelerações iniciais de  $7$  m/s<sup>2</sup> e  $9$  m/s<sup>2</sup>. Determine:

- (a) a massa da segunda carga sabendo que a massa da primeira carga corresponde a  $m = 6,3 \times 10^{-7}$  kg;
- (b) o valor da carga.

**256 Rpta.** (a)  $4,39 \times 10^{-7}$  kg; (b)  $7,1 \times 10^{-11}$  C.

**Problema 257** Três cargas estão dispostas nos vértices de um triângulo equilátero, tal como indicado na Figura 18. Determine a direcção e o sentido da força que age sobre a carga  $q$ .

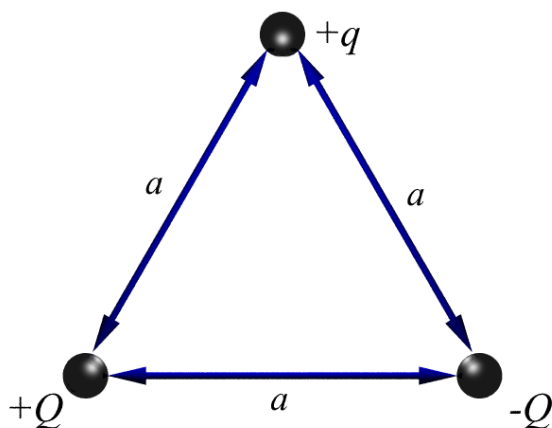


Figura 18: Cargas num triângulo equilátero.

**257 Rpta.**  $\vec{F} = (2kqQ/a^2) \cos(\pi/3) \vec{e}_x$ , onde  $k = 1/(4\pi\epsilon_0)$ .

## 8.2 Campo electrostático

**Problema 258** Determine o módulo de uma carga eléctrica pontual, escolhida de modo a produzir um campo com uma intensidade  $E = 2$  N/C a uma distância de 50 cm.

**258**  $5,6 \times 10^{-11}$  C.

**Problema 259** Determine na Figura 19(b) o ponto (ou pontos) onde a intensidade do campo eléctrico é nula. Considere  $a = 50$  cm.

**259** (1,36, 0) m.

**Problema 260** Três cargas idênticas  $q$  estão colocadas em três vértices de um quadrado de lado  $l$ . Calcule o campo eléctrico no quarto vértice.

**260**  $E_x = E_y = kq(4 + \sqrt{2}) / (4l^2)$ , onde  $k = 1/(4\pi\epsilon_0)$ .

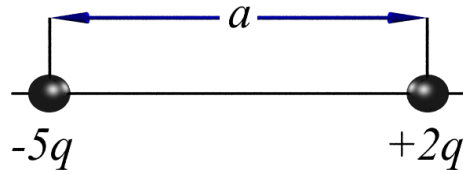


Figura 19: Duas cargas.

**Problema 261** Um conjunto de 4 cargas está disposto segundo os vértices de um quadrado, como se indica na Fig. 20. Supondo que o lado do quadrado é  $l = 20 \text{ cm}$  e que  $q = 2 \mu\text{C}$ , calcule o campo eléctrico:

- (a) no centro do quadrado;
- (b) no meio da aresta que une as duas cargas positivas;
- (c) no meio de uma das arestas que une uma carga positiva a uma negativa;
- (d) no meio da aresta que une as duas cargas negativas.

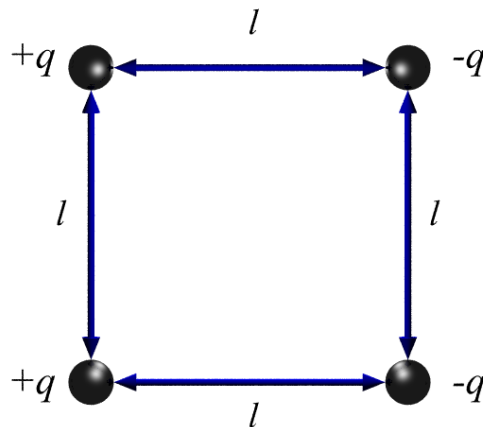


Figura 20: Sistema de cargas

**261 Rpta.** (a)  $2,6 \times 10^6 \vec{e}_x \text{ N/C}$ , (b)  $6,4 \times 10^5 \vec{e}_x \text{ N/C}$ , (c)  $2,1 \times 10^6 \vec{e}_x \text{ N/C}$ , (d)  $6,4 \times 10^5 \vec{e}_x \text{ N/C}$ .

### 8.3 Dipolos electrostáticos

**Problema 262** Um dipolo eléctrico consiste em duas cargas  $q$  de sinais opostos separadas por uma distância  $a$  (ver Figura 21).

- (a) Mostre que o campo eléctrico no ponto  $P$ , para  $r_P \gg a$ , é dado pela expressão

$$\vec{E}_P = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qa}{r_P^3} \vec{e}_x .$$

(b) Mostre que o campo eléctrico no ponto  $M$  (que esta alinhado com o eixo que liga as duas cargas), para  $r_M \gg a$ , é dado pela expressão

$$\vec{E}_M = -\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{qa}{r_M^3} \vec{e}_x .$$

(c) Indique em que aspectos é que  $\vec{E}_P$  e  $\vec{E}_M$  são semelhantes e em que aspectos são diferentes.

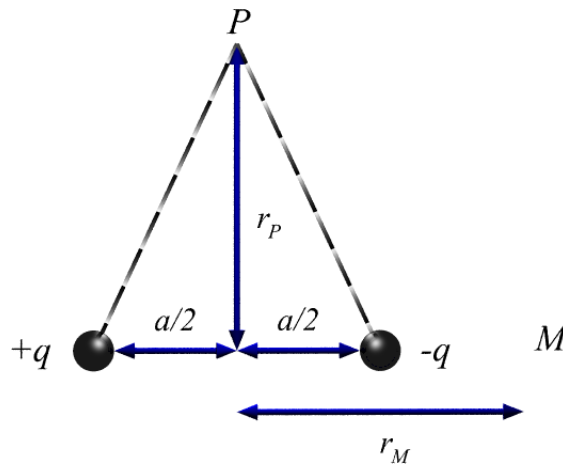


Figura 21: Dipolo electrostático.

**262 Rpta.** (c) São semelhantes na dependência cúbicamente inversa à distância; são diferentes no sinal e na intensidade (com  $|\vec{E}_M| = 2|\vec{E}_P|$ ).

**Problema 263** Para um dipolo constituído por uma par de cargas  $q$  e  $-q$ , separadas por uma distância vertical  $2a$ , considere um ponto  $P$  colocado à distância  $r$  do centro do dipolo e situado no seu eixo (ver Figura 22).

