GETEF - GRUPO DE ESTUDOS EM TECNOLOGIA DE ENSINO DE FÍSICA

FÍSICA AUTO-INSTRUTIVO FAI 4

- MOVIMENTO ANGULAR E ROTAÇÃO
- LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL
- EQUILÍBRIO ESTÁTICO DE LÍQUIDOS E TERMOLOGIA

edição SARAIVA

FÍSICA FAI
AUTO-INSTRUTIVO

Supervisão Editorial: José Lino Fruet

FICHA CATALOGRÁFICA

(Preparada pelo Centro de Catalogação-na-Fonte,
Câmara Brasileira do Livro, SP)

G941f
4.
2. ed.

Grupo de Estudos em Tecnologia de Ensino de Física.
FAI 4, física auto-instrutivo: movimento angular e rotação, lei da gravitação universal, equilíbrio estático de líquidos e terminologia; texto programado para 2º grau. 2. ed. São Paulo, Saraiva, 1977.

1. Física (2º grau) — Instrução programada I. Título: FAI 4. II. Título: Física auto-instrutivo.

77-0188 CDD-530.77

Índice para catálogo sistemático:
1. Instrução programada: Física 530.77

2ª edição

SARAIVA S.A. — Livreiros Editores

São Paulo — SP
Av. do Emissário, 1897
Tels.: 66-1135 e 67-5742 — PABX.: 66-2106 e 66-2126
Belo Horizonte — MG
R. Célia de Souza, 571 — Bairro Sagrada Família
Rio de Janeiro — RJ
Av. Marechal Rondon, 2231
Tel.: 201-7149

GETEF

FÍSICA FAI 4
AUTO-INSTRUTIVO

- MOVIMENTO ANGULAR E ROTAÇÃO
- LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL
- EQUILÍBRIO ESTÁTICO DE LÍQUIDOS E TERMOLOGIA

TEXTO PROGRAMADO PARA 2º GRAU

---

edição SARAIVA

1977

GETEF – GRUPO DE ESTUDOS EM TECNOLOGIA DE ENSINO DE FÍSICA

PROJETO FAI

Coordenadores

Fuad Daher Saad – Paulo Yamamura – Kazuo Watanabe

Autores

Fuad Daher Saad
Instituto de Física – USP
Prof. efetivo de Física
do Col. Est. "Anísio
Teixeira"

Paulo Yamamura
Instituto de Física – USP
Prof. efetivo de Física
do Col. Est. "Idalina
Macedo da Costa Sodré"

Kazuo Watanabe
Instituto de Física – USP
Faculdade de Tecnologia de SP –
Centro Est. de Educação
Tecnológica "Paula Souza"

Norberto Cardoso Ferreira
Instituto de Física – USP
Prof. efetivo de Física do
Col. Est. "Assis Chateaubriand"

Ms. Yashiro Yamamoto
Instituto de Física – USP

Dr. Sadao Isotani
Instituto de Física – USP

Yamato Miyao
Instituto de Física – USP

Marcelo Tassara
Faculdade de Comunicações e
Artes – USP

Ms. João André Guillaumon Filho
Instituto de Física – USP

Elias Horani
Instituto de Física – USP
Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Oziel Henrique Silva
Instituto de Ciências Exatas e
Tecnológicas – UEM (Maringá-PR)

Dononzor Sella
Instituto de Física – USP
Colégio "Santa Cruz"

Dr. Shozo Motoyama
Instituto de História – USP
Prof. efetivo de Física do
Col. Est. "Antonio Raposo Tavares"

Wanderley de Lima
Instituto de Física – USP

Dra. Maria Amélia Mascarenhas Dantas
Instituto de História – USP

Eda Tassara
Instituto de Psicologia – USP

Dr. Iuda Dawid Goldman Lejbman
Instituto de Física – USP

Noriko Kanamura
Instituto de Física – USP

José André Perez Angotti
Instituto de Ciências Exatas e
Tecnológicas – UEM (Maringá – PR)

Alberto Gaspar
Instituto Educação Padre
Anchieta – Prof. efetivo
Instituto de Física da USP

Aiko Tanonaka Ogassawara
Prof. Efetivo – I. E. E. Dr. Otávio Mendes
Instituto de Física – USP

AO ESTUDANTE

O trabalho que ora lhe apresentamos tem por objetivo dar a você condição de aprender uma parte substancial da Física Fundamental. São tratados assuntos que vão desde as primeiras leis elementares de movimento, passando pela análise dos conceitos de energia, movimentos complexos, etc., até noções básicas da Física Moderna. Quanto à importância prática da Física Fundamental, é desnecessário ressaltar. Entretanto, para sua compreensão e para seu uso eficaz, exigem-se conhecimentos razoavelmente detalhados.

Tendo em vista tal fato, este volume é constituído de textos programados, cujo conteúdo foi cuidadosamente analisado e apresentado em pequenos passos (itens). Em cada passo é fornecida uma certa informação e, logo em seguida, uma ou mais questões são apresentadas. Você deverá ler atentamente e escrever a resposta à questão formulada em espaço próprio ou desenvolver à parte. Tendo respondido, deverá verificar se sua resposta corresponde a um acerto, comparando-a com aquela correta apresentada logo a seguir.

Suas respostas servem de informação aos passos seguintes. Por isso, e por outros motivos, escrever a resposta é essencial. É essencial, também, que você escreva sua resposta *antes* de olhar a correta. Uma olhadela à resposta correta, ainda que bem intencionada, só poderá dificultar sua tarefa no futuro. Uma boa norma é fazer resumos de assuntos estudados, ressaltando pontos importantes.

As aparentes repetições que você poderá notar no texto foram incluídas porque há razão para tal. Não pule itens. Siga com o trabalho continuamente.

Se começar a notar que suas respostas não estão sendo correspondidas, é possível que você não tenha estudado o texto atentamente. Nesse caso, reestude o texto, antes de passar adiante. Se persistir a dificuldade, talvez você não esteja utilizando o texto adequadamente. Para sanar eventuais falhas peça auxílio a seu professor.

Este trabalho é um *desafio*: *você* é o responsável pelo seu aprendizado. Livre de esquemas tradicionalmente conhecidos, você irá trabalhar para criar dentro de si a satisfação de uma auto-realização, de ter enriquecido seu repertório e de sentir o sabor de um êxito constante cada vez maior.

Os autores

ÍNDICE

X — EQUILÍBRIO ESTÁTICO DE LÍQUIDOS E TERMOLOGIA (TEMPERATURA E CALOR)

CAPÍTULO VIII

Movimento angular e rotação

Nos capítulos anteriores (FAI-1, 2 e 3) estudamos o movimento retilíneo de um corpo quanto aos seus aspectos cinemático e dinâmico. Quanto aos aspectos cinemáticos, calculamos a velocidade, o deslocamento, a aceleração e estabelecemos as diversas equações desse movimento. Quanto aos aspectos dinâmicos, estudamos o movimento sob o ponto de vista de força, massa e aceleração, quantidade de movimento linear e de energia.

Neste capítulo, estudaremos uma parte não menos importante da Física, que é o movimento de rotação de um corpo ao redor de um eixo fixo e o movimento angular ou circular de um corpo ao redor de um centro. Se lembrarmos que a Terra gira ao redor de seu próprio eixo, veremos que praticamente todos os corpos apresentam um movimento angular ou circular ao redor do eixo de nosso planeta. Por outro lado, os planetas giram em órbitas praticamente circulares ao redor do Sol e o mesmo acontece com a Lua ao redor da Terra. Na vida prática observamos rodas girando e engrenagens de máquinas que transmitem o movimento por meio de rotações.

Este capítulo foi dividido em 2 partes. Na 1ª PARTE veremos a descrição cinemática e na 2ª PARTE, alguns aspectos dinâmicos do movimento angular de um corpo.

1ª PARTE - Descrição cinemática do movimento angular

Nesta parte iremos estudar o movimento angular ou circular de um corpo, quanto ao seu aspecto cinemático. Não nos preocuparemos com o tamanho nem com a massa do corpo. Portanto, tanto a Lua como um carro que se movimente sobre uma pista circular serão considerados como ponto material em movimento circular ou angular. Todos os corpos que descrevem trajetórias circulares, completas ou incompletas, serão considerados como apresentando movimento angular.

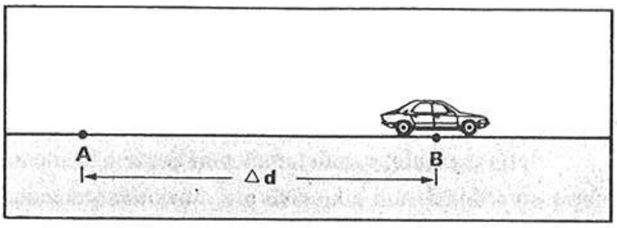
Analisaremos o movimento angular quanto ao deslocamento angular, velocidade angular e aceleração angular; estabeleceremos as equações desse movimento da mesma forma que estabelecemos as equações do movimento retilíneo. Para maior facilidade, esta parte foi subdividida em 4 seções. Você deverá estudar cada seção, responder as perguntas formuladas e resolver os problemas propostos.

Após vencer com sucesso esta 1ª PARTE você deverá ser capaz de:

a. identificar as grandezas angulares.
b. definir unidade de medida de deslocamento angular – radiano.
c. relacionar radiano com grau.
d. definir velocidade angular.
e. definir aceleração angular.
f. caracterizar movimento angular variado.
g. relacionar velocidade angular com velocidade linear.
h. caracterizar movimento angular uniforme.
i. resolver problemas propostos.

SEÇÃO 1 – DESLOCAMENTO ANGULAR
- RADIANOS
- ARCO DESCRITO

Iniciando o estudo do movimento angular, definiremos nesta seção o deslocamento angular e a sua medida. Será introduzido uma nova maneira de se medir ângulo e consequentemente, deslocamento angular. Essa nova medida é o **radiano**. Por definição, 1 radiano (rad) é o ângulo compreendido entre dois raios cujo arco seja de igual comprimento do raio. O radiano está então relacionado com o arco e o raio e desta forma você verá como, dado um ângulo expresso em radiano, determinar o arco correspondente.



1 ■ Na figura ao lado o carro parte de A e está passando por B. O seu deslocamento é__________. O deslocamento Δd (deu-se; não se deu) ao longo de uma reta.

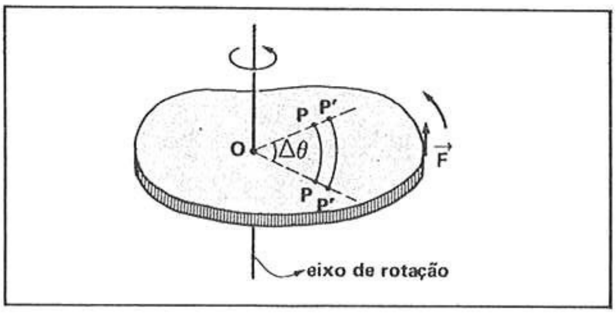
****

Δd; se deu

2 ■ O deslocamento ao longo de uma reta chama-se **deslocamento linear.** O termo **linear** refere-se a (retas; curvas).

****

retas



3 ■ O corpo representado na figura pode girar ao redor de um eixo que passa por O. Sob ação de força $\vec{F}$ o corpo gira, de modo que o ponto P descreve um arco de circunferência. Um outro ponto P' descreverá um arco de circunferência maior porque ele está (mais próximo; mais distante) do eixo de rotação.

****

mais distante

4 ■ Durante a rotação do corpo, todos os pontos, com exceção daqueles que pertencem ao eixo, descreverão arcos de circunferências. Tais arcos serão tanto maiores quanto (mais próximo; mais distante) o ponto estiver do eixo de rotação. Todos os pontos que giram juntamente com o corpo (descreverão; não descreverão) um mesmo ângulo.

****

mais distante; descreverão

5 ■ Na figura do item 3 (só o ponto P; só o ponto P'; P, P' e todos os outros pontos do corpo) descreverá (ão) um ângulo $\Delta\theta$. A medida deste ângulo fornece o deslocamento angular realizado pelo corpo.

****

P, P' e todos os outros pontos do corpo (exceto os do eixo)

6 ■ O deslocamento linear mede o quanto o corpo se desloca em linha reta. O deslocamento angular medirá o quanto o corpo gira em relação ao eixo de rotação. Para medirmos o deslocamento angular devemos medir (ângulos; segmentos de circunferências; segmentos de reta).

****

ângulos

7 ■ Uma vez que o ângulo $\Delta\theta$ é o mesmo para todos os pontos do corpo, o deslocamento angular (deve; não deve) ser obtido pela medida do ângulo $\Delta\theta$.

****

deve

8 ■ Um corpo gira ao redor de um eixo fixo. O raio de giração varre, assim, um deslocamento angular. Este é medido pelo_________________descrito por esse raio.

****

ângulo

9 ■ Quando o corpo dá um giro completo ao redor do eixo, o ângulo $\Delta\theta$ descrito vale___________. Portanto, um deslocamento de 360° representa uma______________completa.

****

360°; volta

10 ■ Se o deslocamento angular de um corpo ao redor de seu eixo foi de 540°, então o corpo deu_________voltas.

****

1,5 (faça regra de três direta)

11 ■ Uma roda que dá 10 voltas completas fará um deslocamento angular $\Delta\theta$ =____________.

****

$3\,600^\circ$

12 ■ O deslocamento angular $\Delta\theta$ pode ser medido em graus. Entretanto, é preferível medí-lo em **radianos**. A relação entre **radiano** e o **grau** é que $360^\circ = 2\pi$ radianos. Como $\pi = 3{,}14$, então 360° =_________.

****

6,28 radianos

13 ■ $\Delta\theta = 180^\circ$. Em radianos, $\Delta\theta$ =__________.

****

π ou 3,14 radianos

14 ■ Para transformarmos um ângulo dado em graus para radianos, devemos efetuar uma regra de três (direta; inversa).

****

direta

15 ■ Transforme 30° em radianos.

****

$$\begin{aligned} 360^\circ &= 2\pi \text{ rad} \\ 30^\circ &= \Delta\theta \text{ rad} \end{aligned} \quad \therefore \; \Delta\theta = \frac{\pi}{6} \text{ rad}$$

16 ■ Um deslocamento angular de 720° corresponderá a__________radianos.

****

4π

17 ■ Uma roda de bicicleta dá 10 voltas completas. O deslocamento angular $\Delta\theta$ = ______ (graus) ou $\Delta\theta$ = ______ rad.

****

$3600°$; 20π

18 ■ Se o deslocamento angular de um corpo ao redor de um eixo é $\Delta\theta = 10\pi$ rad, o número de voltas completas é ________.

****

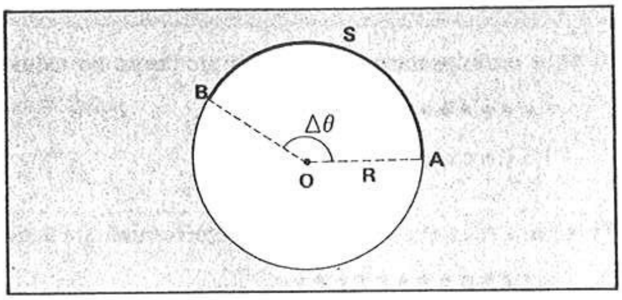
5

19 ■ Uma roda realiza um deslocamento angular de 10 rad. A fração de voltas realizadas é de ________.

****

$$\left.\begin{array}{ll} 1 \text{ volta} & = 2\pi \text{ rad} \\ x & = 10 \text{ rad} \end{array}\right\} \quad x = \frac{5}{\pi} \cong 1{,}6 \text{ voltas}$$

20 ■ O ângulo descrito, em graus, para um deslocamento de 1 rad é $\Delta\theta$ = ________.



****

$\cong 57{,}3°$

21 ■ Seja um círculo de raio R e centro O. Veja a figura ao lado. Ao arco AB de comprimento S corresponde ao ângulo ________.

****

$\Delta\theta$

22 ■ Se dividirmos o comprimento do arco S pelo raio R teremos como resultado o ângulo $\Delta\theta$, expresso em radianos. Portanto, $\Delta\theta$ (rad) = ________ (em função de S e R).

****

$\frac{S}{R}$

23 ■ $\Delta\theta = \frac{S}{R}$. Esta expressão define o ângulo $\Delta\theta$ em (graus; radianos). O termo S corresponde ao ________________ e R________. S e R devem ser expressos na mesma unidade de medida.

****

radianos; comprimento de arco; ao raio da circunferência

24 ■ $\Delta\theta = \frac{S}{R}$. Portanto, S = ________ (em função de $\Delta\theta$ e R).

****

$\Delta\theta \cdot R$

25 ■ Se quisermos determinar o comprimento S de um arco de raio R correspondente a um ângulo $\Delta\theta$, medido em radianos, devemos ________________________.

****

multiplicar o ângulo $\Delta\theta$ pelo raio R ($S = \Delta\theta \cdot R$)

26 ■ Seja um círculo de raio R = 4,0 cm. O comprimento do arco de círculo correspondente ao ângulo de 90° será S = ________.

****

$90° = \frac{\pi}{2}$ rad, logo $S = \Delta\theta \cdot R = \frac{\pi}{2} \times 4{,}0 \text{ cm} = 2\pi \text{ cm} = 6{,}28 \text{ cm}$

27 ■ Qual o perímetro de uma circunferência de raio R = 5,0 cm?

* * * * * * * * * * * *

$S = \Delta\theta \cdot R = 2\pi \times 5{,}0$ cm $= 10\pi$ cm $= 31{,}4$ cm (para a circunferência, o ângulo subentendido é de 360° ou 2π rad)

28 ■ Uma roda de raio 30 cm gira 180°. O comprimento do arco descrito é S = ______________.

* * * * * * * * * * * *

$S = \pi \times 30$ cm $= 30\pi$ cm $= 94{,}2$ cm $= 9{,}42 \times 10^{-1}$ m

29 ■ Uma roda dá 3 voltas. O deslocamento angular correspondente é (3π; 6π) rad. Se o seu raio é R = 50 cm, o comprimento de arco descrito será: S = ______________.

* * * * * * * * * * * *

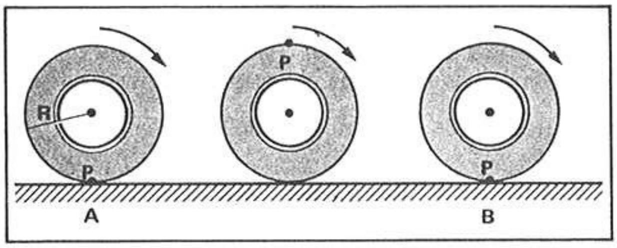
6π rad; $6\pi \times 50$ cm $= 9{,}42$ m

30 ■ A Lua realiza uma volta completa ao redor da Terra em aproximadamente 1 mês. Se o raio da órbita é $3{,}8 \times 10^5$ km, qual é o comprimento do arco descrito pela Lua em 15 dias?