(a) Demonstre que para grandes valores de  $r$  a intensidade do campo eléctrico, em  $P$ , corresponde a

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3} ,$$

onde  $p$  representa o módulo do momento do dipolo ( $\vec{p} = 2aq\vec{e}_y$ ).

(b) Determine a direcção de  $\vec{E}$ .

**263** (b) Anti-paralela a  $\vec{p}$ .

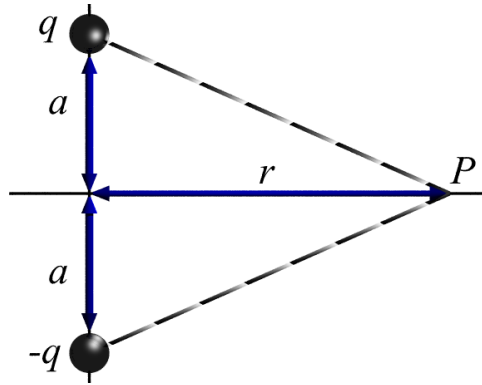


Figura 22: Dipolo electrostático.

## 8.4 Potencial electrostático

**Problema 264** Uma carga pontual  $q_1 = +2 \mu\text{C}$  é colocada na origem do eixo  $X$ . Uma segunda carga  $q_2 = -3 \mu\text{C}$  é colocada na posição  $x = 100 \text{ cm}$ . Em que ponto(s) do eixo  $X$  é que o potencial eléctrico se anula?

**264 Rpta.**  $x = -2 \text{ m}$  e  $x = +0,4 \text{ m}$ .

**Problema 265** Três cargas  $q$  estão colocadas em três vértices de um quadrado de lado  $l$ . Determine o potencial eléctrico no quarto vértice.

**265 Rpta.**  $(2 + \sqrt{2}/2) kq/l$ .

**Problema 266** Qual é o trabalho necessário para deslocar a carga  $q = 2$  na Fig23, da posição  $A$  para a posição  $B$ ? (todas as cargas estão em unidades de mC).

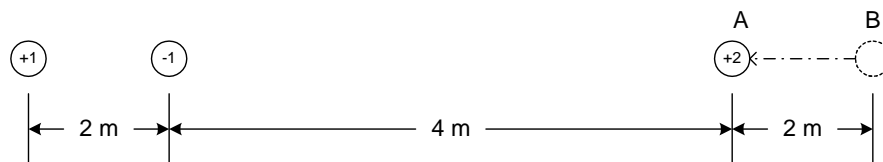


Figura 23: Sistema de cargas

**266 Rpta.**  $7,5 \times 10^2 \text{ J}$ .

**Problema 267** Um conjunto de 4 cargas está disposto segundo os vértices de um quadrado, como se indica na Fig. 24. Supondo que o lado do quadrado é  $l = 20 \text{ cm}$  e que  $q = 2 \mu\text{C}$ , calcule o potencial electrostático:

- no centro do quadrado;
- no meio da aresta que une as duas cargas positivas;
- no meio de uma das arestas que une uma carga positiva a uma negativa;

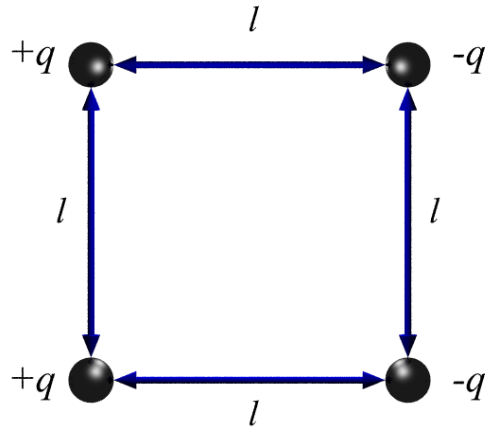


Figura 24: Sistema de cargas

(d) no meio da aresta que une as duas cargas negativas.

**267 Rpta.** (a) 0, (b)  $2 \times 10^5$  V, (c) 0, (d)  $-2 \times 10^5$  V.

**Problema 268** Uma esfera de massa 1 kg e de raio muito pequeno, carregada positivamente com uma carga de 1 mC encontra-se em repouso no ar.

- (a) Determine o potencial electrostático à distância de 4 m da esfera.
- (b) Calcule o trabalho realizado pelo campo criado pela esfera para deslocar uma carga de -1 mC de uma distância de 2 m para uma distância de 0,5 m.
- (c) Supondo que a esfera é mantida no ar pela acção de um campo electrostático exterior, calcule a intensidade desse campo.

**268 Rpta.** (a)  $2,25 \times 10^6$  V; (b) 13500 J; (c)  $9,8 \times 10^3$  N/C.

**Problema 269** Considere duas placas paralelas a uma distância de 2 cm. Estabelece-se entre elas uma diferença de potencial de 600 V, ligando-as a uma bateria.

- (a) Calcule a força a que ficaria sujeita uma gota de óleo entre elas com uma carga  $4e$ , em que  $e$  representa a carga do electrão.
- (b) Calcule a capacidade do condensador construído com estas placas se estas tiverem uma área de  $1 \text{ m}^2$  e se entre elas existir ar.

**269 Rpta.** (a)  $1,9 \times 10^{-14}$  N; (b)  $4,4 \times 10^{-10}$  F.

**Problema 270** Qual a diferença de potencial,  $\Delta\varphi$ , necessária para parar um electrão com uma velocidade inicial de  $4,2 \times 10^5$  m/s?

**270 Rpta.**  $\Delta\varphi = -0,5$  V.

**Problema 271** Considere dois pontos,  $P_1$  e  $P_2$ , num campo eléctrico. O potencial em  $P_1$  é  $\varphi_1 = -30$  V e o potencial em  $P_2$  é  $\varphi_2 = +150$  V. Determine o trabalho que uma força externa deverá realizar para mover uma carga  $q = -4,7\mu\text{C}$  de  $P_2$  para  $P_1$ .

**271 Rpta.**  $8,46 \times 10^{-4}$  J.

**Problema 272** Um electrão entra com uma velocidade inicial  $\vec{v}_0 = 6 \times 10^5 \vec{e}_x$  m/s numa região onde existe um campo electrostático uniforme, com a mesma direcção e sentido que a velocidade inicial. Determine:

(a) a variação do potencial electrostático do electrão;

(b) o trabalho realizado pela força electrostática.

**Problema 273** Existe uma diferença de potencial de 90 mV entre as superfícies interna e externa da membrana de uma célula. A superfície interna é negativa relativamente à externa. Qual a energia necessária para retirar um ião  $\text{Na}^+$  do interior da célula?

**273 Rpta.**  $1,44 \times 10^{-20}$  J.

**Problema 274** A diferença de potencial entre as superfícies externa e interna da membrana celular, em repouso, é de -70 mV. Suponha que uma célula tem uma superfície de  $5 \times 10^{-10} \text{m}^2$ .

(a) Calcule a intensidade do campo eléctrico no interior da membrana, sabendo que a sua espessura é de 90 Å.

(b) Calcule o número de iões monovalentes que, depositados na superfície da membrana, originam o referido campo eléctrico (admita que a capacidade específica da membrana é de  $10^{-2} \text{F/m}^2$ ).

**274 Rpta.** (a)  $7,78 \times 10^6$  N/C; (b)  $2,18 \times 10^6$ .

## 8.5 Corrente e resistência eléctricas

**Problema 275** Se passar uma corrente de 80,0 mA num condutor metálico, quantos electrões passam numa secção do condutor em 10,0 min?

**275 Rpta.**  $2,99 \times 10^{20}$ .

**Problema 276** É frequente a observação de aves pousadas em cabos de alta tensão. Admita que o cabo de cobre em que a ave se apoia tem 2,2 cm de diâmetro e transporta uma corrente de 50 A. Se os pés da ave estiverem afastados de 4,0 cm, calcule a diferença de potencial entre eles ( $\rho_{Cu} = 1,7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ ).

**276 Rpta.**  $8,9 \times 10^{-5}$  V.

**Problema 277** Calcule a resistência de um fio cilíndrico de tungsténio de comprimento  $L = 100$  m e raio  $r = 1$  mm à temperatura ambiente e a  $T = 500$  C ( $\rho_{t.amb} = 5,6 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ ,  $\alpha = 4,5 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ ).

**277 Rpta.**  $R_{20} = 1,78\Omega; R_{500} = 5,63\Omega$

**Problema 278** Um pedaço de cobre com 45 g de massa é transformado num fio com um diâmetro de 1,5 mm. Qual é a resistência do fio.

**278 Rpta.**  $R = 2,776 \times 10^{-2}\Omega$ .

**Problema 279** Um corrente de 8 amperes é retirada de uma fonte de 240 V.

1. Qual é a potência de saída da fonte?
2. Qual é a energia, expressa em J e em kWh, que é fornecida pela fonte, se trabalhar continuamente durante uma semana?

**279 Rpta.** (a) 1920 W; (b)  $1161,216 \times 10^6$  J.

**Problema 280** Uma corrente de 6 A flui através de duas resistências, de 1  $\Omega$  e 2  $\Omega$ , que estão ligadas em paralelo. Qual é a queda de tensão nas resistências? Qual é a potencia total dissipada?

**280 Rpta.** 4 V ; 24 W

## 8.6 Circuitos

**Problema 281** Um corrente de 8 amperes é retirada de uma fonte de 240 V.

- (a) Qual é a potência de saída da fonte?
- (b) Qual é a energia, expressa em J e em kWh, que é fornecida pela fonte, se trabalhar continuamente durante uma semana?

**281 Rpta.** (a) 1920 W; (b)  $1161,216 \times 10^6$  J.

**Problema 282** Uma corrente de 6 A flui através de duas resistências, de 1  $\Omega$  e 2  $\Omega$ , que estão ligadas em paralelo. Qual é a queda de tensão nas resistências? Qual é a potencia total dissipada?

**282 Rpta.** 4 V; 24 W.

**Problema 283** Três condensadores de  $2\mu\text{F}$ ,  $4\mu\text{F}$  e  $7\mu\text{F}$  fazem parte de um circuito, encontrando-se ligados (a) em série, (b) em paralelo (ver Fig.25). Entre os extremos do circuito é aplicada uma diferença de potencial de 50 V. Determine:

- (a) a capacidade do sistema;
- (b) a carga e a diferença de potencial em cada condensador;
- (c) a energia do sistema.

**Problema 284** No circuito da Fig.26 determine:

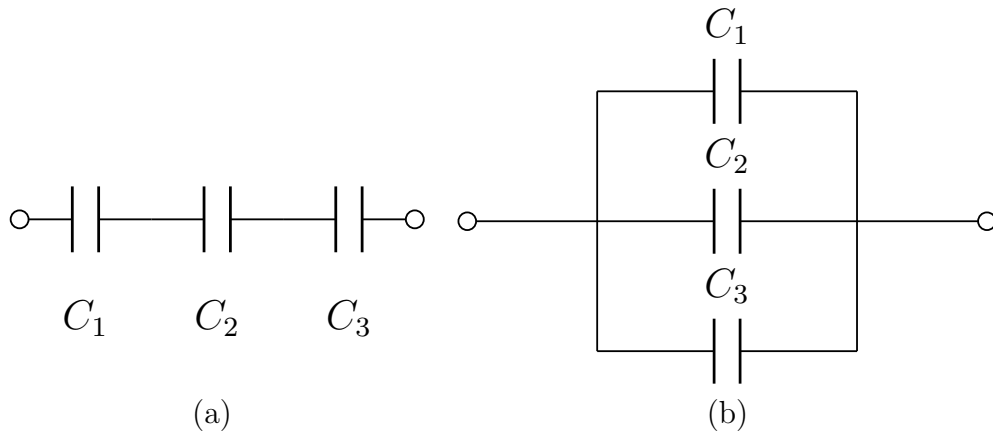


Figura 25: Circuito com condensadores.

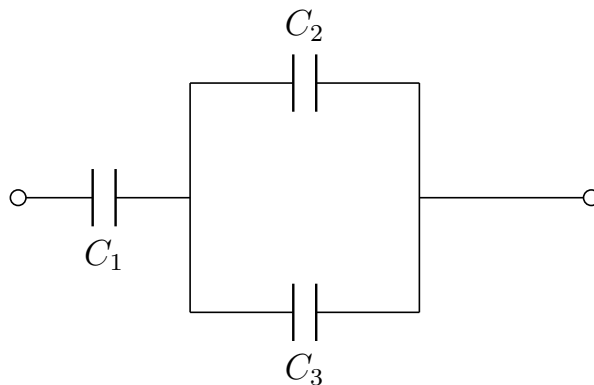


Figura 26: Circuito com condensadores.

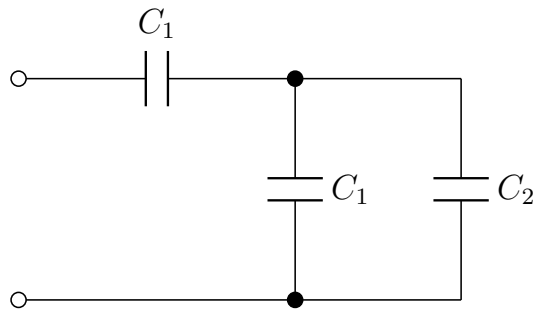


Figura 27: Circuito com condensadores.

(a) a carga e a diferença de potencial em cada condensador;

(b) a energia do sistema.