* * * * * * * * * * * *

$S = \pi \times 3{,}8 \times 10^5$ km $= 11{,}9 \times 10^5$ km $\cong 1{,}2 \times 10^9$ m

31 ■ Seja a roda de raio R, da figura ao lado, que gira sobre um plano. O ponto P, marcado na periferia, parte do ponto A e toca novamente o plano no ponto B, após uma volta completa. Enquanto a roda vai de A até B, o deslocamento angular do ponto P é $\Delta\theta$ = __________ rad.



* * * * * * * * * * * *

2π (1 volta completa)

32 ■ Portanto, o comprimento do arco descrito é S = ____________. O comprimento $S = \Delta\theta \cdot R$ (é; não é) igual a distância AB.

* * * * * * * * * * * *

$\Delta\theta \cdot R$; é

33 ■ A roda de um carro tem raio R = 40 cm. Se a roda der 100 voltas completas o carro deverá ter percorrido uma distância igual a: ______________.

* * * * * * * * * * * *

$S = \Delta\theta \cdot R = 200\pi \times 40$ cm $= 25\,120$ cm $\cong 2{,}5 \times 10^2$ m

34 ■ Um carro possui rodas de diâmetro 60 cm e mantém velocidade constante de 72 km/h durante 20 segundos. Quantas rotações completas deu cada roda?
72 km/h = __________ m/s. $\Delta d = v \cdot \Delta t$ = __________ m
Logo, S = __________ e portanto $\Delta\theta$ = ____________________________.

* * * * * * * * * * * *

20; 400; 400 m; $\dfrac{S}{R} = \dfrac{400 \text{ m}}{0{,}30 \text{ m}} = 1\,333$ rad
portanto, cada roda, descrevendo um ângulo de 1 333 rad, deve ter dado cerca de 425 voltas.

35 ■ A roda de um carro dá 2 voltas completas em 1 segundo e possui raio R = 25 cm. Em um segundo qual é o deslocamento linear do carro?

****

$S = \Delta\theta \cdot R = 4\pi \times 25 \text{ cm} = 314 \text{ cm} = 3{,}14 \text{ m}$

36 ■ Qual é a velocidade linear média do carro citado na questão 35?

****

$$v_m = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{3{,}14 \text{ m}}{1 \text{ s}} \cong 3 \text{ m/s}$$

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

1 ■ Faça a distinção entre deslocamento angular e linear.

2 ■ Como é medido o deslocamento linear?

3 ■ Como é medido o deslocamento angular?

4 ■ Um corpo que gira ao redor de um eixo apresenta deslocamento angular?

5 ■ Todos os pontos de um corpo em rotação descrevem o mesmo arco de circunferência? Explique.

6 ■ Radiano é medida de ângulo?

7 ■ Qual é a relação entre um ângulo medido em graus e em radianos?

8 ■ Qual é o valor de π?

9 ■ Se uma roda dá um giro completo qual é o respectivo deslocamento angular?

10 ■ Como se converte um ângulo dado em graus para radianos?

11 ■ Qual é a expressão que define um ângulo em radiano em função do comprimento do arco e do raio da circunferência?

12 ■ $S = \Delta\theta \cdot R$. A que corresponde esta expressão?

13 ■ Se você dividir o comprimento de um arco S pelo raio R o que resulta?
O que se pode dizer com relação às unidades de medida de S e R?

14 ■ Como se calcula o deslocamento linear de um carro em função do número de voltas dadas por suas rodas?

15 ■ Um carro possui roda de raio R e velocidade constante v. Em um intervalo de tempo Δt quantas rotações a roda efetua?

Após isso, você deve estar apto para:

a. distinguir deslocamento angular de linear.
b. determinar deslocamento angular em radianos.
c. transformar graus em radianos e vice-versa.
d. calcular comprimento de arco S em função do raio e do ângulo.
e. determinar o número de voltas de uma roda, conhecido o comprimento de arco descrito e o raio.
f. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Converter para radianos os seguintes ângulos:

a) $180°$ d) $45°$ g) $9°$ j) $720°$
b) $90°$ e) $15°$ h) $6°$ k) $4\,800°$
c) $60°$ f) $18°$ i) $1°$ l) 18×10^8 graus

2 ■ Converter para graus os seguintes ângulos, expressos em radianos:

a) 2π d) $\frac{2}{3}\pi$ g) 2 j) 2,5
b) 5π e) $\frac{4}{3}\pi$ h) 6,28 k) 10
c) 6π f) $\frac{3}{2}\pi$ i) 18,84 l) 1

3 ■ Uma roda de bicicleta dá 5 voltas completas. Qual é o deslocamento angular de um ponto desta roda? Resposta em radianos.

4 ■ O deslocamento angular de um ponto pertencente a um corpo é $\Delta\theta = 20\pi$ rad. Quantas voltas completas o corpo realizou?

5 ■ Se o deslocamento angular de um corpo é $\Delta\theta = 37{,}68$ rad, quantas voltas completas o corpo realizou em torno de seu eixo?

6 ■ Qual é o deslocamento angular da Lua no período de 2,0 meses?

7 ■ Qual é o deslocamento angular de um ponto na superfície da Terra no período de 1 dia?

8 ■ A roda de um carro possui raio 20 cm. Se ela der 200 voltas, qual o deslocamento angular da roda e qual o deslocamento linear do carro?

9 ■ Um carro possui rodas de raio R = 15 cm e se desloca 300 m.
a) Qual o deslocamento angular da roda?
b) Quantas voltas deu cada roda?

10 ■ Um carro cujas rodas possuem raio R = 40 cm mantém uma velocidade constante de 36 km/h. Em 20 segundos:
a) qual o deslocamento linear do carro?
b) qual o comprimento do arco descrito por um ponto situado na periferia da roda?
c) qual o deslocamento angular da roda?
d) quantas voltas deu cada roda?

11 ■ A roda de um carro possui raio R = 25 cm e gira à razão de 20 voltas por segundo. Em 10 segundos qual o deslocamento linear do carro?

RESPOSTAS

1 ■ a) π rad g) $\frac{\pi}{20}$ rad
b) $\frac{\pi}{2}$ rad h) $\frac{\pi}{30}$ rad
c) $\frac{\pi}{3}$ rad i) $\frac{\pi}{180}$ rad
d) $\frac{\pi}{4}$ rad j) 4π rad
e) $\frac{\pi}{12}$ rad k) $\cong 26{,}7\pi$ rad
f) $\frac{\pi}{10}$ rad l) $10^7 \cdot \pi$ rad

2 ■ a) $360°$ g) $\cong 115°$
b) $900°$ h) $360°$
c) $1\,080°$ i) $1\,080°$
d) $120°$ j) $\cong 143°$
e) $240°$ k) $\cong 573°$
f) $270°$ l) $\cong 57{,}3°$

3 ■ $\Delta\theta = 10\pi$ rad

4 ■ 10 voltas

5 ■ 6 voltas

6 ■ $\Delta\theta = 4\pi$ rad (Em aproximadamente 1 mês a Lua dá 1 volta completa em torno da Terra)

7 ■ $\Delta\theta = 2\pi$ rad (Em 1 dia a Terra dá 1 volta completa em torno de seu eixo)

8 ■ $\Delta\theta = 400\pi$ rad e $\Delta d = S = \Delta\theta \cdot R \cong 2{,}5 \times 10^2$ m

9 ■ a) $\Delta\theta = \frac{S}{R} = \frac{300 \text{ m}}{0{,}15 \text{ m}} = 2 \times 10^3$ rad

b) aprox. 318 voltas

10 ■ a) $\Delta d = v \cdot \Delta t = 200$ m

b) $S = \Delta d = 200$ m

c) $\Delta\theta = \frac{S}{R} = \frac{200 \text{ m}}{0{,}40 \text{ m}} = 500$ rad

d) aprox. 80 voltas.

11 ■ d = 314 metros.

SEÇÃO 2 – VELOCIDADE E ACELERAÇÃO ANGULAR NO MOVIMENTO CIRCULAR COM ACELERAÇÃO ANGULAR CONSTANTE

Na seção 1 vimos como determinar o deslocamento angular $\Delta\theta$. Nesta seção veremos a definição de um novo tipo de velocidade e aceleração: a velocidade angular e a aceleração angular. Se uma roda está girando ela estará efetuando deslocamento angular à medida que o tempo passa e assim podemos definir a velocidade angular, isto é, a rapidez com que o deslocamento angular é realizado. Da mesma forma, podemos determinar a aceleração angular: a rapidez com que a velocidade angular se altera.

Da mesma forma que definimos as equações do movimento retilíneo uniformemente variado, definiremos nesta seção, as equações do movimento circular variado com aceleração constante, através das quais poderemos calcular o deslocamento angular, a velocidade angular e a aceleração angular.

Para maior facilidade de estudo, esta seção foi subdividida em 3 partes. Nas partes A e B definiremos a velocidade e aceleração angular. Na parte C, estabeleceremos as equações do movimento circular ou angular com aceleração angular constante.

A – VELOCIDADE ANGULAR – SÍMBOLO: ω (ÔMEGA)

1 ■ Quando um objeto movimenta-se ao longo de uma trajetória retilínea o movimento é denominado (angular; linear). Se a trajetória é uma circunferência o movimento é dito (circular; linear). A Lua, em seu movimento ao redor da Terra, executa um movimento________________.

****

linear; circular; circular

2 ■ O deslocamento linear Δd é medido em (graus; metros); o deslocamento angular é medido em ____________.

****

metros; graus ou radianos

3 ■ No movimento linear a velocidade média foi definida como sendo igual à razão entre o deslocamento e o intervalo de tempo. Simbolicamente, v_m = __________. Analogamente à velocidade linear média, a velocidade angular média, que simbolizaremos com ω_m, é definida como sendo igual à razão entre ____________________ e ____________________.

Simbolicamente ω_m = ________________.

****

$\frac{\Delta d}{\Delta t}$; deslocamento angular; intervalo de tempo; $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$

4 ■ $\omega_m = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$. A unidade de velocidade angular é determinada pela fórmula que a define. Portanto, ela é expressa em unidade de ______________________ dividido pela unidade de _____________.

****

deslocamento angular; tempo

5 ■ Utilizaremos como unidade de medida de deslocamento angular o **radiano**. Portanto, a velocidade angular é definida em termos de __________________ ou rad/s.

****

radianos por segundo

6 ■ $\omega_m = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$. Desta expressão podemos determinar o deslocamento angular em função da velocidade angular média e do tempo. Portanto $\Delta\theta$ = ____________.

****

$\omega_m \cdot \Delta t$

7 ■ Se uma roda gira de 180° em um tempo cuja duração é 3,0 s, então a sua velocidade angular média será:
ω_m = ____________ graus/s e ω_m = ____________ rad/s.

****

60; $\frac{\pi}{3}$

8 ■ Uma roda gira e realiza um deslocamento angular de 720° em 2,0 s. A sua velocidade angular média será ω_m = ____________ graus/s ou ____________ rad/s.

****

360°; 2π

9 ■ Uma roda apresenta, num intervalo de tempo igual a 4,0 s, uma velocidade angular média $\omega_m = \pi$ rad/s. O seu deslocamento angular neste intervalo de tempo será $\Delta\theta$ = ____________.

****

$\Delta\theta = \omega_m \cdot \Delta t = (\pi \text{ rad/s})\, 4{,}0 \text{ (s)} = 4\pi$ rad

10 ■ No item anterior, podemos afirmar que no intervalo de tempo considerado a roda efetuou __________ voltas completas, pois cada volta completa equivale a um deslocamento angular de __________ radianos.

****

2; 2π

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

Um motor elétrico funciona normalmente a 2 400 rpm. Qual sua velocidade angular e quantas rotações o rotor realiza em 1,0 s?

1 ■ rpm é a abreviatura de rotações por minuto. Portanto, 2 400 rpm significa que em __________ minuto o número de voltas completas é de ____________.

****

1; 2 400

2 ■ Como 1,0 minuto = __________ s, então podemos dizer que em 60 s o número de revoluções deste motor é __________.

****

60; 2 400

3 ■ Portanto, em 1,0 s, o número de rotações será de __________.

****

40

4 ■ 40 voltas completas equivale a um deslocamento angular igual a $\Delta\theta$ = ______ radianos. Portanto, ω_m = ______.

****

80π; 80π rad/s

PROBLEMA 2

Um motor elétrico realiza 3 600 rpm. Qual é o deslocamento angular do rotor em 10 s?

1 ■ O deslocamento regular $\Delta\theta$ = ________ (em termos de ω_m e Δt).

****

$\omega_m \cdot \Delta t$

2 ■ Além do número de rotações efetuadas por minuto, o enunciado do problema nos fornece também o __________ __________. A velocidade angular deve ser determinada. Como o motor trabalha a __________ rpm, isto significa que em 1,0 s o número de rotações é __________. Portanto, o deslocamento angular correspondente é __________ radianos. Logo, a velocidade angular média é ω_m = __________.

****

o intervalo de tempo Δt; 3 600; 60; 120π rad; 120π rad/s

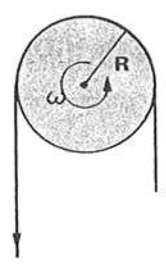
3 ■ Logo, em 10 s, o deslocamento angular $\Delta\theta$ = __________.

****

$1\,200\pi$ rad

PROBLEMA 3

Uma polia de raio 6,0 cm é movimentada por uma corda, conforme ilustra a figura ao lado. Se ela girar à razão de 240 rpm, em 10 s, quantos metros de corda serão puxados? Supor que a corda não se mova em falso sobre a polia.



1 ■ Como a polia ou roldana gira à razão de 240 rpm, em 1,0 s ela dará __________ rotações. Portanto, descreverá um deslocamento angular $\Delta\theta$ = __________.

****

4; 8π rad

2 ■ Portanto, a sua velocidade angular média é ω_m = ________________.

****

8π rad/s

3 ■ Logo, em um intervalo de tempo $\Delta t = 10$ s, ela efetuará um deslocamento angular $\Delta\theta$ = ______________.

****

80π rad

4 ■ Um ponto pertencente à periferia da polia descreverá um arco $S = \Delta\theta \cdot R$. Se calcularmos o valor do arco descrito por este ponto estaremos medindo o comprimento de corda que foi puxada, pois admitimos que a corda não se movia em falso sobre a polia. Então, S = ____________.

****

$S = 80\pi\,(\text{rad}) \cdot 6{,}0\ \text{cm} = 480\pi\ \text{rad} \cdot \text{cm} = 480\pi\ \text{cm}$ (o radiano é uma medida de ângulo e não possui unidade física, portanto rad · cm = cm)

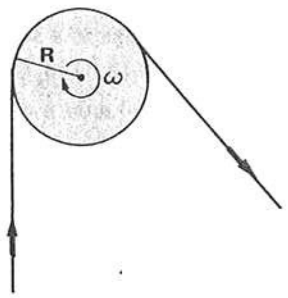
5 ■ Portanto, o comprimento de corda que foi puxada (é; não é) igual ao comprimento do arco descrito. Ele vale: ________________.

****

é; $4{,}8\pi$ m

PROBLEMA 4

No esquema ao lado tem-se uma polia de raio R = 10 cm. Uma corda que a envolve é puxada com velocidade constante no sentido indicado. Em 10,0 s a extremidade da corda se desloca 31,4 m. Calcule a velocidade angular média desta polia. Expressar a resposta em rad/s e também em rpm.



1 ■ Já vimos no problema anterior que se não houver deslizamento da corda sobre a polia, o comprimento da corda puxado corresponde ao comprimento do ____________________ por um ponto periférico da polia.

****

arco descrito

2 ■ Portanto, S = ______________ (literal). Logo, $\Delta\theta$ = ______________ (literal).

****

$\Delta\theta \cdot R$; $\frac{S}{R}$

3 ■ $\Delta\theta$ = __________ (valor) e Δt = ____________ (valor) e portanto, ω_m = ____________ (valor e unidade).

****

314 rad; 10 s; 31,4 rad/s = 10π rad/s

4 ■ Para se expressar o resultado em rpm, devemos primeiramente determinar quantas voltas completas cabem em 314 radianos, que é o ângulo descrito. Para tanto basta fazer uma proporção direta. Uma volta completa equivale a ___________ radianos, logo, 314 radianos equivalem a __________ voltas.

****

$2\pi = 6{,}28$ rad; 50 voltas

5 ■ Estas 50 voltas ou revoluções ou rotações são efetuadas em ______________ s. Portanto, podemos afirmar que a velocidade angular média em termos de rotações por segundo é: ______________.

★★★★★★★★★★★★

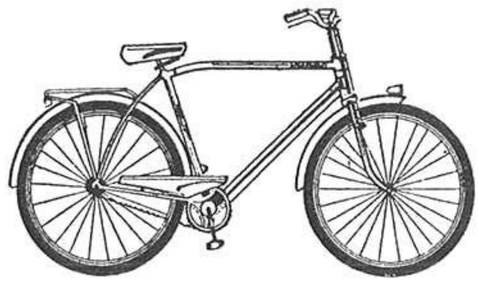
10; 5 rps

6 ■ Como 1,0 s = $\frac{1}{60}$ minuto, para transformar 5 rps em rpm, devemos substituir 1 s por ______________. Logo, a velocidade angular média (na realidade o termo melhor seria freqüência angular média), em rpm será: ________.

★★★★★★★★★★★★

$\frac{1}{60}$; 300 rpm

PROBLEMA 5

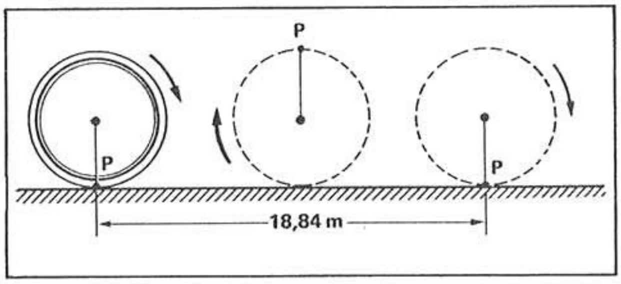


A roda de uma bicicleta possui raio igual a 30 cm. Ela percorre 18,84 m em 10 s. Determinar:

a) o arco descrito por um ponto pertencente à periferia da roda.

b) a velocidade angular média da roda.

1 ■ A figura ao lado ilustra a situação. Enquanto a bicicleta se desloca de 18,84 m, o ponto P pertencente ao pneu descreverá um arco S = ______________ m.



★★★★★★★★★★★★

18,84

2 ■ O arco S é dado em função do raio R e do deslocamento angular $\Delta\theta$ pela expressão: S = ______________.

★★★★★★★★★★★★

$\Delta\theta \cdot R$

3 ■ Logo, como R = ______________ e S = ______________ m, então $\Delta\theta$ = ______________.

★★★★★★★★★★★★

0,3 m; 18,84; 62,8 rad = 20π rad

4 ■ Portanto, a velocidade angular média da roda será:

★★★★★★★★★★★★

$\omega_m = 2\pi$ rad/s

5 ■ O arco descrito pelo ponto P indicado na figura acima é S = __________.
Esse valor é igual ao ______________________________ da bicicleta.

★★★★★★★★★★★★

18,84 m; deslocamento linear

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

1 ■ Caracterize movimento linear e movimento angular.

2 ■ Qual é a unidade de medida do deslocamento linear?

3 ■ Como é medido o deslocamento angular?

4 ■ Qual é a expressão que define a velocidade angular média? Caracterize cada elemento desta expressão.

5 ■ Qual é a unidade de medida de velocidade angular?

6 ■ Qual é a expressão que permite calcular o deslocamento angular?

7 ■ O que significa as siglas rpm e rps?

8 ■ Explique como você transformaria rpm em rad/s.

9 ■ Qual é o resultado do produto rad • m? Por quê?

10 ■ Se o eixo da roda de um carro se desloca x m qual é o arco descrito por um ponto da periferia da roda (dado o raio R da roda)?

Após isso, você deve estar apto para:

a. calcular a velocidade angular média, dado o deslocamento angular e o tempo.

b. determinar o deslocamento angular num certo intervalo de tempo, conhecida a velocidade angular média.

c. determinar a velocidade angular média em radianos por segundo, conhecido o número de rotações por segundo que um corpo efetua em relação ao eixo de rotação.

d. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Um corpo gira ao redor de um eixo, dando 10 voltas completas em 2 s. Calcule a velocidade angular média e o arco descrito por um ponto pertencente ao corpo e que se situa a 10 cm do eixo de rotação, em 1,0 s.

2 ■ No problema 1, qual é o deslocamento angular, em radianos e em graus, que o ponto realiza em 4,0 s?

3 ■ O motor de um carro de corrida gira a 10 000 rpm. Calcule a velocidade angular média correspondente em rad/s.

4 ■ Uma polia de raio 10 cm é envolvida por uma corda. Se puxarmos 10 m de corda em 20 s, determine:

a) o comprimento do arco descrito por um ponto da periferia da polia;

b) o deslocamento angular correspondente (em radianos);

c) a velocidade angular média da polia.

5 ■ A roda de um carro possui raio 25 cm. Se o carro percorre 50 m em 2,0 s, calcule a velocidade angular média da roda.

6 ■ A Lua dá uma volta completa ao redor da Terra em aproximadamente 30 dias. Calcule a velocidade angular média da Lua ao redor da Terra. Resposta em radianos/segundo.

7 ■ A Terra gira ao redor de seu próprio eixo dando uma volta completa em 24 horas. Calcule a velocidade angular média da Terra em rad/s.

8 ■ Uma roda gira a 240 rpm e possui raio 20 cm. Determine:

a) o deslocamento angular desta roda em 10 s;

b) o arco descrito, em 10 s, por um ponto da periferia da roda;

c) a velocidade angular média.

9 ■ Um motor elétrico funciona normalmente a 2 400 rpm. Calcule a velocidade angular média do eixo deste motor.

10 ■ Um corpo gira com velocidade angular média de 6,28 rad/s. Em 10 s, calcule:

a) o deslocamento angular;

b) o arco descrito por um ponto situado a 5,0 cm do centro de rotação;

c) o número de rotações por minuto realizado, em média, por este corpo.

RESPOSTAS:

1 ■ $\omega_m = 10\pi$ rad/s; $S = 100\pi$ cm

2 ■ $\Delta\theta = 40\pi$ rad; 7 200°

3 ■ $\omega_m \cong 10{,}5 \times 10^2$ rad/s

4 ■ a) $S = 10$ m b) $\Delta\theta = \frac{S}{R} = 100$ rad

c) $\omega_m = 5{,}0$ rad/s

5 ■ $\omega_m = 100$ rad/s

6 ■ $\omega_m \cong 2{,}4 \times 10^{-6}$ rad/s

7 ■ $\omega_m \cong 7{,}3 \times 10^{-5}$ rad/s.

8 ■ a) $\Delta\theta = 80\pi$ rad b) $S = 16\pi$ m $\cong 50$ m

c) $\omega_m = 8\pi$ rad/s

9 ■ $\omega_m \cong 2{,}5 \times 10^2$ rad/s

10 ■ a) $\Delta\theta = 62{,}8$ rad $= 20\pi$ rad

b) $S = 314$ cm $= 3{,}14$ m

c) 60 rpm

B – ACELERAÇÃO ANGULAR – SÍMBOLO: γ (GAMA)

1 ■ A aceleração linear média foi definida, quando do estudo de movimento linear, pela relação: $a_m = \frac{v - v_0}{\Delta t}$ e a sua unidade de medida, no SI é__________.

****

$\frac{m}{s^2}$

2 ■ A aceleração linear média mede a rapidez com que a velocidade de um corpo está variando. Por exemplo, um carro A parte do repouso e depois de 2,0 s sua velocidade é 10 m/s. A aceleração média do carro foi de _____________. Um outro, carro B, aumenta sua velocidade desde 10 m/s até 20 m/s em 4,0 s. A aceleração média do carro B foi________. O carro que aumentou sua velocidade com maior rapidez foi o _________.

****

5,0 m/s²; 2,5 m/s²; carro A

3 ■ No caso de corpos em rotação ou em movimento circular, estaremos interessados em determinar a rapidez com que a velocidade angular aumenta ou diminui de valor. Estaremos interessados, portanto, em determinar a aceleração (angular; linear) média.

****

angular

4 ■ A aceleração angular média mede, então, a rapidez com que ____

____.

****

a velocidade angular média varia (aumenta ou diminui)

5 ■ Simbolizaremos a aceleração angular média com γ_m. Analogamente à aceleração linear média, a aceleração angular média é definida por:

$$\gamma_m = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t}$$

onde ω é a velocidade angular final e ω_0 é a ______________________ e Δt é o intervalo de tempo durante o qual ocorreu a variação da velocidade angular.

****

velocidade angular inicial

6 ■ A unidade de aceleração angular é igual a unidade de ______________________ dividida pela unidade de tempo. Se a velocidade angular for medida em rad/s e o tempo em s, então a aceleração angular deverá ser expressa em ______________.

****

velocidade angular; rad/s^2

7 ■ Vejamos um exemplo: se uma roda partindo do repouso atinge uma velocidade angular de 30 rad/s em um intervalo de tempo de 5,0 s, a sua aceleração angular média será γ_m = __________.

****

$$\frac{30 \text{ rad/s} - 0}{5{,}0 \text{ s}} = 6{,}0 \text{ rad/s}^2$$

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

Uma roda parte do repouso e atinge 240 rps em 2,0 min. Qual foi a aceleração angular média em rad/s^2?

1 ■ A velocidade angular inicial é ______________ pois a roda partiu do repouso.

****

0

2 ■ No fim de 2,0 min à roda gira a razão de 240 rps. Isto significa que em 1 s ela está efetuando_________voltas completas. Como cada volta corresponde a um deslocamento angular de___________ rad, então a velocidade angular final será__________rad/s.

****

240; 2π; 480π

3 ■ Portanto, a velocidade angular final é ω = _______________.

****

$= 480\pi$ rad/s

4 ■ Logo, a aceleração angular média será:_____________.

****

$$\frac{480\pi\ (\text{rad/s}) - 0}{120\ \text{s}} = 4\pi\ \text{rad/s}^2 \qquad (2{,}0\ \text{min} = 120\ \text{s})$$

PROBLEMA 2

Uma polia gira com velocidade angular de 6,28 rad/s. Ela é acelerada e depois de 10 s está realizando 11 revoluções por segundo. Qual foi a aceleração angular média?

1 ■ A velocidade angular inicial é ω_0 = _____________.

****

6,28 rad/s

2 ■ 11 rps corresponde a uma velocidade angular de _______________rad/s.

****

$11 \times 2\pi$ rad/s = 69,08 rad/s

3 ■ A velocidade angular final é, portanto, ω = ______________.

****

69,08 rad/s.

4 ■ Portanto, a aceleração angular média é γ_m = ______________.

****

$$\frac{(69{,}08 - 6{,}28)\ \text{rad/s}}{10\ \text{s}} = 6{,}28\ \text{rad/s}^2 = 2\pi\ \text{rad/s}^2$$

PROBLEMA 3

A roda de um automóvel tem diâmetro de 50 cm e está com velocidade angular de 628 rad/s. O automóvel é freado e pára depois de 10 s. Qual foi a aceleração angular média da roda?

1 ■ A velocidade angular inicial é ω_0 = __________ e a final ω = __________, pois ao fim de 10 s o automóvel pára.

****

628 rad/s; 0

2 ■ O intervalo de tempo em que ocorre este evento é Δt = __________ ; logo a aceleração angular média foi γ_m = __________.

****

10 s; $-62,8 \text{ rad/s}^2 = -20\pi \text{ rad/s}^2$

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Defina em palavras o conceito de aceleração angular média.

2 ■ Qual a fórmula que permite o cálculo da aceleração angular média?

3 ■ Qual o significado de aceleração angular média?

4 ■ Qual é a unidade de medida de aceleração angular no SI?

5 ■ Qual a diferença entre aceleração angular média e aceleração linear média?

6 ■ Qual o resultado do produto $\gamma_m \cdot \Delta t$?

Após isso, você deve estar apto para:

a. calcular aceleração angular média,
b. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS PROPOSTOS

1 ■ Uma polia está girando à razão de 480 rpm. Quando sofre ação dos freios ela pára depois de 5,0 s. Qual foi a aceleração angular média da polia?

2 ■ Uma roda está girando com velocidade angular de 3,0 rad/s. Depois de 4,0 s, a sua nova velocidade angular é de 15 rad/s. Calcule a aceleração angular média da roda.

3 ■ Um motor está com 2 400 rpm quando a voltagem da rede elétrica diminui; o motor passa então a girar com 1 200 rpm. Se isto ocorreu em um intervalo de tempo igual a 2,0 s, calcule a aceleração angular média do motor neste intervalo de tempo.

4 ■ Uma partícula move-se em trajetória circular de raio R e dá 10 voltas por segundo. Sob ação de agente externo a partícula passa a dar 15 voltas por segundo, em um tempo cuja duração é 2,0 s. Calcule a aceleração angular média.

5 ■ Um corpo está girando ao redor de um eixo com velocidade angular igual a 10 rad/s. Sob ação de uma aceleração angular média de 2,0 rad/s^2 o corpo atinge uma velocidade angular de 16 rad/s. Calcule o intervalo de tempo durante o qual a aceleração angular média se fez presente.

RESPOSTAS

1 ■ $\gamma_m = -3{,}2\pi \text{ rad/s}^2$
2 ■ $\gamma_m = 3{,}0 \text{ rad/s}^2$
3 ■ $\gamma_m = -20\pi \text{ rad/s}^2$
4 ■ $\gamma_m = 5\pi \text{ rad/s}^2$
5 ■ $\Delta t = 3{,}0 \text{ s}$

C – MOVIMENTO CIRCULAR COM ACELERAÇÃO ANGULAR CONSTANTE:

- EQUAÇÃO DA VELOCIDADE ANGULAR: $\omega = \omega_0 + \gamma \cdot \Delta t$
- GRÁFICO DA VELOCIDADE ANGULAR EM FUNÇÃO DO TEMPO
- VELOCIDADE ANGULAR MÉDIA: $\omega_m = \dfrac{\omega + \omega_0}{2}$
- DESLOCAMENTO ANGULAR: $\Delta\theta = \omega_m \cdot \Delta t = \dfrac{\omega + \omega_0}{2} \cdot \Delta t$

1 ■ Já vimos que a aceleração angular média é definida por: γ_m =____________ (em função de ω_0, ω e Δt).

****

$\dfrac{\omega - \omega_0}{\Delta t}$

2 ■ A velocidade angular final pode ser determinada quando são conhecidas a aceleração angular média, a velocidade angular inicial e o intervalo de tempo. Esta equação pode ser deduzida a partir da equação da aceleração angular média. Portanto, ω = ____________ .

****

$\omega_0 + \gamma_m \cdot \Delta t$

3 ■ Quando a aceleração angular for constante, isto é, em qualquer instante considerado ela tiver o mesmo valor, nós a simbolizaremos simplesmente com a letra γ (sem o índice m). Logo, quando a aceleração angular for constante a equação da velocidade angular é escrita da seguinte forma: ω = ________________ .

****

$\omega_0 + \gamma \cdot \Delta t$ ou $\omega_0 + \gamma t$ se $t_i = 0$

4 ■ Se analisarmos esta expressão verificaremos que ela é semelhante à equação da velocidade no movimento linear. No movimento linear a velocidade (em função da velocidade inicial v_0, da aceleração linear a e do intervalo de tempo Δt) é escrita da seguinte forma: v = ____________ .

****

$v_0 + a \cdot \Delta t$ ou $v_0 + at$ se $t_i = 0$

5 ■ O gráfico da função $v = v_0 + at$ (é; não é) uma linha reta, quando colocamos os valores de v no eixo das ordenadas e os valores do tempo t no eixo das abscissas. Analogamente, o gráfico cartesiano da velocidade angular ω em função do tempo t (é; não é) uma linha reta, para aceleração angular constante.

****

é; é

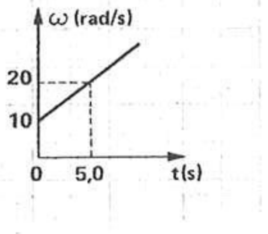
6 ■ Seja $\gamma = 2 \text{ rad/s}^2$ e $\omega_0 = 10 \text{ rad/s}$. A equação da velocidade angular ω = ________________ .

****

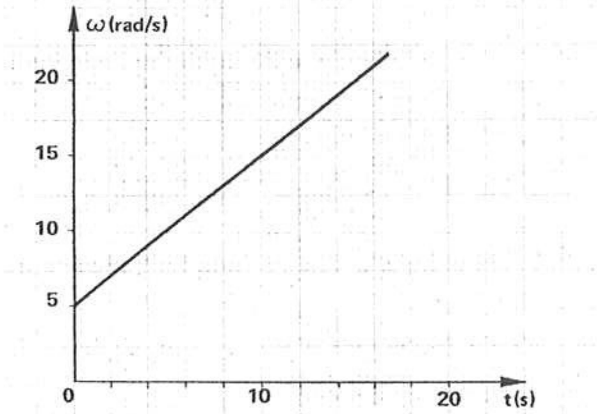
$\omega = 10 + 2t$

7 ■ O gráfico da velocidade angular ω em função do tempo t será (construa ao lado).

* * * * * * * * * * * *

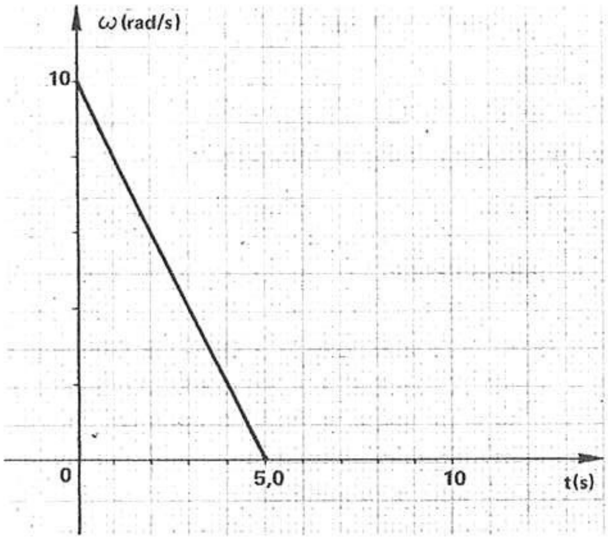


8 ■ O gráfico ao lado representa a velocidade angular ω em função do tempo t. A aceleração angular (é; não é) constante pois o gráfico é uma linha reta. O seu valor é γ = __________ e a equação da velocidade angular é ________________.



* * * * * * * * * * * *

é; 1 rad/s^2; $\omega = 5 + t$



9 ■ Um objeto em rotação apresenta velocidade angular variável em função do tempo, conforme ilustra o gráfico ao lado. A velocidade angular inicial é________. O objeto para de girar no instante t = _______. A sua aceleração angular (é; não é) constante e vale: ____________________. A equação da velocidade angular desse objeto em função do tempo é____________________.

* * * * * * * * * * * *

10 rad/s; 5,0 s; é; -2 rad/s^2; $\omega = 10 - 2t$

10 ■ Quando a aceleração angular γ é constante, o gráfico $\omega \times t$ será uma ________________. Caso contrário, a aceleração angular (será; não será) constante.

* * * * * * * * * * * *

reta (inclinada em relação ao eixo); não será

11 ■ No movimento retilíneo vimos que quando a aceleração linear é constante, a velocidade média é dada por $v_m = \frac{\_\_\_ + \_\_\_}{2}$.

****

v; v_0

12 ■ Por analogia, podemos afirmar que no movimento circular, quando a aceleração angular é constante, a velocidade angular média será dada por ω_m = __________.

****

$\frac{\omega + \omega_0}{2}$

13 ■ No movimento retilíneo, o deslocamento $\Delta d - v_m \cdot \Delta t$. No movimento circular, o deslocamento angular $\Delta\theta$ = __________ (em termos da velocidade angular média e do intervalo de tempo).

****

$\omega_m \cdot \Delta t$

14 ■ Como a velocidade angular média (para aceleração angular constante) é $\omega_m = \frac{\_\_\_ + \_\_\_}{2}$, então $\Delta\theta$ = __________.

****

ω; ω_0; $\left(\frac{\omega + \omega_0}{2}\right) \cdot \Delta t$

15 ■ Vimos também que no movimento retilíneo a área no gráfico v X t nos fornecia o valor do ____________________.

****

deslocamento linear Δd

16 ■ No movimento circular, a área no gráfico $\omega \times$ t nos fornecerá o valor do ____________________.