(considere que  $C_1 = 3\mu\text{F}$ ,  $C_2 = 2\mu\text{F}$ ,  $C_3 = 4\mu\text{F}$  e  $\Delta\varphi = 300\text{ V}$ ).

**Problema 285** Mostre para o circuito da Fig.27 que  $C_2/C_1 = 0,618$  para que  $C_T = C_2$ .

**Problema 286** Mostre para o circuito da Fig.28 que a capacidade total corresponde a  $C_T = 0,618C_1$ .

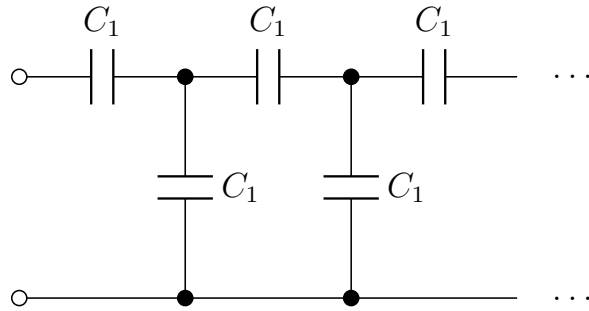


Figura 28: Circuito com condensadores.

**Problema 287** Determine a resistência total do circuito mostrado na Fig.29 (considere que todas as resistências são iguais, de valor  $10 \Omega$ ).

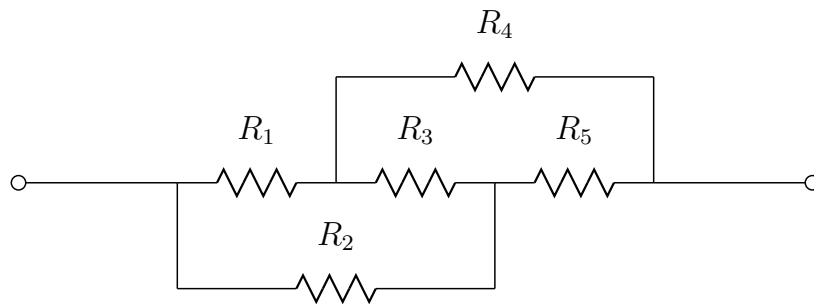


Figura 29: Circuito com resistências.

**Problema 288** Três resistências iguais, ligadas em série, fazem parte de um circuito (ver Fig.30(a)). A potência do mesmo para uma determinada diferença de potencial é de  $10 \text{ W}$ . Determine a respectiva potência do circuito quando as resistências são ligadas em paralelo (ver Fig.30(b)).

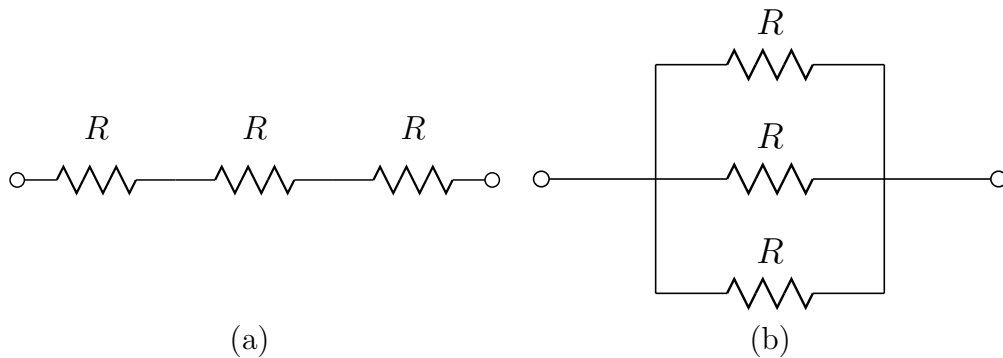


Figura 30: Circuito com resistências.

**Problema 289** Mostre para o circuito da Fig.31 que  $R_2/R_1 = 1,618R_1$  para que  $R_T = R_2$ .

**Problema 290** Mostre para o circuito da Fig.32 que a resistência total corresponde a  $R_T = 1,618R_1$ .

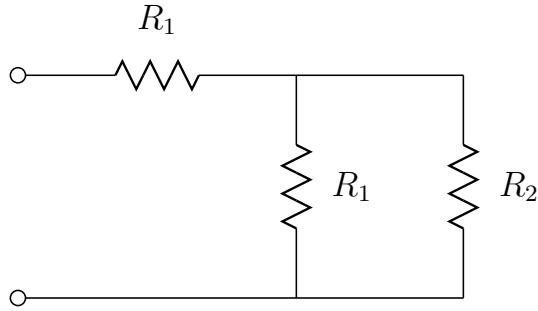


Figura 31: Circuito com resistências.

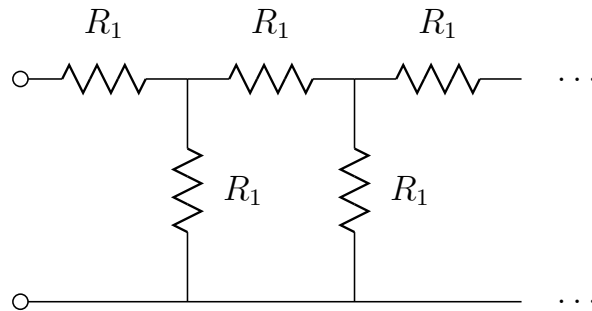


Figura 32: Circuito com resistências.

## 8.7 Movimento de cargas

**Problema 291** Um electrão é projectado com uma velocidade inicial  $v_0 = 3 \times 10^6$  m/s, entre duas placas paralelas de um condensador, tal como indicado na Figura 33 ( $d = 0,5$  cm). A intensidade do campo entre as placas corresponde a  $E = 10^3$  N/C. Determine

- o tempo que o electrão demora a alcançar a placa superior;
- a correspondente distância horizontal percorrida pelo electrão.

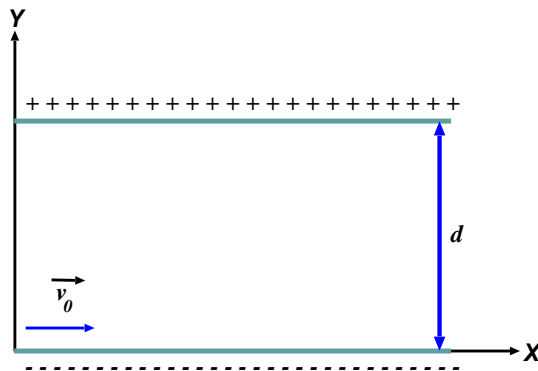


Figura 33: Electrão entre as placas de um condensador.