****

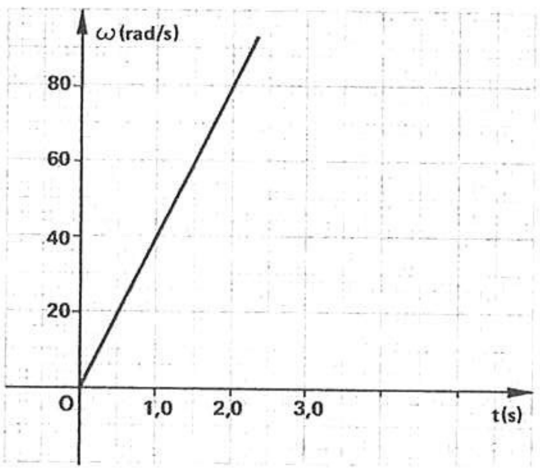
deslocamento angular $\Delta\theta$

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

Uma polia com raio R = 10 cm é posta a girar a partir do repouso e atinge uma velocidade angular = 80 rad/s depois de 2,0 s, conforme ilustra o gráfico ao lado. Determinar:

a) a aceleração angular;
b) o deslocamento angular desde 0 até 2,0 s;
c) o número n de voltas que a polia realiza desde 0 até 2,0 s;
d) o comprimento de arco descrito por um ponto da periferia da polia.



1 ■ O gráfico é uma linha reta; isto indica que a aceleração angular (é; não é) constante. O valor de γ é: ________.

★★★★★★★★★★★★

é; 40 rad/s²

2 ■ Como a aceleração angular é constante, $\omega_m = \frac{\omega + \omega_0}{2}$. Sendo ω_0 = ________ e ω = ________, então ω_m = ________.

★★★★★★★★★★★★

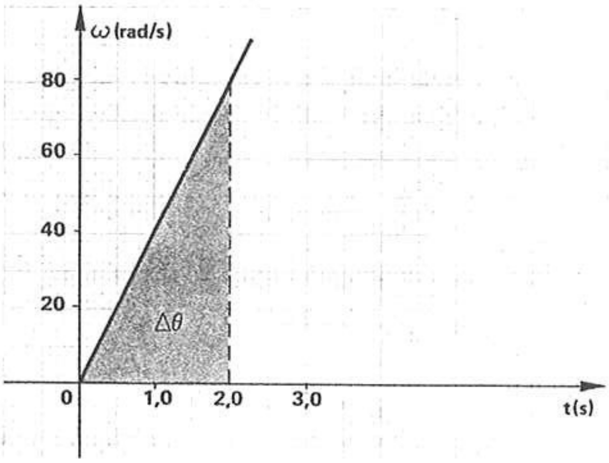
0; 80 rad/s; 40 rad/s

3 ■ Então, $\Delta\theta$ = ________.

★★★★★★★★★★★★

$\omega_m \cdot \Delta t$ = 40 (rad/s) × 2,0 (s) = 80 rad

4 ■ Podemos também determinar o deslocamento angular $\Delta\theta$ a partir do gráfico. Para tal, basta calcular a área compreendida entre a curva e o eixo do tempo. No gráfico ao lado, o deslocamento angular corresponde à área de um ________ e vale ________.



★★★★★★★★★★★★

triângulo; 80 rad

5 ■ Em 2,0 s esta polia realiza um deslocamento angular de 80 rad; como cada volta completa corresponde a um deslocamento angular de ________ rad, então em 80 rad, teremos n = ________ voltas.

★★★★★★★★★★★★

2π = 6,28; 12,7 ≅ 13 voltas

6 ■ O comprimento de arco descrito por um ponto a uma distância R do centro de rotação é dado pela expressão S = ________, onde $\Delta\theta$ representa o ________ medido em ________ e R a distância do ponto ao ________.

★★★★★★★★★★★★

$\Delta\theta \cdot R$; deslocamento angular; radianos; centro de rotação

7 ■ Portanto para o ponto periférico, tem-se S = ________ cm.

★★★★★★★★★★★★

80 rad × 10 cm = 800 cm ou 8,0 m

8 ■ Resumindo, teremos:

a) aceleração angular = ________;

b) deslocamento angular = ________;

c) número de voltas = ________;

d) comprimento de arco descrito por um ponto periférico = ________.

★★★★★★★★★★★★

γ = 40 rad/s²; $\Delta\theta$ = 80 rad; n ≅ 13 voltas; S = 8,0 m

PROBLEMA 2

Uma roda de raio 20 cm está girando com velocidade angular 1 256 rad/s quando ela é freiada. Ela pára, uniformemente, em 20 s. Calcular:

a) a aceleração angular;

b) deslocamento angular;

c) o número de voltas que realiza até parar;

d) o comprimento de arco descrito por um ponto situado a 10 cm do eixo de rotação.

1 ■ A velocidade angular inicial da roda é ω_0 = ____________ e a final é ω = ____________. Se ela gasta 20 s para parar, então a aceleração angular média é γ_m = ____________.

* * * * * * * * * * * *

1 256 rad/s; 0; $-62{,}8$ rad/s^2 = -20π rad/s^2

2 ■ Como ela para uniformemente, a aceleração (é; não é) constante.

* * * * * * * * * * * *

é

3 ■ Portanto, a velocidade angular média pode ser determinada pela expressão ω_m = ____________ e vale ω_m = ____________.

* * * * * * * * * * * *

$\dfrac{\omega + \omega_0}{2}$; 628 rad/s = 200π rad/s

4 ■ Logo, o deslocamento angular $\Delta\theta$ = ____________.

* * * * * * * * * * * *

12 560 rad = $4 \times 10^3 \pi$ rad

5 ■ O ponto P dista 10 cm do eixo de rotação, portanto ele descreverá um arco S = ____________.

* * * * * * * * * * * *

$\Delta\theta \cdot R = 4 \times 10^4 \pi$ cm $\cong 13 \times 10^4$ cm

6 ■ O ângulo descrito é portanto $\Delta\theta = 4 \times 10^3 \pi$ rad. Como cada volta corresponde a um deslocamento angular de ____________ rad, então o número de voltas realizadas até parar será n = ____________.

* * * * * * * * * * * *

2π; 2×10^3 voltas.

7 ■ Resumindo:

a) aceleração angular = ____________,

b) deslocamento angular = ____________,

c) número de voltas = ____________,

d) comprimento de arco descrito pelo ponto P = ____________.

* * * * * * * * * * * *

γ = 62,8 rad/s^2; $\Delta\theta = 4 \times 10^3$ rad; n = 2×10^3 voltas; S $\cong 13 \times 10^4$ cm

PROBLEMA 3

Uma roda de raio 50 cm está girando a 1 800 rpm quando é acelerada uniformemente até atingir 2 400 rpm. A fase de aceleração é 4,0 s. Determinar:

a) a aceleração angular;

b) o número de voltas que a roda realiza durante a aceleração;

c) o comprimento do arco descrito por um ponto situado a 50 cm do centro de rotação.

1 ■ A velocidade angular deve ser dada em rad/s. Portanto, a velocidade angular inicial será ω_0 = ______________.

****

60π rad/s

2 ■ Da mesma forma, a velocidade angular final ω = ____________ rad/s.

****

80π

3 ■ Portanto, a aceleração angular γ = __________________.

****

$5{,}0\pi$ rad/s^2

4 ■ A velocidade angular média é ω_m = ____________ e portanto, em $\Delta t = 4{,}0$ s o deslocamento angular é $\Delta\theta$ = ______________.

****

70π rad/s; 280π rad

5 ■ Como cada volta completa corresponde a um deslocamento angular igual a 2π rad, em 280π rad, existirão n = ____________ voltas.

****

140

6 ■ O arco descrito será S = ______________.

****

$\Delta\theta \cdot R = 280\pi \text{ rad} \times 50 \text{ cm} = 14\,000\pi \text{ cm} \cong 4{,}4 \times 10^2$ m

7 ■ Portanto, resumindo, teremos;

a) aceleração angular = __________________;

b) número de voltas = __________________;

c) arco descrito pelo ponto P = __________________.

****

$\gamma = 5{,}0\pi$ rad/s^2; 140 voltas; $S = 4{,}4 \times 10^2$ m

PROBLEMA 4

A roda de uma bicicleta de raio R = 30 cm parte do repouso e depois de percorrer 94,2 m está girando a 10 rps. Calcular a aceleração angular, suposta constante.

1 ■ A velocidade angular inicial é ω_0 = ______________ e a final é ω = ______________.

****

0; 20π rad/s = 62,8 rad/s

2 ■ O tempo gasto (é; não é) dado diretamente no problema. Ele deve ser determinado. A expressão que nos permite calculá-lo é Δt = ______________.

****

não é; $\dfrac{\Delta\theta}{\omega_m}$

3 ■ O deslocamento angular $\Delta\theta$ está relacionado com o arco descrito e o raio da roda pela expressão $\Delta\theta$ = __________.

****

$\dfrac{S}{R}$

4 ■ Como S = ______________ m e R = ______________ m, então $\Delta\theta$ = ______________.

****

94,2; 0,3; 314 rad = 100π rad

5 ■ A velocidade angular média ω_m = ______________, pois o movimento é supostamente realizado com aceleração constante.

****

ω_m = 10π rad/s = 3,14 rad/s

6 ■ Portanto, o tempo gasto é Δt = ______________.

****

10 s

7 ■ Logo, a aceleração angular será γ = ______________.

****

2π rad/s^2 = 6,28 rad/s^2

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Qual é a expressão que define a aceleração angular média?

2 ■ Qual é a expressão da velocidade angular em função do tempo?

3 ■ Quando a aceleração angular é constante, qual é a forma do gráfico cartesiano da velocidade angular em função do tempo?

4 ■ Se a velocidade angular for expressa em rad/s e o tempo em s, como será expressa a aceleração angular?

5 ■ Qual é a expressão que permite calcular a velocidade angular média em função da velocidade angular final e inicial? Em que caso esta expressão é válida?

6 ■ Conhecida a velocidade angular média e o tempo, qual é a expressão que nos permite calcular o deslocamento angular?

7 ■ No gráfico da velocidade angular pelo tempo, que grandeza geométrica corresponde ao deslocamento angular?

8 ■ Como você transforma 1 rps no correspondente em rad/s?

9 ■ Como você calcula o comprimento de arco S? Explique os termos utilizados.

Após isso, você deve estar apto para:

a. escrever a equação da velocidade angular.
b. determinar a aceleração angular a partir do gráfico $\omega \times t$.
c. determinar a velocidade angular média.
d. determinar o deslocamento angular.
e. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Imprime-se a um esmeril uma aceleração angular igual a 3,0 rad/s^2 a partir do repouso. Depois de 10 s, determinar:

a) a velocidade angular no instante $t = 10,0$ s;
b) o deslocamento angular;
c) o número de rotações efetuadas pelo esmeril.

2 ■ Uma turbina é acelerada uniformemente a partir do repouso até atingir 12 000 rotações por minuto, num intervalo de tempo igual a 100 s. Calcular a aceleração angular e o número de rotações efetuadas.

3 ■ Uma roda gira à razão de 3 600 rpm, quando sofre a ação de freios. Se ela parar depois de 10 s, determine o número de revoluções por ela efetuada.

4 ■ Um motor elétrico é desligado quando está a 1 800 rpm e pára depois de 180 s. Supondo aceleração angular uniforme, determine:

a) a aceleração;
b) o número de voltas realizadas pelo motor até parar.

5 ■ Uma massa presa nas extremidades de um fio de comprimento 10 cm e é posta a girar de modo que, a partir do repouso, atinja 120 rpm. Sendo 10 s o tempo gasto para tal, calcular:

a) a aceleração angular, suposta constante;
b) o deslocamento angular neste tempo;
c) o número de voltas que a massa efetuou neste tempo;
d) o comprimento de arco descrito pela massa.

6 ■ Uma roda, a partir do repouso, atinge uma velocidade angular de 30 rad/s num intervalo de tempo igual a 5,0 s. Calcular:

a) a aceleração angular;
b) a velocidade angular no tempo $t = 2,0$ s;
c) o deslocamento angular desde 0 até 2,0 s;
d) o número de voltas completas desde 0 até 5,0 s.

7 ■ Um automóvel parte do repouso e percorre 157 m em 10 s. Supondo que o raio de cada roda seja de 0,50 m, determinar a aceleração angular da roda e o número de rotações efetuadas por cada roda. Supor a aceleração angular constante.

8 ■ Uma polia gira com velocidade de 62,8 rad/s. Ela é acelerada e depois de 10 s está efetuando 6 600 rotações por minuto. Determinar:

a) aceleração angular;
b) deslocamento angular da polia;
c) o número de rotações efetuadas pela polia neste tempo.

9 ■ Uma roda é freiada quando está a 2 400 rpm, vindo a parar em 20 s. Supondo a aceleração constante, calcular:

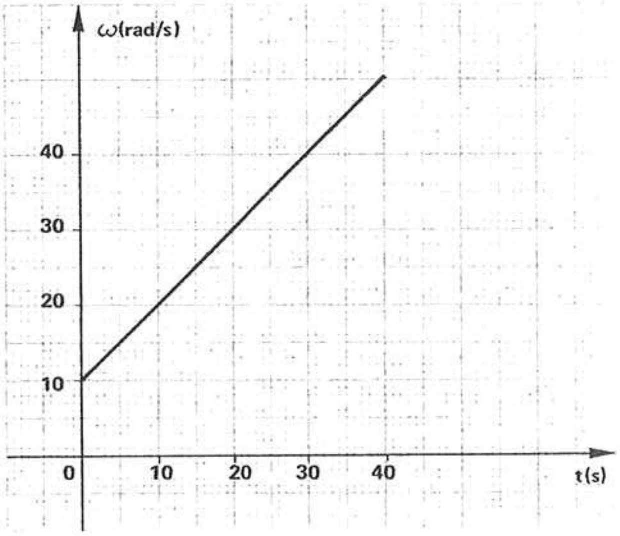
a) a aceleração em rad/s^2;
b) o número de rotações efetuadas até parar;
c) a velocidade angular para $t = 10$ s.

10 ■ Um objeto que gira ao redor de um eixo realiza, a partir do repouso, um deslocamento angular igual a 376,8 rad em um intervalo de tempo igual a 10 s. Supondo acelerado uniformemente, determinar:

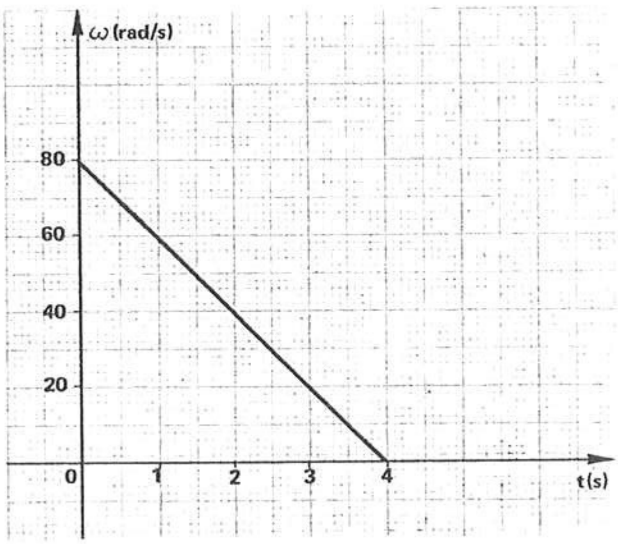
a) a aceleração angular;
b) o número de rotações.

11 ■ Um corpo gira ao redor de um eixo e sua velocidade angular em função do tempo é esquematizado no gráfico ao lado. Determinar:

a) a aceleração;
b) desde 0 até 30 s, o número de revoluções.



12 ■ Um rotor está girando com velocidade angular 80 rad/s quando o motor é desligado. A velocidade angular diminui com o tempo, conforme o gráfico ao lado. Determinar o número de revoluções que o motor realiza até parar.

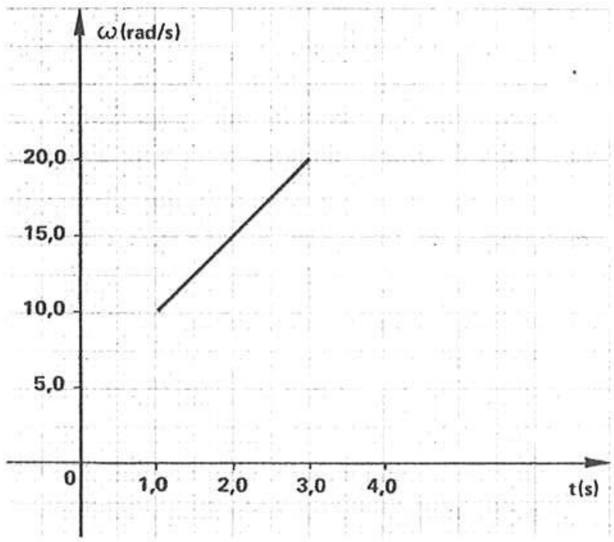


13 ▪ O gráfico ao lado mostra a variação da velocidade angular em função do tempo. Desde 1,0 s até 3,0 s, determinar:

a) a aceleração angular;

b) o deslocamento angular;

c) o número de revoluções.



RESPOSTAS

1 ▪ a) $\omega = 30$ rad/s
b) $\Delta\theta = 150$ rad
c) $n = \dfrac{\Delta\theta}{2\pi} \cong 24$ voltas

2 ▪ $\gamma = 4{,}0\pi$ rad/s^2; $n = 1{,}0 \times 10^4$ voltas

3 ▪ n = 300 voltas.

4 ▪ a) $\gamma = -\dfrac{\pi}{3}$ rad/s^2 b) n = 2 700 rotações

5 ▪ a) $\gamma = 0{,}4\pi$ rad/s^2 b) $\Delta\theta = 20\pi$ rad
c) n = 10 rotações d) $S = 2\pi$ m

6 ▪ a) $\gamma = 6{,}0$ rad/s^2 b) $\omega = \gamma t = 12$ rad/s
c) $\Delta\theta = 12$ rad d) $n \cong 12{,}2$ voltas

7 ▪ $\gamma = 2\pi$ rad/s^2; n = 50 rotações

8 ▪ a) $\gamma = 20\pi$ rad/s^2
b) $\Delta\theta = 1{,}2 \times 10^3\pi$ rad
c) n = 600 rotações

9 ▪ a) $\gamma = -4\pi$ rad/s^2
b) n = 400 voltas
c) $\omega = \omega_0 - \gamma t = 40\pi$ rad/s

10 ▪ a) $\gamma = 2{,}4\pi$ rad/s^2 b) n = 60 rotações

11 ▪ a) $\gamma = 1{,}0$ rad/s^2 b) $n = \dfrac{750}{2\pi} \cong 119$ rotações

12 ▪ $n = \dfrac{80}{\pi} \cong 26$ rotações

13 ▪ a) $\gamma = 5{,}0$ rad/s^2 b) $\Delta\theta = 30$ rad
c) $n = \dfrac{30}{2\pi} \cong 4{,}8$ rotações

SEÇÃO 3 – VELOCIDADE LINEAR DE UM CORPO EM ROTAÇÃO

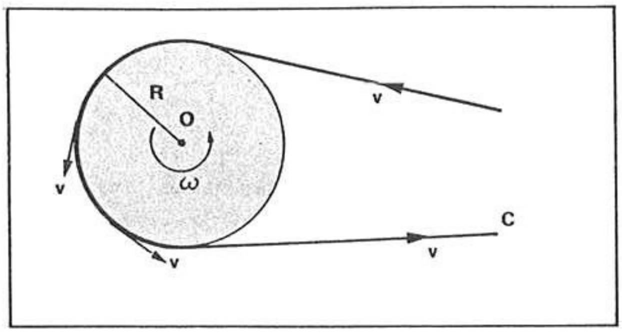
$v = \omega R$

Um corpo que percorre uma circunferência em movimento angular percorre, num dado intervalo de tempo, uma distância igual ao comprimento do círculo, isto é, uma distância $\Delta d = 2 \cdot \pi \cdot R$, onde R é o raio do círculo.

Portanto, além da velocidade angular, tal corpo apresentará também uma velocidade linear v que estará relacionada com a distância que ele percorre ao longo do círculo e o tempo gasto.

Você verá nesta seção a velocidade linear de um corpo em rotação ou em movimento angular e relacionará esta velocidade com a velocidade angular.

1 ■ A figura ao lado ilustra uma polia sendo movimentada por uma correia C. A polia possui eixo de rotação em O e o seu raio é R. Vamos admitir que a correia seja puxada com velocidade linear constante v. Num intervalo de tempo Δt, o deslocamento de um ponto da correia será Δd = ________.



****

$v \cdot \Delta t$

2 ■ Se não houver escorregamento da correia, todos os pontos da polia em contato com a correia (terão; não terão) velocidade linear v. Enquanto a polia efetua uma volta completa a distância percorrida por um ponto da polia, pertencente a periferia, será igual a $S = 2\pi \cdot R$, isto é, igual ao comprimento da circunferência. Por outro lado, se a polia efetuar um deslocamento angular $\Delta\theta$, um ponto da periferia percorrerá uma distância S = ______.

****

terão; $\Delta\theta \cdot R$

3 ■ Vamos admitir que num intervalo de tempo Δt em que a correia é puxada, a polia efetua um deslocamento angular $\Delta\theta$. Logo, a correia é puxada por uma distância Δd = _________ e ao mesmo tempo, um ponto da periferia da polia descreverá um arco S = __________.

****

$v \cdot \Delta t$; $\Delta\theta \cdot R$

4 ■ O deslocamento da correia (é; não é) igual ao comprimento de arco descrito. Portanto, $\Delta d = S$. Logo, $v \cdot \Delta t$ = _________.

****

é; $\Delta\theta \cdot R$

5 ■ $v \cdot \Delta t = \Delta\theta \cdot R$. Dividindo ambos os membros por Δt, teremos:

v = _________.

****

$$\frac{\Delta\theta \cdot R}{\Delta t}$$

6 ■ Mas $\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \omega$ (velocidade angular). Conclui-se que as velocidades linear e angular estão relacionadas pela expressão v = _______.

****

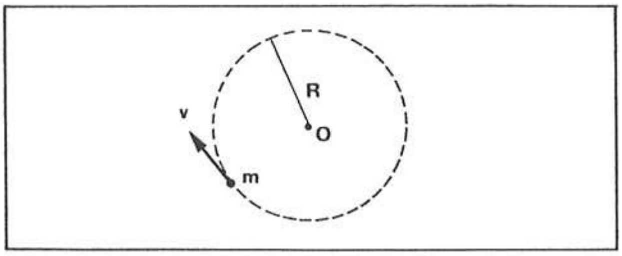
$\omega \cdot R$

7 ■ Portanto, $v = \omega R$ é a expressão que relaciona a velocidade linear de um ponto P que está a uma distância R do centro de rotação de um corpo que gira com velocidade angular ω. Podemos verificar também que ω = ________ (em função de v e R).

★★★★★★★★★★★★

$\frac{v}{R}$

8 ■ A figura ao lado ilustra uma massa m girando ao redor de um centro O. Como se fosse a Lua ao redor da Terra. Seja R a distância da massa ao centro de rotação e v a velocidade linear dessa massa. Analogamente ao caso anterior, a velocidade angular da massa m está relacionada com v e R pela expressão v = ________.



★★★★★★★★★★★★

ωR

9 ■ Vamos supor que a massa referida no ítem 8 efetue uma volta completa em 2,0 s e que R = 2,0 m. Portanto, a massa ao efetuar uma volta completa percorrerá uma circunferência completa, isto é, uma distância

S = ____________ m.

★★★★★★★★★★★★

$S = 2\pi R = 12{,}56$ m

10 ■ Como o tempo gasto para uma volta completa é 2,0 s, a velocidade linear será v = __________.

★★★★★★★★★★★★

$\frac{S}{\Delta t} = \frac{12{,}56}{2{,}0} = 6{,}28$ m/s $= 2\pi$ m/s

11 ■ Vamos resolver o mesmo problema por outro caminho. Se a massa realiza uma volta em 2,0 s, então a velocidade angular desta massa é ω = __________. Portanto, $v = \omega R$ = ____________ m/s. O que concorda com o resultado anterior.

★★★★★★★★★★★★

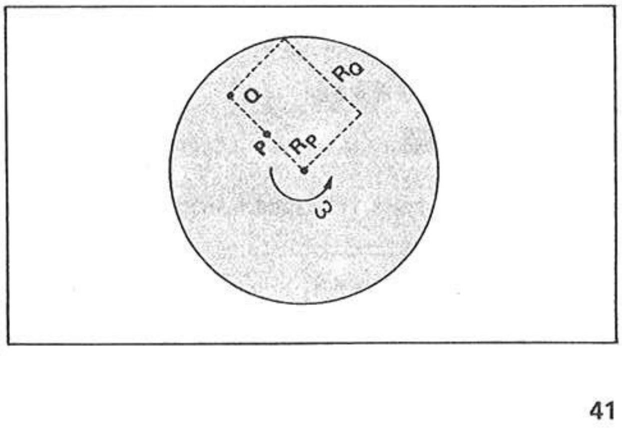
$\frac{2\pi \text{ rad}}{2{,}0 \text{ s}} = \pi$ rad/s; π (rad/s) $\times$ 2,0 (m) $= 2\pi$ m/s

12 ■ Portanto, para um corpo ou ponto em movimento circular, situado a uma distância R do centro de rotação, a velocidade linear está relacionada com a velocidade angular pela expressão: ____________.

★★★★★★★★★★★★

$v = \omega R$

13 ■ Seja a polia da figura ao lado, que gira com velocidade angular ω. Sejam P e Q dois pontos pertencentes à polia. Tanto P como Q (possuem; não possuem) velocidades angulares iguais, pois qualquer ponto desta polia descreve no mesmo tempo o mesmo deslocamento angular.



★★★★★★★★★★★★

possuem

14 ■ Se a polia girar de um ângulo $\Delta\theta$, tanto o ponto P como o ponto Q descreverão o mesmo deslocamento angular. Portanto P e Q possuem a mesma velocidade angular. Seja ω a velocidade angular, a velocidade linear de P será $v_P = \omega \cdot R_P$ e $v_Q =$ ____________.

****

$\omega \cdot R_Q$

15 ■ Na figura do item 13, R_P é (maior; menor) que R_Q. Portanto, v_P será (maior; menor) que v_Q.

****

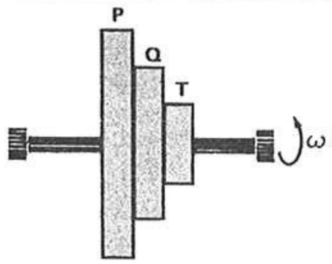
menor; menor

16 ■ Apesar de P e Q possuirem mesma velocidade angular eles (possuirão; não possuirão) mesma velocidade linear. O ponto que estiver mais distante do centro de rotação possuirá velocidade linear (maior; menor).

****

não possuirão; maior

17 ■ Na figura ao lado está representada uma vista lateral de um conjunto de polias de mesmo eixo que gira com velocidade angular igual a 20 rad/s. Os pontos P, Q e T possuirão velocidade angular igual a______. A velocidade linear de P será maior que a do ponto _____ e _____. O ponto que possui menor velocidade linear será (P; Q; T), porque sua distância ao eixo de rotação é menor.



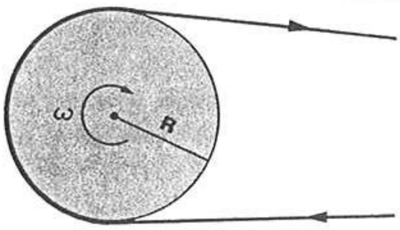
****

20 rad/s; Q; T; T

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

Uma polia está ligada ao eixo de um motor que funciona a 2400 rpm. Sendo 2,0 cm o raio da polia, com que velocidade linear a correia é puxada?



1 ■ A velocidade angular da polia em rad/s é $\omega =$ ___________.

****

$80\pi = 251,2$

2 ■ Os pontos cujas velocidades lineares deverão ser determinadas estão a 2,0 cm do eixo de rotação. Portanto, $v =$ ______________.

****

$v = \omega \cdot R = 251,2 \text{ (rad/s)} \times 2,0 \text{ cm} = 502,4 \text{ cm/s} \cong 5,0 \text{ m/s}$

PROBLEMA 2

Um fio passa por uma polia de raio R = 10 cm. Um corpo que está preso na extremidade livre do fio é puxado com velocidade igual a 4,0 m/s. Determinar a velocidade angular da polia.

1 ■ Supondo que o fio não deslize sobre a polia, conclui-se que as velocidades do corpo, do fio e de um ponto pertencente à periferia da polia são iguais. Portanto, a velocidade linear de um ponto pertencente à polia e distante R = 10 cm do eixo de rotação é v = __________.

* * * * * * * * * * * *

4,0 m/s

2 ■ Portanto, ω = __________.

* * * * * * * * * * * *

$\frac{v}{R} = 40$ rad/s

PROBLEMA 3

Um satélite artificial gira ao redor da Terra em movimento circular a cerca de 400 milhas acima da superfície da Terra, isto é, a cerca de $7{,}0 \times 10^6$ m do centro da Terra e dá uma volta em cada 104 minutos. Qual a velocidade linear e angular desse satélite?

1 ■ O satélite dá uma volta a cada 104 min = ______________ s. Portanto, a sua velocidade angular é ω = ____________ rad/s.

* * * * * * * * * * * *

6240; $\frac{6{,}28 \text{ rad}}{6\,240 \text{ s}} = 0{,}0010064 \cong 1{,}0 \times 10^{-3}$ rad/s

2 ■ A distância do satélite ao centro de rotação é R = ______________. Portanto, a sua velocidade linear será v = ______________.

* * * * * * * * * * * *

$7{,}0 \times 10^6$ m; $\omega \cdot R = 7{,}0 \times 10^6 (\text{m}) \times 1{,}0 \times 10^{-3} (\text{rad/s}) = 7{,}0 \times 10^3$ m/s

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

1 ■ Quais os tipos de velocidade que um corpo em movimento circular possui?

2 ■ A velocidade linear de um objeto em movimento circular é a rapidez com a qual o objeto percorre a circunferência (Certo ou Errado).

3 ■ Qual é a relação entre a velocidade angular e a linear? Escreva-a.

4 ■ De que depende a velocidade linear de um ponto de um corpo em rotação?

5 ■ Quanto mais próximo do centro de rotação de um objeto, maior é a velocidade linear (Certo ou Errado).

6 ■ A velocidade angular de um corpo em rotação depende da distância ao centro de rotação?

7 ■ A velocidade linear de um objeto em rotação depende do ponto considerado, isto é, de sua distância ao centro de rotação?

8 ■ Um objeto está em movimento circular ao redor de um eixo com velocidade v. Se dividirmos a velocidade v pela distância ao centro de rotação, qual a grandeza resultante?

9 ■ Para um corpo em rotação, todos os pontos apresentam a mesma velocidade:
a) angular;
b) linear.

10 ■ Para um objeto em rotação, todos os seus pontos têm a mesma velocidade angular, ao passo que a velocidade linear depende da distância ao eixo de rotação (Certo ou errado).

Após isso, você deve estar apto para:

a. escrever a distinção entre as velocidades angular e linear dos pontos de um objeto em rotação.
b. dada a velocidade angular e a distância ao centro de rotação, calcular a velocidade linear respectiva.
c. calcular a velocidade angular do movimento de um corpo quanto a velocidade linear e a distância de um de seus pontos ao centro de rotação.
d. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ A roda de um automóvel possui raio R = 30 cm e está girando a 10 rps. Calcular a velocidade linear do automóvel.

2 ■ Um garoto gira num carrossel de um parque de diversões à razão de 0,020 rps. A distância do garoto até o eixo de rotação é de 6,0 m. Calcule o valor da velocidade linear do garoto.

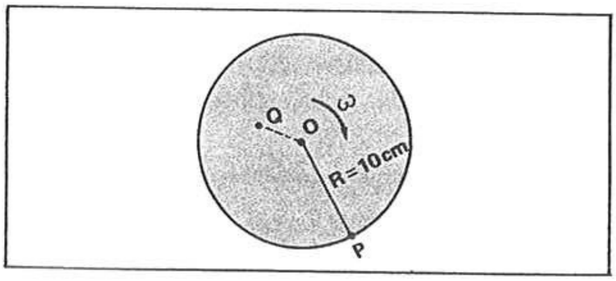
3 ■ Numa roda gigante um garoto encontra-se a 2,5 metros do centro de rotação e dá uma volta em cada 10 segundos. Calcule a velocidade linear do garoto.

4 ■ Um volante gira à razão de 60 voltas por minuto e tem raio R = 1,50 m. Calcule a velocidade angular e a linear de um ponto na periferia deste volante.

5 ■ Uma polia de 2,0 m de diâmetro tem velocidade periférica constante igual a 18,85 m/s. Calcular o número de voltas que dá em 1 minuto.

6 ■ Um ponto descreve uma circunferência de raio 2,0 m. Num determinado instante a sua velocidade linear é 6,0 m/s e depois de 10 segundos a sua velocidade linear passa a 18 m/s. Calcular a velocidade angular inicial e final e a aceleração angular do ponto, suposta constante.

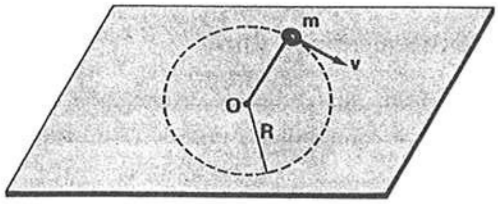
7 ■ A roda mostrada na figura ao lado gira à razão de 60 rpm. Qual é a velocidade angular de um ponto P na periferia da roda e do ponto Q a 5,0 cm do eixo de rotação? Qual é a velocidade linear de tais pontos?



8 ■ Uma massa m, presa a um barbante de comprimento 20 cm, é posta a girar num plano horizontal sem atrito e possui velocidade linear v = 2,0 m/s. Qual é a velocidade angular de m?

9 ■ No problema 8, qual é o tempo que a massa m gasta para uma revolução?

10 ■ O raio da Terra mede cerca de $6{,}3 \times 10^6$ m e ela gira ao redor de seu próprio eixo gastando 24 horas para uma revolução. Qual é a velocidade linear de uma pessoa que está no equador terrestre?



RESPOSTAS

1 ■ $v = 18{,}84$ m/s $\cong 1{,}9 \times 10$ m/s

2 ■ $v \cong 7{,}5 \times 10$ cm/s

3 ■ $v \cong 1{,}6$ m/s

4 ■ $\omega = 2\pi$ rad/s; $v = 9{,}4$ m/s

5 ■ n = 180 (180 rpm)

6 ■ $\omega_0 = 3$ rad/s; $\omega = 9$ rad/s; $\gamma = 0{,}6$ rad/s^2

7 ■ $\omega_P = \omega_Q = 2\pi$ rad/s

8 ■ $\omega = 10$ rad/s

9 ■ $t \cong 0{,}63$ s

10 ■ $v \cong 1{,}6 \times 10^3$ km/h

SEÇÃO 4 – MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME (MCU)

- PERÍODO
- FREQÜÊNCIA
- VELOCIDADE ANGULAR
- VELOCIDADE LINEAR OU TANGENCIAL

No movimento retilíneo estudamos o caso particular do movimento retilíneo uniforme. No estudo do movimento angular, também temos um caso particular que é o movimento circular uniforme ou movimento angular uniforme. Tal movimento acontece quando a aceleração angular é constantemente igual a zero. Como conseqüência, a velocidade angular será constante e o tempo que o objeto gasta para uma rotação completa também será constante.

Nesta seção estudaremos então o movimento circular uniforme e será introduzido o conceito de período e freqüência para este movimento.

1 ■ O movimento denominado **retilíneo uniforme** é aquele no qual um objeto realiza deslocamentos lineares (iguais; diferentes) em intervalos de tempos iguais.

****

iguais

2 ■ Quando um corpo descreve um **movimento circular uniforme** a trajetória é (uma circunferência; uma reta) e em intervalos de tempos iguais efetuará deslocamentos angulares (iguais; diferentes).

****

uma circunferência; iguais

3 ■ Se atarmos uma pedra na extremidade de um fio e a giramos, ela executará um movimento circular cujo raio é igual ao comprimento do fio. O movimento será uniforme se ____.

****

a pedra der sempre uma volta completa num mesmo intervalo de tempo.

4 ■ A Lua se move em trajetória que pode ser admitida circular, efetuando uma volta ao redor da Terra em aproximadamente 30 dias. Como cada volta corresponde a um deslocamento angular de 2π rad, em cada dia a Lua descreverá um deslocamento angular igual a ________ rad. Nestas condições, a Lua (realiza; não realiza) um movimento circular uniforme.

****

$\frac{\pi}{15}$; realiza

5 ■ No movimento circular uniforme, o intervalo de tempo que um objeto gasta para efetuar uma rotação ou revolução completa é denominado **período**. O símbolo correspondente ao período é a letra T. No movimento circular uniforme o período (é; não é) constante.

****

é

6 ■ No movimento circular uniforme o período é uma invariável porque o objeto em tal movimento sempre executa uma volta completa (no mesmo intervalo de tempo; em intervalos de tempos diferentes).

****

no mesmo intervalo de tempo

7 ■ O período T (é; não é) uma medida de tempo. Portanto, no SI, a sua unidade é (segundo; minuto; hora).

****

é; segundo

8 ■ O período de revolução da Lua ao redor da Terra é cerca de T = ______ dias ou T = ______________ (SI).

****

30; $2{,}6 \times 10^6$ s

9 ■ Uma roda gira ao redor de seu eixo dando 120 voltas em cada 1 minuto. O período é o tempo de (uma; duas; 120) volta(s). Portanto, o período de revolução dessa roda é T = ______ s.