**291 Rpta.** (a) 7,5 ns; (b) 0,023 m.

**Problema 292** Existe um campo eléctrico uniforme no espaço entre duas placas paralelas de cargas opostas. Um electrão parte do repouso, na superfície da placa carregada negativamente, e incide sobre a superfície da placa oposta, a uma distância  $d = 2$  cm, após um tempo  $t_0 = 1,5 \times 10^{-8}$  s. Determine:

- (a) a velocidade do electrão quando incide sobre a segunda placa;
- (b) o módulo do campo electrostático  $\vec{E}$ .

**292 Rpta.** (a)  $2,7 \times 10^6$  m/s; (b)  $1 \times 10^3$  N/C.

**Problema 293** Um electrão entra com uma velocidade inicial  $\vec{v}_0 = 6 \times 10^5 \vec{e}_x$  m/s numa região onde existe um campo electrostático uniforme, com a mesma direcção e sentido que a velocidade inicial. Determine:

- (a)  $\vec{E}$  sabendo que  $|\vec{a}| = 1,76 \times 10^{14}$  m/s<sup>2</sup>;
- (b) o tempo que o electrão demora a parar desde o instante em que entra no campo;
- (c) a distância percorrida pelo electrão durante esse tempo.

**Problema 294** Um electrão com uma velocidade inicial  $\vec{v}_0 = v_0 \vec{e}_x$ , onde  $v_0 = 8,6 \times 10^5$  m/s, entra numa região onde existe um campo eléctrico uniforme  $\vec{E} = E_0 \vec{e}_x$ , onde  $E_0 = 4,1 \times 10^3$  N/C. Determine:

- (a) a aceleração do electrão.
- (b) o tempo que o electrão leva a parar.
- (c) a distância que o electrão percorre até parar.

**294** (a)  $-7,2 \times 10^4 \vec{e}_x$  N/C; (b) 1,2 ns; (c)  $5,1 \times 10^{-4}$  m.

**Problema 295** Os protões de um feixe são projectados com uma velocidade inicial  $v_0 = 9,55 \times 10^3$  m/s, numa região onde existe um campo eléctrico uniforme  $\vec{E} = -E_0 \vec{e}_y$  (ver Figura 34), onde  $E_0 = 720$  N/C. Os protões devem atingir um alvo que se encontra a uma distância horizontal  $l = 1,27$  mm, do ponto de onde foram projectados. Determine:

- (a) os ângulos  $\theta$  que resultam na colisão dos protões com o alvo.
- (b) o tempo total de vôo para cada trajectória.

**295** (a)  $36,96^\circ$  e  $53,04^\circ$ ; (b) 167 ns e 221 ns.

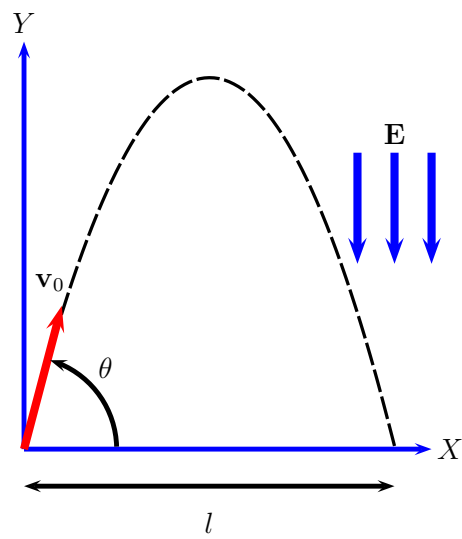


Figura 34: Movimento de prótons.

## 9 Radiações

**Problema 296** O carbono 14 é um isótopo radioactivo e tem um  $T_{1/2}$  de 5730 anos. Se uma fonte radioactiva tem 1000 átomos de carbono 14 num certo instante, qual o número médio de átomos de carbono 14 ao fim de 22,920 anos?

**Problema 297** O  $T_{1/2}$  do núcleo radioactivo  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$  é  $1,6 \times 10^3$  anos. a) Calcule a probabilidade de decaimento de um núcleo de  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ . b) Se um amostra contem  $3,0 \times 10^{16}$  núcleos num certo instante, determine a sua actividade nesse instante.

**Problema 298** Uma fonte radioactiva contem  $3,5 \mu\text{g}$  de  ${}^{11}_6\text{C}$  puro, cuja  $T_{1/2} = 20,4$  min. a) Determine o número de núcleos da amostra no instante inicial. b) Calcule a actividade inicial da fonte e ao fim de 8 h.

**Problema 299** Um amostra de carvão com 25 g é encontrada numas ruínas de uma cidade antiga. A amostra tem uma actividade do carbono 14 de 250 decaimentos por minuto. Há quanto tempo morreu a árvore da qual este carvão deriva?

**Problema 300** Determine equivalente mássico de 92 MeV.

**300 Rpta.**  $1,64 \times 10^{-28}$  kg.

**Problema 301** A actividade de um composto radioactivo particular corresponde, no instante  $t = 0$  s, a 3600 partículas por minuto. Determine a actividade do composto decorrida metade do seu período.

**301 Rpta.** 42,43 partículas por segundo.

## 10 Óptica

### 10.1 Reflexão da luz, espelhos

**Problema 302** Um objecto encontra-se posicionado enfrente de um espelho côncavo de raio  $R = 3$  m, a uma distância de 4 m. Determine a distância entre a imagem e o espelho.

**302 Rpta.** 2,4 m.

**Problema 303** Um rapaz com uma altura  $h_1 = 1,50$  m pode ver a sua imagem num espelho plano vertical que se encontra a uma distância de 3 m. A imagem tem a altura do espelho. Os olhos do rapaz se encontram a uma altura  $h_2 = 1,40$  m. Determine quais devem ser as dimensões mínimas do espelho (comprimento e altura) para que o rapaz consiga ver nele a sua imagem completa.

**303 Rpta.** O espelho deve ter uma elevação de 70 cm e uma altura de 75 cm.

**Problema 304** Um espelho esférico côncavo tem um raio de curvatura  $R = 4$  m. Determine a altura e distância ao espelho da imagem de um objecto que é posicionado a uma distância  $d = 3$  m do espelho e que possui uma altura  $h = 5$  cm.

**304 Rpta.** A altura da imagem é de 10 cm, a imagem é real e encontra-se a uma distância de 6 m do espelho.

**Problema 305** Um espelho esférico côncavo tem um raio de curvatura  $R = 80$  cm. Determine a altura relativa e distância ao espelho da imagem de um objecto que é posicionado a uma distância  $d = 25$  cm do espelho.

**305 Rpta.** A altura da imagem é 2,7 vezes a altura do objecto, a imagem é virtual e encontra-se a uma distância de 66,7 cm atrás do espelho.

**Problema 306** Um espelho esférico convexo tem um raio de curvatura  $R = 40$  cm. Determine a altura e distância ao espelho da imagem de um objecto de altura  $h = 6$  cm, que é posicionado a uma distância  $d = 30$  cm do espelho.