****

uma; 0,5

10 ■ Um motor gira à razão de 2 400 rpm. Qual seria o período de rotação deste motor? Vejamos: 2 400 rotações por minuto correspondem a _______ rotações por segundo. Portanto, em 1 s o motor realiza _______ rotações. Como o período é o tempo para efetuar ________ rotação, conclue-se, por uma regra de três simples, que T = ______________ s.

****

40; 40; uma; $\frac{1}{40} = 2{,}5 \times 10^{-2}$ s

RESOLVA:

1 ■ Qual é o período do movimento do ponteiro dos segundos de um relógio?
2 ■ Um objeto em movimento circular efetua 6,0 voltas, em 2,0 s. Calcule o período de revolução.
3 ■ Um motor funciona a 3 600 rpm. Calcule o período de rotação.
4 ■ Calcule o período de movimento de um disco de 78 rpm.
5 ■ Calcule o período de movimento de um disco de 45 rpm.

RESPOSTAS

1 ■ 60 s 2 ■ $T = 1/3$ s 3 ■ $T = 2{,}0 \times 10^{-2}$ s 4 ■ $T \cong 0{,}77$ s 5 ■ $T = 4/3$ s

11 ■ Uma outra característica, também invariável, de um movimento circular uniforme é o que denominamos **freqüência**. A freqüência, no MCU, é o número de rotações ou revoluções efetuadas na unidade de tempo. Por exemplo, um motor realiza 2400 rpm. A sua freqüência é $f = 2\,400$ rpm ou $f = 40$ rps. Qual seria a freqüência de um objeto que realiza 10 voltas em 2 s? f = ____________.

****

5 voltas/s ou 5 rps

12 ■ Portanto, no MCU, a freqüência é o número de ________________________ e o período é o tempo gasto em __________________.

****

de rotações efetuadas na unidade de tempo; uma volta

13 ■ No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de freqüência é 1 rps (rotações ou voltas ou ciclos por segundo). 1 rps foi denominado 1 **hertz**, cuja abreviatura é Hz. Portanto, a freqüência de 1 Hz corresponde a ____________.

****

1 rps

14 ■ Se a hélice de um avião efetua 1200 rpm, a sua freqüência em hertz será: ____________.

****

20 Hz

15 ■ Vimos que a freqüência do movimento da hélice do item 14 é 20 Hz. Isto significa que a hélice realiza ________ rotações por segundo. Portanto, o seu período será T = ____________ s.

****

20; $T = 1/20 = 5{,}0 \times 10^{-2}$

16 ■ Um carro, numa pista circular, dá 120 voltas em cada 20 minutos. A sua freqüência será f = _____ rpm = _____ Hz. O período de revolução de tal carro será T = _________.

****

6; 0,1; 10 s

17 ■ Qual seria a relação entre o período e a freqüência de um objeto em movimento circular uniforme? Vejamos. Admitamos que um objeto esteja em rotação. Quanto mais rápido ele girar (maior; menor) será a freqüência e (maior; menor) será o período.

****

maior; menor

18 ■ Portanto, quanto maior a freqüência de rotação (maior; menor) será o período. Se a freqüência dobrar, o período (dobra; reduz à metade). Freqüência e período são (diretamente; inversamente) proporcionais.

****

menor; reduz à metade; inversamente

19 ■ Se T é o período de rotação, isto significa que o tempo de 1 volta é T segundos. Se f é a freqüência, isto significa que em 1 segundo o número de rotações é______. Portanto, podemos fazer uma proporção:

em T segundos .... 1 rotação

em 1 segundo .... f rotações

Logo, podemos escrever: $T/1 = 1/f$ donde: $T =$________.

****

f; $1/f$

20 ■ Logo, $T = 1/f$. Esta relação mostra que o período é ________________ proporcional à freqüência.

****

inversamente

21 ■ A freqüência de um movimento circular é $f = 10$ Hz. Qual é o período de revolução? $T =$________.

****

0,1 s

22 ■ As ondas de rádio são caracterizadas por sua freqüência. Uma estação emite ondas na freqüência de 800 kHz (800 000 Hz). O período de vibração das ondas é $T =$____________.

****

$1{,}25 \times 10^{-6}$ s

23 ■ Uma partícula vibra em relação a um ponto de equilíbrio com período de $2{,}0 \times 10^{-6}$ s. A freqüência de vibração é $f =$____________.

****

500 000 Hz = 500 kHz

RESOLVA:

1 ■ Qual é o período de um motor que gira a 5400 rpm?

2 ■ Um objeto em movimento circular efetua 100 revoluções em 20 s. Qual a freqüência e o período desse movimento?

3 ■ Qual é a freqüência do movimento da Lua ao redor da Terra?

4 ■ Um volante gira à razão de 10π rad/s. Qual sua freqüência e o período?

5 ■ Uma roda gira a 360 rpm. Qual a freqüência e o período do movimento?

6 ■ Um carro movimenta-se com velocidade constante igual a 12,56 m/s. A roda do carro possui raio $R = 20$ cm. Qual a freqüência e o período de rotação da roda?

RESPOSTAS

1 ■ $T \cong 1{,}1 \times 10^{-2}$ s **2** ■ $f = 5{,}0$ Hz e $T = 0{,}2$ s **3** ■ $f \cong 0{,}39 \times 10^{-6}$ Hz

4 ■ O período T é o tempo gasto para efetuar um deslocamento angular de 2π rad. Em 1 s o deslocamento angular é 10π rad, logo um deslocamento angular igual a 2π rad é efetuado em T s. Portanto, $T = 0{,}2$ s e $f = 5$ Hz.

5 ■ $f = 6{,}0$ Hz e $T = 1{,}7 \times 10^{-1}$ s **6** ■ $f = 10$ Hz e $T = 0{,}1$ s

24 ■ No MCU, o período T e a freqüência f (são; não são) invariáveis. O período é o tempo gasto para um corpo efetuar um deslocamento angular igual a __________ rad.

****

são; 2π ou 6,28

25 ■ Portanto, um objeto em MCU descreverá sempre um deslocamento angular $\Delta\theta$ = ________ rad num intervalo de tempo igual a _______(período).

****

2π; T

26 ■ A velocidade angular, no MCU, (é; não é) invariável.

****

é

27 ■ Então, para um MCU a velocidade angular ω = ____________.

****

$2\pi/T$

28 ■ Já vimos também que o período é (inversamente; diretamente) proporcional à freqüência. A relação entre estas duas grandezas é______________.

****

$T = 1/f$ ou $f = 1/T$ ou ainda $f \cdot T = 1$

29 ■ Logo, $T = 1/f$ e $\omega = 2\,\pi/T$. Então ω = ___________ (substitua $T = 1/f$).

****

$= 2\pi f$

30 ■ O período com que um corpo efetua um MCU é $T = 0{,}2$ s. Sua freqüência é f = ___________. Sua velocidade angular é ω = _______________.

****

5,0 Hz; 10π rad/s

31 ■ A freqüência com que um objeto efetua rotações é $f = 50$ Hz, constante. A velocidade angular do objeto é ____________________ .

****

$\omega = 2\pi f = 100\pi$ rad/s

RESOLVA:

1 ■ A velocidade angular de um objeto em MCU é igual a $2{,}5\pi$ rad/s. Qual o seu período e freqüência?

2 ■ Qual o tempo necessário para uma roda que gira com velocidade angular constante igual a $\frac{3\pi}{2}$ rad/s dar uma volta completa? Qual a freqüência do movimento?

3 ■ Qual é o deslocamento angular de uma roda que gira com freqüência invariável de 30 Hz durante 10 s?

4 ■ Qual é o comprimento de arco descrito por uma roda de raio 50 cm que gira com freqüência fixa de 5 Hz durante 40 s?

RESPOSTAS

1 ■ $T = 0{,}8$ s e $f = 1{,}25$ Hz

2 ■ $T = 4/3$ s e $f = 3/4$ Hz

3 ■ $\Delta\theta = 600\pi$ rad

4 ■ $S = 628$ m

32 ■ Já vimos que para um objeto em movimento circular numa trajetória de raio R, existe uma relação entre a velocidade linear v e a velocidade angular ω. Tal relação é $v =$ ________.

****

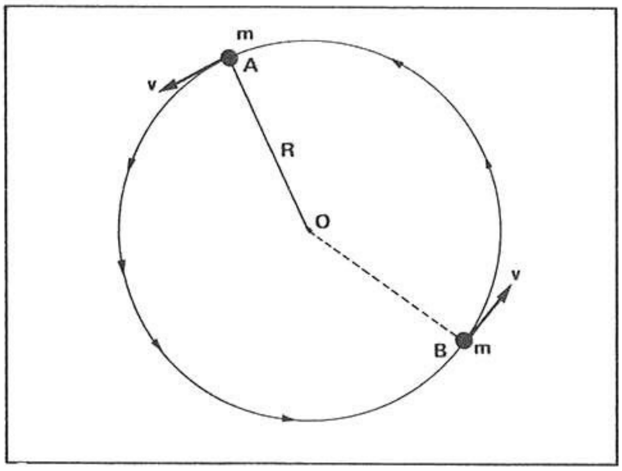
ωR

33 ■ Se o movimento é uniforme, então a velocidade angular é ______________ e portanto a velocidade linear (é; não é) constante.

****

invariável; é

34 ■ Se um objeto de massa m estiver em movimento circular de raio R a velocidade linear v é sempre tangente ao círculo ou à trajetória. Veja a figura ao lado. Se o movimento for uniforme, a velocidade linear é constante (só em valor; em valor, em direção e sentido).



****

só em valor

35 ■ À medida que o objeto executa um movimento circular uniforme a velocidade linear, apesar de manter sempre um mesmo valor, modifica a sua direção. Nos pontos A e B da figura acima as velocidades lineares v possuem (mesma direção; direções diferentes).

****

direções diferentes

36 ■ Podemos determinar a expressão que nos fornece o valor da velocidade linear v, em função do período ou freqüência e do raio. Tal expressão é:

v = ______________(em função do raio e do período)

v = ______________(em função da freqüência e do raio)

****

$\frac{2\pi R}{T}$; $2\pi Rf$

37 ■ Para uma mesma velocidade angular ω a velocidade linear v (depende; não depende) do raio R. Para a mesma velocidade angular, quanto maior o raio R (maior; menor) será a velocidade linear v.

****

depende; maior

38 ■ O período de um objeto em movimento circular uniforme é T = 0,4 s. Se o raio da trajetória é R = 0,4m, a velocidade angular será ω = ______________ e a velocidade linear v = ______________ .

****

5π rad/s; 2π m/s

39 ■ Um ponto P a 20 cm do centro de rotação possui velocidade linear v = 10 m/s. Então a sua velocidade angular será = ________ rad/s e o período do movimento é T = ______________ s.

****

50; $\cong 1{,}3 \times 10^{-1}$ s

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

Um motociclista, num globo da morte, realiza movimento circular uniforme de freqüência 3 Hz. Se o raio da órbita da motocicleta é de 2,0 m, determinar:

a) a velocidade angular;

b) a velocidade linear.

1 ■ A freqüência é f = __________ e portanto, a velocidade angular é ω = ______________ .

****

3 Hz; 6π rad/s = 18,84 rad/s

2 ■ Como a velocidade linear é v = __________(em função de ω e R). Então v = ____________ .

****

ω R; 12π m/s $\cong$ 37,7 m/s

PROBLEMA 2

Uma roda gira com freqüência de 3600 rpm. Sendo R = 0,2 m o raio desta roda, determinar:

a) a velocidade angular;

b) a velocidade linear de um ponto situado a 6 cm do eixo de rotação;

c) a velocidade angular e linear de um ponto situado a 3 cm do eixo de rotação.

1 ■ A freqüência f = 3600 rpm = ________ Hz.

****

60

2 ■ Portanto, a velocidade angular é ω = ____________.

****

120π rad/s = 376,8 rad/s

3 ■ A velocidade linear relaciona-se com a velocidade angular pela expressão v = __________. Portanto, como R = 6,0 cm, tem-se v = __________.

****

ω R; $\cong$ 22,6 m/s = $7{,}2\pi$ m/s

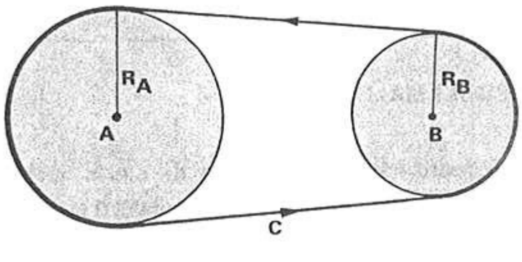
4 ■ Para um ponto situado a 3,0 cm do eixo de rotação, a velocidade angular é a mesma, pois pertence ao mesmo corpo. Todos os pontos de um corpo em rotação (possuem; não possuem) mesma velocidade angular. Portanto para este ponto, ω = ____________ e a sua velocidade linear v = ____________.

****

possuem; 120π rad/s; $3{,}6\pi$ m/s

PROBLEMA 3

Na figura ao lado temos duas polias, A e B, de raios respectivamente iguais a R_A e R_B. Uma correia C passa por elas. Se a freqüência de rotação da polia A é f_A, determinar a freqüência de rotação da polia B. Admitir que a correia não deslize sobre a polia.



1 ■ Desde que a correia não deslize sobre as polias, todos os seus pontos e inclusive os pontos da superfícies das polias (possuem; não possuem) mesma velocidade linear.

****

possuem

2 ■ Portanto, tanto os pontos da periferia da polia A como aqueles da polia B possuirão mesma velocidade (linear; angular).

****

linear

3 ■ Logo, $v_A = v_B$. Como $v_A = 2\pi \cdot R_A \cdot f_A$ e $v_B =$ ____________, igualando-se as expressões e fazendo os cancelamentos necessários, teremos: ________ = ________.

★★★★★★★★★★★★

$2\pi \cdot R_B \cdot f_B$; $R_A \cdot f_A = R_B \cdot f_B$

4 ■ Portanto, $f_B =$ __________.

★★★★★★★★★★★★

$\frac{R_A}{R_B} \cdot f_A$

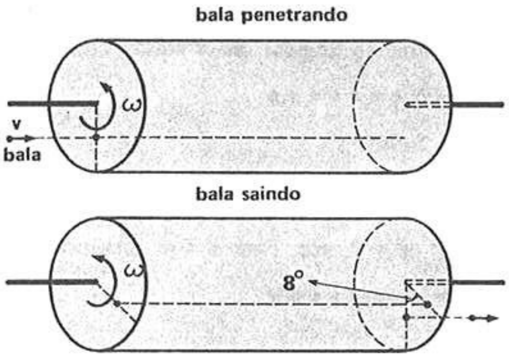
5 ■ Se $R_A = 45$ cm e $R_B = 15$ cm e $f_A = 2400$ rpm, então $f_B =$ ____________.

★★★★★★★★★★★★

7200 rpm = 120 Hz

PROBLEMA 4

Um cilindro oco de bases planas e altura 3,0 m gira ao redor de seu eixo à razão de 180 rpm. Uma bala disparada paralelamente ao eixo de rotação do cilindro perfura as bases, que são de papel fino, em dois pontos. Superpondo-se as bases verifica-se que entre os dois pontos existe um deslocamento angular de 8°. Determinar a máxima velocidade da bala.



1 ■ A bala perfura uma das bases e percorre o cilindro até atingir a outra base. Seja Δt o tempo gasto para tal. Neste intervalo de tempo o deslocamento angular entre o furo inicial e o furo final é ________ rad.

★★★★★★★★★★★★

$\frac{2\pi}{45}$

2 ■ Portanto, no intervalo de tempo Δt a bala percorre, com velocidade v, uma distância igual a ________ (comprimento do cilindro) e simultaneamente o cilindro efetua um deslocamento angular $\Delta\theta =$ ______ rad.

★★★★★★★★★★★★

3,0 m; $\frac{2\pi}{45}$

3 ■ Portanto, a velocidade da bala será determinada por $v = \frac{3,0\ \text{m}}{\Delta t}$. Logo, necessitamos determinar o valor de____.

★★★★★★★★★★★★

Δt

4 ■ A freqüência de rotação do cilindro é f = ________ Hz. A sua velocidade angular é $\omega =$ __________.

★★★★★★★★★★★★

3,0; 6π rad/s

5 ■ Portanto, como $\Delta\theta = \omega \cdot \Delta t$, então $\Delta t =$ ________ (em função de $\Delta\theta$ e ω).

****

$\frac{\Delta\theta}{\omega}$

6 ■ Como $\Delta\theta =$ ____________ e $\omega =$ ____________, então $\Delta t =$ ____________ s.

****

$\frac{2\pi}{45}$ rad; 6π rad/s; $\frac{1}{135}$ s

7 ■ Finalmente v = ____________ .

****

405 m/s

8 ■ Esta velocidade é a velocidade máxima. Vejamos as razões. O deslocamento angular entre os dois pontos (furos) foi medido como sendo 8° ou $2\pi/45$ rad. Mas poderia ter ocorrido que o cilindro desse n voltas mais o deslocamento angular de 8°. Portanto, num caso genérico, podemos escrever que $\Delta\theta' =$ ________ + ________ (deslocamento angular de n voltas completas mais o correspondente a 8°).

****

2π n; $2\pi/45$

9 ■ $\Delta\theta' = 2\pi n + \frac{2\pi}{45}$ é então o deslocamento genérico correspondente e n é um inteiro que varia de n = 0; n = 1; n = 2, etc. Para n = 0 recaimos no caso anterior. Portanto o tempo $\Delta t' =$ ____________ .

****

$\frac{\Delta\theta'}{\omega}$

10 ■ Logo, $\Delta t' =$ ____________________ s.

****

$$\frac{2\pi n + \frac{2\pi}{45}}{6\pi} = \frac{45 n + 1}{135}$$

11 ■ Portanto a velocidade $V = \frac{S}{\Delta t} =$ ____________________ .

****

$$\frac{3{,}0 \text{ m}}{\frac{45 n + 1}{135}} = \frac{405}{45 n + 1} \text{ m/s}$$

12 ■ A velocidade v é então, para um caso geral, $v = \frac{405}{45 n + 1}$ m/s. A velocidade é máxima quando o denominador desta expressão for (máximo; mínimo) e isto ocorre para n = ______. Portanto, para n = 0 a velocidade é máxima vale v = ____________ .

****

mínimo; 0; 405 m/s

13 ■ Se o cilindro tivesse dado duas voltas completas mais, os 8° então n = ________ e a velocidade v = ____________ .

****

2; $\cong$ 4,45 m/s

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

1 ■ Que tipo de movimento executará uma pedra amarrada na extremidade de uma corda quando posta a girar?

2 ■ No movimento retilíneo uniforme (assinale as verdadeiras):

a) a trajetória é circular.

b) a velocidade é constante em direção, valor e sentido.

c) a velocidade só é constante em valor.

d) o móvel realiza deslocamentos iguais em tempos iguais.

e) o móvel realiza deslocamentos iguais em tempos desiguais.

f) a trajetória é uma reta.

3 ■ O que caracteriza o movimento circular uniforme?

4 ■ No MCU o móvel descreve arcos iguais em tempos iguais?

5 ■ Qual é, relativamente à Terra, o ângulo descrito pela Lua em 1 dia?

6 ■ Que nome se dá ao tempo gasto por um objeto para percorrer uma circunferência completa?

7 ■ No MCU o período é invariável?

8 ■ Qual é o período do movimento circular da Lua ao redor da Terra?

9 ■ O que é período e como o simbolizamos?

10 ■ O que é freqüência?

11 ■ Como simbolizamos e qual é a unidade de medida de freqüência no SI?

12 ■ O que é 1 hertz? Como se abrevia hertz?

13 ■ Existe relação, num MCU, entre período e freqüência? Qual?

14 ■ Por quanto fica multiplicada a freqüência se o período de um movimento circular uniforme for reduzido à metade?

15 ■ Quanto mais rápido um objeto girar, menor será o período do movimento circular (Certo ou Errado).

16 ■ No movimento circular uniforme, qual é a expressão da velocidade angular em função do período? E em função da freqüência?

17 ■ 1 ciclo/s é igual a 1 Hz?

18 ■ Escreva a expressão da velocidade linear v em função do período e do raio para o MCU.

19 ■ Escreva, para um objeto em MCU de raio R, a expressão da velocidade linear v em função da freqüência e do raio R.

20 ■ Para o mesmo raio, de quanto aumenta a velocidade linear de um objeto em MCU se a freqüência duplicar?

21 ■ De quanto aumenta ou diminui a velocidade linear no MCU se o período duplicar e o raio permanecer o mesmo?

22 ■ Por que no movimento circular uniforme o período e a freqüência são invariáveis?

23 ■ Quando uma polia transmite movimento a outra polia por meio de uma correia, quais grandezas a seguir permanecem invariáveis: a velocidade angular; a velocidade linear; a freqüência; o período?

Após isso, você deve estar apto para:

a. caracterizar movimento circular uniforme.
b. determinar o período e a freqüência do MCU.
c. calcular a velocidade linear e angular de um objeto em MCU dados o raio e o período ou freqüência.
d. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ▪ Uma pedra é girada horizontalmente numa trajetória circular com velocidade linear constante. Se o raio da circunferência é 10 m e a pedra efetuar uma revolução em cada 5,0 s, determinar:

a) o período;

b) a freqüência;

c) sua velocidade angular;

d) sua velocidade linear;

e) o deslocamento angular em $\Delta t = 20$ s.

2 ▪ Uma partícula alfa cai num campo magnético que a obriga a mover-se em trajetória circular de raio 4,0 metros. Se a sua velocidade linear é constante e igual a $3{,}14 \times 10^3$ m/s, qual o seu período de revolução?

3 ▪ Um elétron move-se com velocidade linear constante igual a $6{,}28 \times 10^4$ m/s, em trajetória circular, forçado pela aplicação de um campo magnético. O período de revolução é $2{,}0 \times 10^{-2}$ s. Qual é o raio da trajetória?

4 ▪ Um satélite artificial, sob a ação de campo gravitacional terrestre, movimenta-se em trajetória circular. O seu período de revolução é de 200 minutos. Se o raio da trajetória, medido a partir do centro da Terra, é de 9×10^6 metros, calcule:

a) a velocidade angular deste satélite;

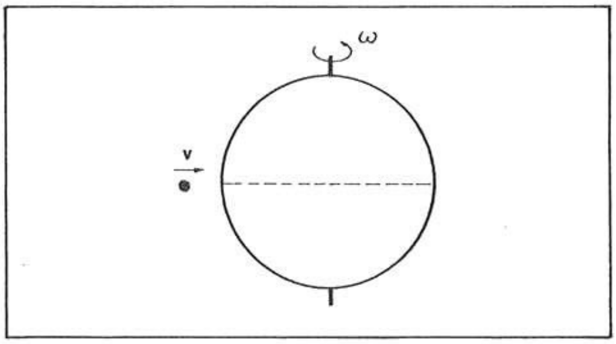
b) a velocidade linear.

5 ▪ Um cilindro oco de comprimento 3,0 metros gira ao redor de seu eixo à razão de 2 400 rpm. Um projétil é disparado paralelamente ao seu eixo e perfura as duas bases deixando dois furos defasados de 72°. Determinar a máxima velocidade de projétil. Considere o movimento do cilindro circular uniforme.

6 ▪ Uma esfera oca feita de papel tem diâmetro igual a 0,50 m e gira com determinada freqüência f_0. Um projétil é disparado numa direção que passa pelo equador da esfera, com velocidade $v = 500$ m/s. Observa-se que, devido a freqüência de rotação da esfera, a bala sai pelo mesmo orifício feito pelo projétil quando penetrou na esfera. Determinar:

a) o tempo que a bala gasta para percorrer o diâmetro da esfera;

b) a freqüência f_0 (mínima) da esfera.



7 ▪ No problema 6, considerando a esfera em rotação, qual seria a freqüência mínima de seu movimento se a bala saisse por um ponto diametralmente oposto ao que ela penetrou?

8 ▪ O raio da Terra é 6 400 km. Um satélite artificial é lançado de modo a gravitar a 3600 km acima da superfície da Terra. Qual a condição para que o satélite permaneça estacionário em relação a um ponto da superfície terrestre?

9 ▪ Uma roda gigante tem raio $R = 2{,}5$ m e gira com freqüência de 1,0 Hz. Qual é a velocidade linear de uma pessoa na roda gigante?

10 ▪ Calcular o período e a freqüência de um disco que gira uniformemente, realizando um deslocamento angular de 28,76 rad em 6,0 s.

11 ▪ Um disco com diâmetro igual a 6,0 metros gira em movimento circular uniforme ao redor de seu eixo com freqüência de 120 rpm. Calcular:

a) a sua velocidade angular e a velocidade linear de um ponto periférico;

b) o seu período e sua freqüência.

12 ■ Um elétron, cuja velocidade é $4,0 \times 10^5$ m/s, fica sob ação de um campo magnético que o faz efetuar um movimento circular uniforme de raio 3,0 metros. Calcular:

a) sua velocidade angular;

b) sua freqüência;

c) seu período.

13 ■ Uma polia tem diâmetro de 20 cm. A correia que a envolve deve possuir uma velocidade igual a 18,84 m/s. Com que freqüência deve girar a polia? Admita que a correia não deslize sobre a polia.

14 ■ Uma polia de raio 15 cm gira com velocidade angular constante igual a 376,8 rad/s. Uma correia que passa por ela liga-a a uma outra polia que deve girar com freqüência de 30 Hz. Qual deve ser o raio desta 2ª polia?

15 ■ Duas polias de raios iguais a 5 cm e 10 cm são montadas no eixo de um motor que funciona a 3 600 rpm. Qual é a velocidade das correias que passam por estas polias?

RESPOSTAS

1 ■ a) $T = 5,0$ s

b) $f = 0,2$ Hz

c) $\omega = 0,4\pi$ rad/s

d) $v = 4\pi$ m/s

e) $\Delta\theta = 8\pi$ rad

2 ■ $T = 8,0 \times 10^{-3}$ s

3 ■ $R = 2,0 \times 10^2$ m

4 ■ a) $\omega = \frac{\pi}{6} \times 10^{-3}$ rad/s

b) $v = 4,7 \times 10^3$ m/s

5 ■ $v = 600$ m/s

6 ■ a) $\Delta t = 1,0 \times 10^{-3}$ s

b) $f_0 = 500$ Hz

7 ■ $f_0 = 1000$ Hz

8 ■ $T = 24$ hs (o período do movimento do satélite igual ao período de rotação da Terra)

9 ■ $v = 15,7$ m/s $\cong 16$ m/s

10 ■ $f = 0,75$ Hz e $T \cong 1,3$ s

11 ■ a) $\omega = 4\pi$ rad/s e $v \cong 75$ m/s

b) $T = 0,5$ s e $f = 2$ Hz

12 ■ a) $\omega = 1,3 \times 10^5$ rad/s

b) $f \cong 2,1 \times 10^4$ Hz

c) $T \cong 4,7 \times 10^{-5}$ s

13 ■ $f = 30$ Hz

14 ■ $R = 30$ cm

15 ■ $v_1 = 1884$ cm/s $\cong 1,9 \times 10^3$ cm/s (raio menor)

$v_2 = 3768$ cm/s $\cong 3,8 \times 10^3$ cm/s (raio maior)

2ª PARTE - Dinâmica do movimento circular

Na 1ª PARTE deste capítulo você estudou o movimento angular ou circular sob o ponto de vista cinemático. Definimos a velocidade e a aceleração angular e analisamos outros aspectos que descreviam quantitativamente o movimento angular.

Nesta parte, faremos um estudo dos aspectos dinâmicos deste movimento. No estudo de forças (FAI-2), vimos que quando um corpo mantinha trajetória retilínea e se movimentava com velocidade constante, a força resultante sobre o corpo era nula, pois o seu estado de movimento não apresentava variações. No movimento circular como, por exemplo, o da Lua ao redor da Terra, mesmo que ele seja um movimento circular uniforme, a força resultante sobre o corpo não é nula, pois a trajetória não é uma linha reta. Portanto, no movimento circular de um corpo a força resultante é diferente de zero. Que tipo de força atua então sobre um corpo em movimento circular? Qual é a direção e sentido da força resultante sobre um carro que faz uma curva de raio R? Durante o estudo desta parte caracterizaremos esta força.

No estudo de corpos em trajetórias retilíneas analisamos a grandeza física denominada de quantidade de movimento linear (FAI-3). Nesta parte veremos a grandeza análoga no movimento circular: definiremos a quantidade de movimento angular de um corpo em movimento circular. Veremos também a grandeza física que está diretamente associada com a variação de rotação do corpo ou com a aceleração angular.

Esta parte, para facilidade de estudo, foi dividada em 3 seções. Na seção 1 estudaremos a força centrípeta; na seção 2, a quantidade de movimento angular e, na seção 3, o momento de uma força.

Após vencer com sucesso esta 2ª PARTE você será capaz de:

a. caracterizar aceleração centrípeta e força centrípeta.
b. calcular a força centrípeta sobre um corpo em movimento circular.
c. definir a quantidade de movimento angular de um corpo em movimento circular ou angular.
d. calcular o momento de uma força e defini-lo quanto a sua função.
e. relacionar torque e condição de equilíbrio.
f. resolver problemas propostos.

SEÇÃO 1 — ACELERAÇÃO CENTRÍPETA
• FORÇA CENTRÍPETA

Nós já vimos que quando um corpo mantém constante o seu estado de movimento a força resultante sobre ele é nula. O corpo mantém o seu estado de movimento quando a sua trajetória for retilínea e a sua velocidade linear for constante. Se a velocidade linear alterar ou se a trajetória não for retilínea, o corpo alterará o seu estado de movimento e conseqüentemente uma força resultante estará agindo sobre o mesmo. Se uma força atua sobre o corpo, de acordo com a 2ª Lei de Newton, o mesmo ficará sujeito a uma aceleração; se o movimento for retilíneo a aceleração será linear.

No movimento circular de um corpo o estado de movimento é alterado, pois a trajetória não é retilínea e portanto o corpo deverá estar sujeito a uma aceleração e estar, conseqüentemente, sob ação de uma força resultante. Nesta seção você verá então as características desta força e desta aceleração.

1 ■ De acordo com a 1ª Lei de Newton, um corpo de massa m tende a conservar o seu estado de movimento, isto é, tende a continuar em repouso se assim já estiver ou tende a continuar em____.

****

linha reta com velocidade constante se assim já estiver

2 ■ Quando um corpo mantém inalterado o seu estado de movimento a força resultante no corpo (é; não é) igual a zero.

****

é

3 ■ Um corpo de massa m que realiza um movimento circular uniforme (mantém; não mantém) inalterado o seu estado de movimento.

****

não mantém

4 ■ O estado de movimento de um corpo de massa m em movimento circular uniforme se altera devido ao fato de sua trajetória (ser; não ser) retilínea, apesar do valor da velocidade linear v permanecer constante.

****

não ser

5 ■ Se no movimento circular uniforme o objeto de massa m altera o seu estado de movimento, conclue-se que a força resultante sobre o mesmo (é; não é) igual a zero.

****

não é

6 ■ Você afirmou que no movimento circular uniforme realizado por um corpo a força é diferente de zero, porque seu estado de movimento se altera. Esta força resultante (aumenta; diminui; não altera) o valor da velocidade linear. A força resultante no objeto em MCU altera a ______________________________ do movimento.

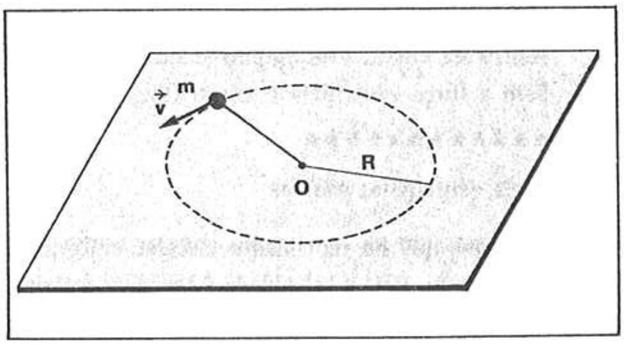
****

não altera; direção

7 ■ A força resultante não nula que age sobre um corpo em MCU não altera o valor da velocidade linear. Ela age no sentido de dar "curvatura" ao movimento, isto é, de "dobrar" a trajetória do corpo que normalmente tende a se mover em linha reta. Esta força deve portanto atuar (tangencialmente à trajetória; na direção do raio, mas para fora da trajetória; na direção do raio, mas para centro da trajetória).

****

na direção do raio, mas para o centro da trajetória



8 ■ Vejamos uma experiência que evidencia este fato: no movimento circular uniforme de um objeto, a força resultante atua no sentido de "buscar" o centro de curvatura. Seja um corpo de massa m preso a uma das extremidades de um fio e posto a girar num plano horizontal. A massa irá descrever um movimento______________________________.

****

circular

9 ■ Podemos verificar que o fio que está preso à massa m durante o movimento fica (esticado; bambo) evidenciando que ele (exerce; não exerce) força sobre a massa.

****

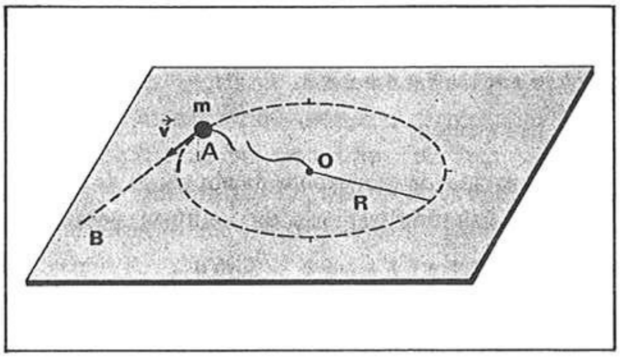
esticado; exerce

10 ■ O fio "puxa" o corpo para o centro O fazendo com que ele, a todo instante, "dobre" sua trajetória transformando-a em circular. Se num determinado momento o fio se romper, o corpo (permanecerá; não permanecerá) em movimento circular.

****

não permanecerá

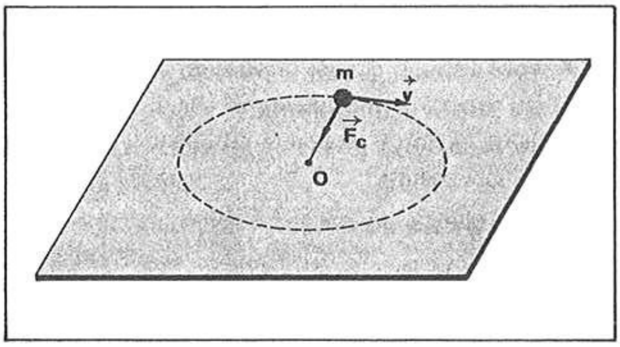
11 ■ Admitamos que o fio se rompa quando o corpo estiver passando pelo ponto A de sua trajetória. Como o fio se rompeu ele deixa de puxar o corpo e a força resultante sobre ele torna-se igual a zero. E como conseqüência, o corpo seguirá a trajetória retilínea AB com a velocidade v que possuia no ponto A. O corpo, depois de rompido o fio, segue trajetória retilínea com velocidade constante porque a força resultante sobre ele é ______________.



****

zero

12 ■ O fato importante a ser observado é que, a menos que o fio ou qualquer outro mecanismo puxe ou empurre o corpo em direção ao centro da trajetória com uma força $\vec{F}_c$ (veja a figura ao lado), o corpo não continuará em trajetória circular. Esta força resultante que atua no objeto em movimento circular é denominada **força centrípeta.** O termo centrípeta significa "buscando o centro". A força centrípeta (é; não é) a força resultante que atua sobre um corpo que está em movimento circular uniforme. A sua direção é (a do raio; tangente à trajetória) e o seu sentido é para o ______________.



****

é; a do raio; o centro da trajetória

13 ■ Na realidade, qualquer corpo que esteja fazendo uma curva deve receber um "empurrão" ou "puxão" para o centro da curva. Este empurrão ou puxão é denominado __________________________.
Sem a força centrípeta o corpo (faz; não faz) uma curva.

****

força centrípeta; não faz

14 ■ Já vimos que no movimento circular uniforme a velocidade linear permanece **constante em valor,** mas muda a sua direção, pois a velocidade é tangente à trajetória. A força centrípeta que atua sobre um corpo altera (o valor; a direção) da velocidade linear.

****

a direção

15 ■ Vimos que a força centrípeta (é; não é) a força resultante sobre o corpo em movimento circular uniforme. Portanto, de acordo com a 2ª Lei de Newton, $\vec{F}_c$ = ______________________ (em termos da massa m e da aceleração $\vec{a}_c$).

****

$m \cdot \vec{a}_c$

16 ■ $\vec{F}_C = m \cdot \vec{a}_c$ Temos que $\vec{F}_c$ corresponde à ______________________, m é a massa do corpo em movimento circular; $\vec{a}_c$ é o que denominamos **aceleração centrípeta.**

****

força centrípeta

17 ■ Portanto, mesmo que o corpo esteja em MCU, ele está sendo acelerado. Esta aceleração denominada ______________________ é conseqüência do fato de a força centrípeta alterar (o valor; a direção) da velocidade linear.

****

aceleração centrípeta; direção

18 ■ A aceleração centrípeta deve ser considerada quando a velocidade linear muda de (valor; direção).