**306 Rpta.** A altura da imagem é 2,4 cm, a imagem é virtual e encontra-se a uma distância de 12 cm atrás do espelho.

**Problema 307** Determine a que distância de um espelho esférico côncavo de raio  $R = 180$  cm deve ser posicionado um objecto para que a sua imagem tenha metade das suas dimensões lineares.

**307 Rpta.** O objecto deve ficar posicionado a 0,27 m do espelho.

**Problema 308** Determine a que distância de um espelho esférico côncavo de raio  $R = 120$  cm deve ser posicionado um objecto para obter uma imagem direita quatro vezes maior.

**308 Rpta.** O objecto deve ficar posicionado a 45 cm do espelho.

**Problema 309** Determine que tipo de espelho esférico deve ser usado para obter uma imagem direita, cinco vezes menor que a de um objecto posicionado a 15 cm do espelho.

**309 Rpta.** É necessário um espelho convexo, de raio  $R = 7,5$  cm.

**Problema 310** O diâmetro do Sol subtende um ângulo de aproximadamente  $32'$  em qualquer ponto da Terra. Determine a posição e o diâmetro da imagem solar formada por um espelho esférico côncavo de raio 400 cm.

**Problema 311** Um dentista usa um espelho que tem uma amplificação  $A = 4$ , quando colocado a 6 mm de um dente. Determine a raio de curvatura do espelho.

**311 Rpta.**  $R = 1,6$  cm.

## 10.2 Refracção da luz

**Problema 312** A velocidade de propagação da luz na água corresponde a  $3c/4$ . Determine o seu índice de refração.

**312 Rpta.**  $n = 1,33$ .

**Problema 313** Determine o tempo  $t$  que um raio de luz demora a atravessar uma placa fina de vidro, de espessura  $d = 60$  cm (considere que  $n = 1,55$ ).

**313 Rpta.**  $t = 3,1 \times 10^{-11}$  s.

**Problema 314** Um raio de luz incide sobre uma placa de vidro com  $n = 1,50$ , segundo um ângulo  $\theta_i = 50^\circ$ . Determine o ângulo de refração.

**314 Rpta.**  $\theta_t = 31^\circ$ .

**Problema 315** O diamante tem um índice de refração  $n = 2,42$ . Determine o valor do ângulo crítico para a luz que transita do diamante para o ar.

**315 Rpta.**  $\theta_c = 24,4^\circ$ .

**Problema 316** Determine o ângulo crítico para a luz que transita do vidro para o ar (índices de refração 1,50 e 1, respectivamente).

**316 Rpta.**  $\theta_c = 41,81^\circ$ .

**Problema 317** Determine o ângulo crítico para a luz que transita do vidro para a água (índices de refração 1,54 e 1,33, respectivamente).

**317 Rpta.**  $\theta_c = 59,7^\circ$ .

**Problema 318** Uma película fina de óleo ( $n = 1,45$ ) flutua sobre água ( $n = 1,33$ ). Um raio de luz incide sobre a superfície do óleo com um ângulo  $\theta_i = 40^\circ$ . Determine o ângulo com que o raio de luz se propaga dentro da água.

**318 Rpta.**  $\theta_t = 28,9^\circ$ .

**Problema 319** Uma lâmpada encontra-se no interior de uma piscina cheia de água ( $n = 4/3$ ) a uma profundidade  $D = 2$  m. A lâmpada emite luz de maneira uniforme, mas à superfície da piscina apenas é visível um círculo luminoso de raio  $R$ . Determine o valor de  $R$ .

**319 Rpta.**  $R = 2,26$  m.

**Problema 320** Determine o valor mínimo do índice de refração que um prisma de  $45^\circ$  deve ter, para que possa deflectir por reflexão total interna um feixe de luz num ângulo de  $90^\circ$ .

**320 Rpta.**  $n = 1,41$ .

**Problema 321** Determine a profundidade aparente de um objecto que se encontra a uma profundidade  $D$  no interior de um fluido com índice de refração  $n$ .

**Problema 322** Uma lâmina de vidro com uma espessura  $d = 4$  mm é observada através de um microscópio. Quando o observador desce o microscópio numa distância  $h = 2,58$  mm passa da observação da face superior da placa para a observação da sua face inferior. Determine o índice de refração da lâmina.

**322 Rpta.**  $n = 1,55$ .

### 10.3 Lentes

**Problema 323** Numa lente convexa de distância focal  $f = 7,5$  cm a imagem é formada à distância  $s_i = -15$  cm da lente. Determine a distância entre o objecto e a lente.

**323 Rpta.**  $s_o = 5$  cm.

**Problema 324** Um objecto com uma altura  $h = 4$  cm encontra-se a uma distância  $d = 20$  cm de uma lente convexa fina, cuja distância focal é  $f = +12$  cm. Determine a posição e altura da imagem.

**324 Rpta.**  $s_i = 30$  cm,  $A = 1,5$ , a imagem é real e tem uma altura de 6 cm.

**Problema 325** Um objecto encontra-se a uma distância  $d = 5$  cm de uma lente convexa fina, cuja distância focal é  $f = +7,5$  cm. Determine a posição da imagem e a amplificação da lente.

**325 Rpta.**  $s_i = -15$  cm,  $A = 3$ , a imagem é virtual.

**Problema 326** Um objecto com uma altura  $h = 9$  cm encontra-se a uma distância  $d = 27$  cm de uma lente côncava fina, cuja distância focal é  $f = -18$  cm. Determine a posição da imagem e altura da imagem.

**326 Rpta.**  $s_i = -11$  cm,  $A = 0,4$ , a imagem é virtual e tem uma altura de 3,6 cm.

**Problema 327** Uma lente convergente com uma distância focal  $f = 20$  cm é colocada a 37 cm de um ecrán. Determine a que distância da lente se deve posicionar um objecto para obter uma imagem focada no ecrán.

**327 Rpta.**  $s_o = 43,5$  cm.

**Problema 328** Determine a posição e distância focal de uma lente convergente para que permita obter uma imagem focada, 4 vezes maior, de um objecto sobre um ecrán colocado a 10 m de distância da lâmpada.

**328 Rpta.**  $f = +1,6$  m.

**Problema 329** Determine as posições em que uma lente convergente com uma distância focal  $f = +9$  cm pode formar as imagens de um objecto num ecrán colocado a 40 cm do objecto.

**329 Rpta.** 13,7 cm e 26,3 cm.

**Problema 330** Uma lente convergente possui uma distância focal  $f = 50$  cm e forma uma imagem real de um objecto, amplificada 2,5 vezes. Determine a distância entre o objecto e a imagem.

**330 Rpta.** 2,5 m.

**Problema 331** Uma lente convergente com uma distância focal  $f$  projecta num ecrán a imagem de um objecto amplificada  $M$  vezes. Mostre que a distância da lente ao ecrán é  $D = f(M + 1)$ .

**Problema 332** Uma lente possui um índice de refração  $n = 1,54$ ; tem uma superfície convexa de raio  $R_1 = 20$  cm e uma superfície côncava de raio  $R_2 = 40$  cm. Determine a distância focal da lente e o seu tipo.

**332 Rpta.**  $f = +74$  cm, a lente é convergente.

**Problema 333** Uma lente biconvexa tem faces com raios  $R_1 = 18$  cm e  $R_2 = 20$  cm. Quando se coloca um objecto a uma distância de 24 cm da lente forma-se uma imagem real a 32 cm da lente. Determine:

- (a) a distância focal da lente;
- (b) o seu índice de refração.

**333 Rpta.** (a)  $f = 14$  cm; (b)  $n = 1,7$ .

## 10.4 Instrumentos ópticos

**Problema 334** Uma pessoa com miopia não consegue ver nitidamente objectos a uma distância do olho maior que 80 cm. Determine a potência, em dioptrias, das lentes dos óculos que lhe permitirão ver com nitidez objectos muito distantes.

**334 Rpta.** -1.3 dioptrias.

**Problema 335** Uma pessoa com hipermetropia não consegue ver nitidamente objectos a uma distância do olho menor que 75 cm. Determine a potência, em dioptrias, das lentes dos óculos que lhe permitirão ler à distância de 25 cm.

**335 Rpta.** 2,7 dioptrias.

**Problema 336** Uma lente de projecção que tem uma distância focal de 30 cm, projecta uma imagem de um diapositivo de  $2\text{ cm} \times 3\text{ cm}$  num alvo a 10 m da lente. Determine as dimensões da imagem.

**336 Rpta.**  $64\text{ cm} \times 96\text{ cm}$ .

**Problema 337** Uma máquina fotográfica mostra uma imagem nítida de uma paisagem distante quando se usa a lente a 8 cm do filme. Determine o ajustamento necessário para obter uma boa fotografia de um mapa colocado a 72 cm da lente.

**337 Rpta.** A lente deve ser afastada do filme de uma distância de 1 cm.

**Problema 338** Para uma dada iluminação e determinado tipo de filme, a exposição correcta para uma máquina fotográfica ajustada em  $f/12$  é  $1/5$  s. Determine o tempo de exposição para um ajuste de  $f/4$ .

**338 Rpta.**  $1/45$  s.

**Problema 339** Um relojoeiro com visão normal usa uma lente convergente de distância focal 8 cm que segura muito perto dos olhos. Determine a distância a que a lente deve estar colocada e a respectiva amplificação da imagem.

**339 Rpta.** 6,1 cm; amplificação: 4,1.

**Problema 340** Duas lentes positivas, com distâncias focais de +2 cm e + 5cm, estão separadas de 14 cm. Determine a posição e amplificação de um objecto que é posicionado a 3 cm da primeira lente.

**340 Rpta.** 13,3 cm; amplificação: 3,3.

**Problema 341** Num microscópio a objectiva e o ocular têm distâncias focais de +0,8 cm e +2,5 cm, respectivamente. A imagem real formada pela objectiva fica a 16 cm desta. Determine a amplificação do sistema quando o olho, posicionado perto da ocular, vê uma imagem virtual à distância de 25 cm.

**341 Rpta.** 19. cm.

**Problema 342** Um microscópio possui duas objectivas de 3 mm e 7 mm e duas oculares de 3 cm e 5 cm. Determine as amplificações que podem ser conseguidas com o microscópio quando a distância entre a ocular e a objectiva é de 17 cm.

**342 Rpta.** 528, 226, 283, 121.

**Problema 343** Determine a amplificação de um telescópio, que tem uma lente objectiva uma lente ocular com distâncias focais de +60 cm e +3 cm, respectivamente, quando está focado para raios paralelos.

**343 Rpta.** 20.

**Problema 344** Determine a amplificação de um telescópio de reflexão que tem um espelho de raio  $R = 250\text{ cm}$  e uma ocular com uma distância focal  $f = 5\text{ cm}$ .

**344 Rpta.** 25.

## 11 Tabelas

### 11.1 O sistema SI de unidades

#### Grandezas e Unidades de Base

Quantidade	Unidade	Símbolo
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Temperatura	kelvin	K
Corrente eléctrica	ampere	A
Intensidade luminosa	candela	cd
Quantidade de matéria	mol	mol

#### Grandezas e Unidades Suplementares

Quantidade	Unidade	Símbolo
Ângulo plano	radiano	rad
Ângulo sólido	esteradiano	sr

#### Grandezas e Unidades Derivadas com Nome Próprio

Quantidade	Unidade	Símbolo	Derivação
Frequência	hertz	Hz	1/s
Força	newton	N	kg·m/s <sup>2</sup>
Pressão	pascal	Pa	N·m <sup>2</sup>
Energia	joule	J	N·m
Potência	watt	W	J/s
Carga	coulomb	C	A·s
Potencial eléctrico	volt	V	W/A
Capacidade eléctrica	farad	F	C/V
Resistência	ohm	Ω	V/A
Condutância eléctrica	siemens	S	A/V
Fluxo magnético	weber	Wb	V·s
Densidade do fluxo magnético	tesla	T	Wb/m <sup>2</sup>
Indutância	henry	H	Wb/A

### 11.2 Prefixos

yotta	Y	10 <sup>24</sup>	giga	G	10 <sup>9</sup>	deci	d	10 <sup>-1</sup>	pico	p	10 <sup>-12</sup>
zetta	Z	10 <sup>21</sup>	mega	M	10 <sup>6</sup>	centi	c	10 <sup>-2</sup>	femto	f	10 <sup>-15</sup>
exa	E	10 <sup>18</sup>	quilo	k	10 <sup>3</sup>	milli	m	10 <sup>-3</sup>	ato	a	10 <sup>-18</sup>
peta	P	10 <sup>15</sup>	hecto	h	10 <sup>2</sup>	micro	μ	10 <sup>-6</sup>	zepto	z	10 <sup>-21</sup>
tera	T	10 <sup>12</sup>	deca	da	10	nano	n	10 <sup>-9</sup>	yocto	y	10 <sup>-24</sup>

### 11.3 Constantes Fundamentais Físicas

Quantidade	Símbolo	Valor	Unidade
Aceleração da gravidade	$g$	9,80665	m/s <sup>2</sup>
Const. gravítica	$G, \gamma$	$6,67259 \times 10^{-11}$	m <sup>3</sup> /(kg·s <sup>2</sup> )
Velocidade da luz no vácuo	$c$	$2,99792458 \times 10^8$	m/s
Carga elementar	$e$	$1,6021892 \times 10^{-19}$	C
Constante de Coulomb	$K$	$9 \times 10^9$	Nm <sup>2</sup> /C <sup>2</sup>
Permitividade eléctrica do vácuo	$\epsilon_0$	$8,85418782 \times 10^{-12}$	F/m
Permeabilidade magnética do vácuo	$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7} =$ $= 12,5663706144 \times 10^{-7}$	H/m
$(4\pi\epsilon_0)^{-1}$		$8,9876 \times 10^9$	Nm <sup>2</sup> /C <sup>2</sup>
Const. universal dos gases	$R$	8,314472	J/mol
Const. de Avogadro	$N_A$	$6,02214199 \times 10^{23}$	1/mol
Const. de Boltzmann	$k = R/N_A$	$1,3806503 \times 10^{-23}$	J/K
Volume de um gás em condições normais	$V_m$	$22,41383 \times 10^{-3}$	m <sup>3</sup> /mol
Raio do electrão	$r_e$	$2,817938 \times 10^{-15}$	m
Massa do electrão	$m_e$	$9,109534 \times 10^{-31}$	kg
Massa do protão	$m_p$	$1,6726485 \times 10^{-27}$	kg
Massa do neutrão	$m_n$	$1,674954 \times 10^{-27}$	kg
Unid. elementar de massa (ou unid. de massa atómica, u.m.a.)	$m_u = \frac{1}{12}m(^{12}_6\text{C})$	$1,6605656 \times 10^{-27}$	kg

Diâmetro do Sol	$D_\odot$	$1392 \times 10^6$	m
Massa do Sol	$M_\odot$	$1,989 \times 10^{30}$	kg
Período rot. do Sol	$T_\odot$	25,38	dias
Distância Sol-Terra		$1,50 \times 10^{11}$	m
Raio da Terra	$R_T$	$6,378 \times 10^6$	m
Massa da Terra	$M_T$	$5,976 \times 10^{24}$	kg
Período rot. da Terra	$T_T$	23,96	horas
Período orb. da Terra	Ano tropical	365,24219879	dias
		31556926	s

### 11.4 Escalas de temperaturas

K	=	°C	+	273,15,
°C	=	K	-	273,15,
°C	=	5/9(°F	-	32),
°F	=	9/5 °C	+	32.

## 11.5 Factores de Conversão de Unidades para SI

Unidades angulares		
57,29577951308232°	=	1 rad
1°	=	0,01745329251 rad
1'	=	$2,90888208666 \times 10^{-4}$ rad
1''	=	$4,8481368111 \times 10^{-6}$ rad
1 grado (ou gradiano) (ângulo recto/100)	=	0,01570796326795 rad
Unidades de comprimento		
1 amstrong	=	$1 \times 10^{-10}$ m
1 polegada	=	0,0254 m
1 pé	=	0,3048 m
1 pé (USA)	=	1200/3937 m
1 jarda	=	0,9144 m
1 jarda (USA)	=	3600/3937 m
1 milha náutica	=	1852 m
1 milha terrestre	=	1609,344 m
1 milha terrestre (USA)	=	6336000/3937 m
Unidades de área		
1 acre	=	4046,8564224 m <sup>2</sup>
1 are	=	$1 \times 10^2$ m <sup>2</sup>
1 hectare	=	$1 \times 10^4$ m <sup>2</sup>
Unidades de volume		
1 litro	=	$1 \times 10^{-3}$ m <sup>3</sup>
1 barril de petróleo	=	0,15898729492 m <sup>3</sup>
1 galão (USA)	=	$3,785411784 \times 10^{-3}$ m <sup>3</sup>
1 galão (UK)	=	$4,54609929488 \times 10^{-3}$ m <sup>3</sup>

Unidades de massa		
1 libra	=	0,45359237 kg
1 onça	=	0,02834952312 kg
1 slug	=	14,5939029372 kg
Unidades de velocidade		
1 nó	=	1852/3600 m/s
1 milha por hora	=	0,44704 m/s
Unidades de pressão		
1 atm	=	101325 Pa
1 atmosfera técnica	=	98066,5 Pa
1 metro de água	=	9806,65 Pa
1 milímetro de mercúrio	=	101325/760 Pa
1 torr	=	101325/760 Pa
1 pé de água	=	2989,06692 Pa
1 polegada de água	=	249,08891 Pa
1 polegada de mercúrio	=	3386,38815789 Pa
1 libra por polegada quadrada	=	6894,75729317 Pa
Unidades de força		
1 dine	=	$1 \times 10^{-5}$ N
1 quilograma-força	=	9,80665 N
1 libra-força	=	4,44822161526 N
Unidades de potência		
1 cavalo-força métrico	=	735,49875 W
1 BTU por hora	=	0,29307107017 W
Unidades de energia		
1 cal	=	4,186 J
1 eV	=	$1,602 \times 10^{-19}$ J
1 pé libra-força	=	1,35581794833 J
1 cavalo-força	=	745,699871582 J
1 BTU (British thermal unit)	=	1055,05585262 J

## 11.6 Densidade de algumas substâncias

<i>Substancia</i>	$\rho$	
	kg/m <sup>3</sup>	kg/dm <sup>3</sup> ou g/cm <sup>3</sup>
Água*	$1 \times 10^3$	1
Água de mar*	$1,025 \times 10^3$	1,02
Gelo	$9,2 \times 10^2$	0,92
Alumínio	$2,71 \times 10^3$	2,71
Ar	1,29	$1,29 \times 10^{-3}$
Bronze	$8,8 \times 10^3$	8,8
Cobre	$8,92 \times 10^3$	8,92
Glicerina*	$1,26 \times 10^3$	1,26
Ferro	$7,8 \times 10^3$	7,8
Latão	$8,4 \times 10^3$	8,4
Mercúrio*	$1,36 \times 10^4$	13,6
Óleo	$9,2 \times 10^2$	0,92
Ouro	$1,93 \times 10^4$	19,3
Prata	$1,05 \times 10^4$	10,5
Zinco	$7,14 \times 10^3$	7,14

\*A 20° C/293 K.

## 11.7 Calor específico

<i>Substância</i>	$c$	
	J/(kg·°C)	cal/(g·°C)
Água	4186	1
Gelo	2090	0,5
Vapor de água	2010	0,4802
Alumínio	880	0,210
Ar	1000	0,24
Árgon	314	0,075
Chumbo	129	0,031
Cobre	385	0,091
Estanho	250	0,06
Ferro	461	0,11
Mercúrio	125	0,03
Vidro	840	0,2

## 11.8 Calor latente

Calor latente de fusão  $\lambda_f$ :

<i>Substância</i>	$\lambda_f$	
	J/kg	cal/g
Água	$333 \times 10^3$	80

Calor latente de evaporação  $\lambda_e$ :

<i>Substância</i>	$\lambda_e$	
	J/kg	cal/g
Água	$2260 \times 10^3$	539