****

direção

19 ■ Quando a velocidade do movimento se altera (temos; não temos) aceleração.

****

temos

20 ■ Para haver aceleração centrípeta é preciso que a velocidade ______________________.

****

mude de direção

21 ■ Havendo mudança **apenas** no valor da velocidade (teremos; não teremos) aceleração centrípeta. Nessas condições, a partícula (pode; não pode) descrever um movimento com trajetória curva.

****

não teremos; não pode

22 ■ Do exposto, você conclui que a força centrípeta muda apenas (o valor; a direção) da velocidade.

****

a direção

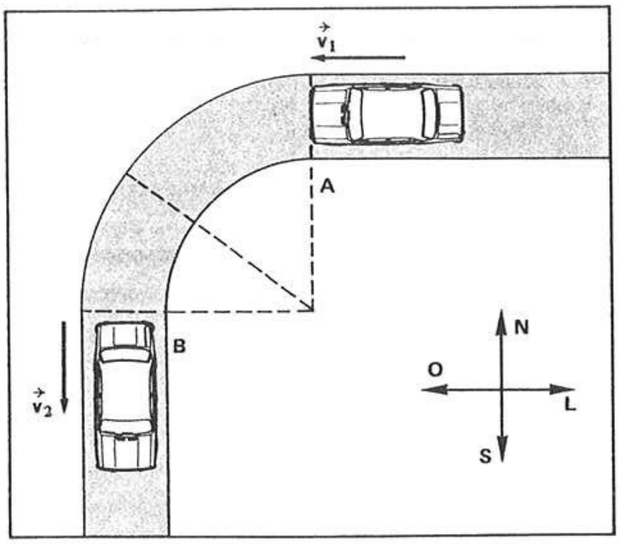
23 ■ De acordo com a 2ª Lei de Newton, a aceleração e a força sempre possuem mesma direção e sentido. Logo, a aceleração centrípeta terá direção radial e dirigida para o ______________________. O termo **radial** significa: direção do raio.

****

centro da trajetória

24 ■ Para compreendermos melhor a natureza da aceleração produzida pela força centrípeta vamos retornar a alguns conceitos básicos envolvidos. Já vimos que a força centrípeta (altera; não altera) o valor da velocidade.

Consideremos o caso ilustrado na figura ao lado. Um carro atinge o ponto A de uma curva com velocidade 50 km/h dirigida para oeste e sai desta curva com velocidade 50 km/h dirigida para o sul. O valor da velocidade (alterou; não se alterou) mas a direção e o sentido se ______________________________.



****

não altera; não se alterou; modificaram

25 ■ A velocidade (é; não é) uma grandeza vetorial. Portanto, para ela não mudar é necessário que o **seu valor,** a **sua direção** e o **seu sentido** permaneçam constantes. Se uma destas características modificar, a velocidade apresentará ______________________________. No caso acima, o valor (variou; não variou), mas ____________ e __________________________ variaram. Portanto, (ocorreu; não ocorreu) variação na velocidade vetorial.

****

é; variação; não variou; a direção; o sentido; ocorreu

26 ■ A variação de velocidade é definida por $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$, onde $\vec{v}_2$ corresponde à velocidade final e $\vec{v}_1$ à velocidade ______________________.

****

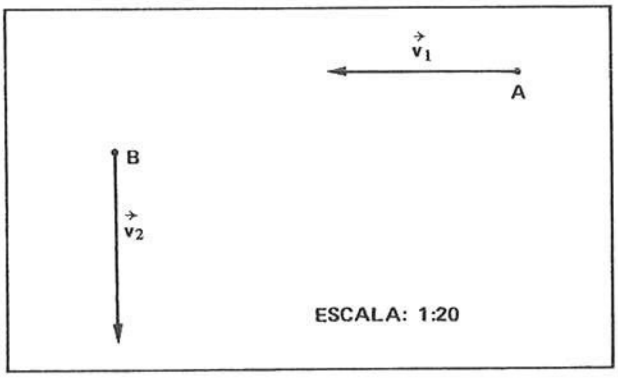
inicial

27 ■ No exemplo do carro, $|\vec{v}_2|$ = _______________ e $|\vec{v}_1|$ = _________________. O que diferencia $\vec{v}_2$ e $\vec{v}_1$ são a ____________________________________ e o __________________________________.

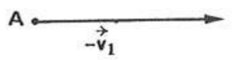
****

50 km/h; 50 km/h; direção; sentido

28 ■ Portanto, a diferença $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ deve ser obtida vetorialmente. Devemos somar ao vetor $\vec{v}_2$ o vetor oposto de $\vec{v}_1$. No quadro ao lado estão representados os vetores velocidades nos pontos A e B. Desenhe o vetor oposto a $\vec{v}_1$, isto é, o vetor $-\vec{v}_1$.



****

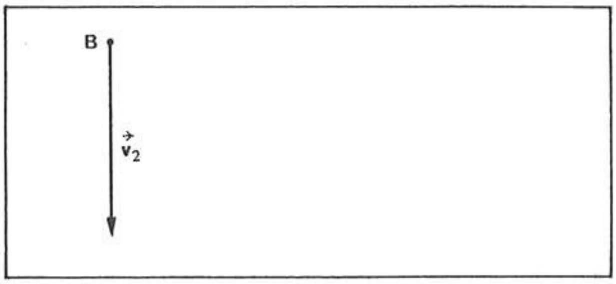


29 ■ Já vimos que para se efetuar uma soma vetorial devemos desenhar, em escala, os vetores de modo que um seja consecutivo ao outro. O vetor soma é aquele vetor que une a origem do primeiro vetor à extremidade do ____________________________.

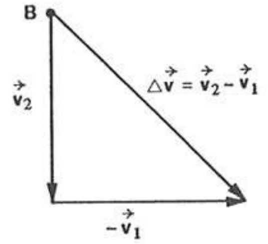
****

último

30 ■ Construa ao lado o diagrama vetorial que representa a diferença $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ e determine o vetor $\Delta\vec{v}$.



****



31 ■ O comprimento do vetor variação de velocidade é cerca de 3,5 cm. Como a escala utilizada é 1 cm = 20 km/h, a velocidade do carro sofreu uma variação de velocidade de aproximadamente 70 km/h. Esta variação entretanto (implica; não implica) na modificação do valor da velocidade, mas sim em sua__________________.

****

não implica; direção

32 ■ Portanto, se a curva foi realizada em um intervalo de tempo Δt, então a aceleração média deve ser definida por $\vec{a}_m$ =________________.

****

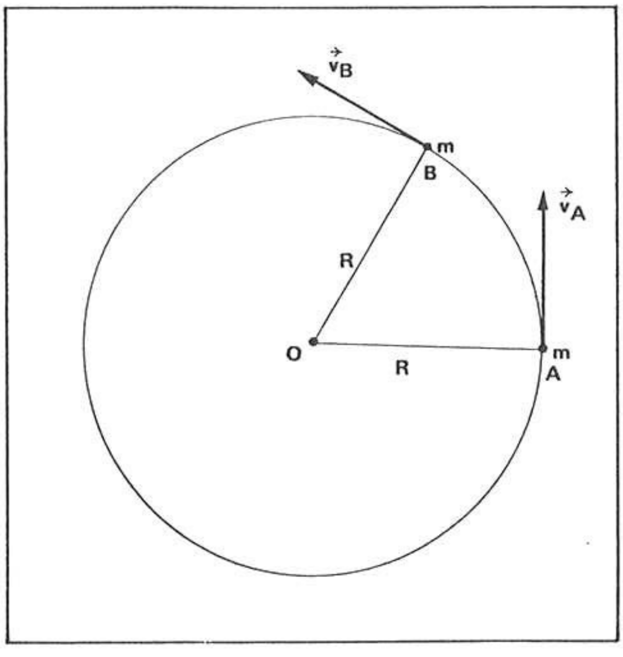
$$\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

33 ■ Fica assim mostrado que mesmo que a velocidade não apresente modificação em seu valor, haverá aceleração desde que sua direção seja (constante; variável).

****

variável

34 ■ Vamos determinar agora como a aceleração centrípeta está relacionada com a velocidade linear e o raio de curvatura. Na figura ao lado está representado um objeto em movimento circular. No ponto A sua velocidade é________________e no ponto B, sua velocidade é________________. Se o movimento é uniforme, então o valor de $\vec{v}_A$ (é; não é) igual ao valor de $\vec{v}_B$.



****

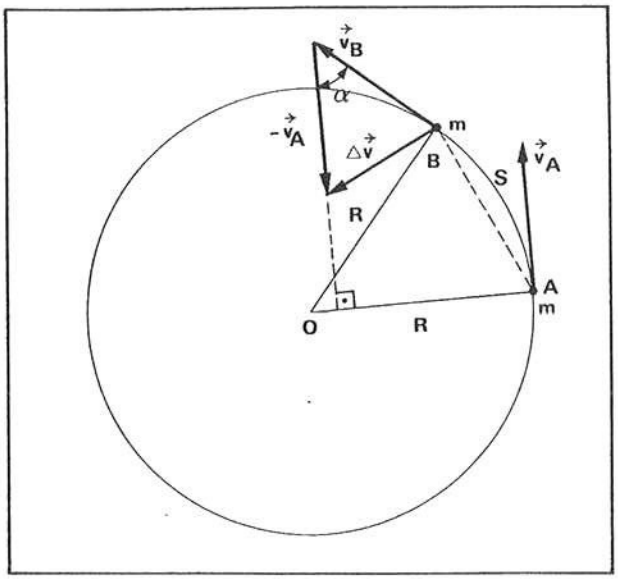
$\vec{v}_A$; $\vec{v}_B$; é

35 ■ Seja Δt o intervalo de tempo que a massa m gastou para ir de A até B. A velocidade modificou sua direção e portanto existe uma aceleração. Neste intervalo de tempo a aceleração média pode ser escrita por: $\vec{a}_m$ = ____________.

****

$\dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$

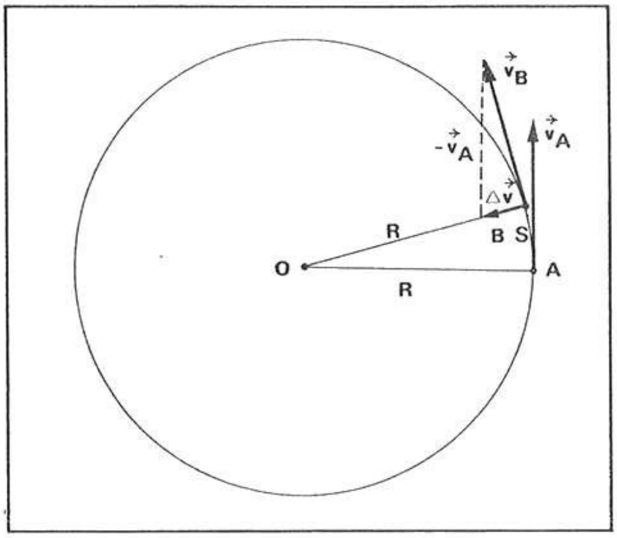
36 ■ Veja a figura ao lado. Nela foi desenhado o diagrama vetorial de $\Delta\vec{v} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$.
Observe que o triângulo OAB é semelhante ao triângulo cujos lados são $\vec{v}_B$, $-\vec{v}_A$ e $\Delta\vec{v}$, já que ambos são isósceles e o ângulo $A\hat{O}B$ = ________.



****

α

37 ■ Nós estamos interessados na aceleração instantânea no ponto A. Para tanto vamos considerar um ponto B bem próximo de A. O diagrama ao lado representa um ponto B próximo de A. Compare com o item anterior e observe que a direção do vetor variação de velocidade $\Delta\vec{v}$ tende a coincidir com a direção do raio OB. O triângulo OAB (é; não é) semelhante ao triângulo formado pelos vetores $\vec{v}_B$, $-\vec{v}_A$ e $\Delta\vec{v}$.



****

é

38 ■ Quando o ponto B é considerado cada vez mais próximo de A, a duração do intervalo de tempo Δt é cada vez (maior; menor). Isto é, à medida que o ponto B se aproxima de A, o intervalo de tempo Δt tende a zero. Nestas condições a aceleração média vai tendendo à aceleração instantânea no ponto A. À medida que o ponto B considerado é próximo do ponto A, a variação de velocidade $\Delta\vec{v}$ fica na direção do raio. Isto revela que no ponto A a variação de velocidade $\Delta\vec{v}$ (é; não é) na direção do raio e dirigida para o centro da circunferência. Portanto, no movimento circular uniforme a aceleração centrípeta é radial e dirigida para o centro.

****

menor; é

39 ■ Bem próximo do ponto A, o comprimento do arco que liga A a B torna-se aproximadamente igual ao comprimento da corda AB. Veja a figura do item 37. Na figura do item 36, o comprimento de arco que vai de A até B (é; não é) maior que o comprimento da corda AB.

****

é

40 ■ Portanto, o intervalo de tempo Δt que o móvel leva para ir de A até B, quando B é próximo de A é dado por $\Delta t = \frac{S}{v}$ onde v é a velocidade linear da massa m. Portanto, a aceleração centrípeta, que é dada por $a_c = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, pode ser expressa por a_c = ____________________ (substitua o valor de Δt).

* * * * * * * * * * * *

$\frac{(\Delta v) \cdot (v)}{S}$

41 ■ Vamos comparar agora o triângulo OAB, que é semelhante ao triângulo formado pelos vetores $\vec{v}_B$, $-\vec{v}_A$ e $\Delta\vec{v}$. Quando o ponto B é bem próximo de A, já analisamos que o comprimento do arco S é igual ao comprimento da corda AB (veja figura do item 37). No triângulo OAB podemos escrever que:

$$\frac{AB}{R} = \frac{S}{R}$$

quando A é bem ____________________ de B. No triângulo formado pelos vetores, seja v o módulo da velocidade. Como os triângulos ____________________ são semelhantes, podemos escrever a razão entre os lados correspondentes. Logo:

$$\frac{S}{R} = \text{\_\_\_\_\_\_\_\_} \quad \text{(em termos de v e } \Delta v\text{).}$$

* * * * * * * * * * * *

próximo; OAB e o dos vetores; $\frac{\Delta v}{v}$

42 ■ Portanto, para A bem próximo de B, $\frac{S}{R} = \frac{\Delta v}{v}$. Então, Δv = ____________________.

* * * * * * * * * * * *

$\frac{v \cdot S}{R}$

43 ■ No item 40 vimos que a_c = ____________________ e portanto substituindo-se o valor de Δv, teremos finalmente a_c = ____________________.

* * * * * * * * * * * *

$\frac{(\Delta v) \cdot (v)}{S}$; $\frac{v^2}{R}$

44 ■ Finalmente temos uma expressão simples para a aceleração centrípeta:

$$a_c = \frac{v^2}{R}$$

onde v é a velocidade linear do corpo em movimento circular e R é o raio da trajetória. A aceleração centrípeta tem portanto as seguintes características: direção ____________________ ; sentido ____________________ ; módulo ____________________.

* * * * * * * * * * * *

radial; para o centro da trajetória; $\frac{v^2}{R}$

45 ■ Portanto, a força centrípeta, que é a força resultante sobre o corpo em movimento circular uniforme, é dada por F_c = ____________________ (em função de m; v e R).

* * * * * * * * * * * *

$\frac{m \cdot v^2}{R}$

46 ■ A força centrípeta é a força resultante necessária para manter um corpo em movimento circular uniforme. A sua direção é ______________ e seu sentido é para o ______________ e o seu módulo é dado pela expressão F_c = ______________ .

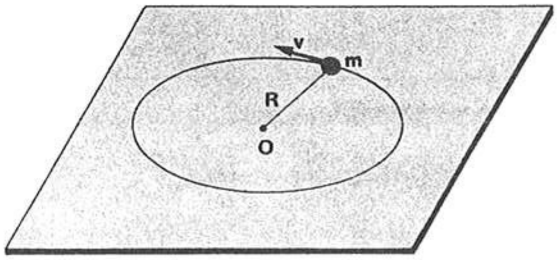
****

radial; centro da trajetória; $m \frac{v^2}{R}$

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

Um corpo de massa m = 2,0 kg é preso na extremidade de um fio de comprimento 0,50 m. A outra extremidade é presa num pino O conforme ilustra a figura ao lado. O corpo é posto a girar com velocidade linear v = 2,0 m/s. Supondo a mesa sem atrito, determinar:



a) a aceleração centrípeta;
b) a força que o fio exerce sobre o corpo;
c) a freqüência do movimento;
d) o período do movimento;
e) a velocidade angular do movimento.

1 ■ A aceleração centrípeta é dada pela expressão: a_c = ______________. Como v = ______________ e R = ______________, então a aceleração centrípeta vale a_c = ______________.

****

$\frac{v^2}{R}$; 2,0 m/s; 0,50 m; 8,0 m/s^2

2 ■ A força centrípeta é dada por $F_c = m \cdot a_c$. Portanto, F_c = ______________.

****

16 N (é a força que o fio exerce sobre o corpo)

3 ■ Como a massa executa movimento circular uniforme, v = ______________ (em função de 2π, R e f). Portanto, f = ______________ Hz.

****

$2\pi R f$; $\cong$ 0,64 Hz

4 ■ O período é $T = \frac{1}{f}$, portanto T = ______________ s.

****

$\cong$ 1,6 s.

PROBLEMA 2

No problema 1, qual seria a intensidade da força centrípeta se a massa ao invés de 2,0 kg fosse 4,0 kg?

1 ■ A aceleração centrípeta só depende da velocidade e do raio, pois a_c = ________________ . Portanto, como a velocidade e o raio permanecem o mesmo, a aceleração centrípeta continua valendo a_c = ______________ .

****

$\frac{v^2}{R}$; 8,0 m/s^2

2 ■ Portanto, como $F_c = m \cdot a_c$ e se a massa é agora m = 4,0 kg, então F_c = ______________ N. Quer dizer que mantendo a velocidade e o raio da trajetória, se a massa do corpo é duplicada a intensidade da força centrípeta ________________________ .

****

32; duplica

PROBLEMA 3

No problema 1, qual seria a força centrípeta necessária para manter a massa em movimento circular uniforme se a velocidade linear fosse duas vezes maior, isto é, v = 4,0 m/s e as outras grandezas fossem mantidas?

1 ■ Se a velocidade duplica, a aceleração centrípeta deve (duplicar; quadruplicar) pois a_c = ______________ . Senão vejamos, a_c = ______________ m/s.

****

quadruplicar; $\frac{v^2}{R}$ (a velocidade está elevada ao quadrado); 32

2 ■ Portanto a força centrípeta deve ficar __________ vezes maior, porque a aceleração ______________ . Portanto, F_c = ________ N.

****

4; tornou-se 4 vezes maior; 64

PROBLEMA 4

Qual seria, no problema 1, a intensidade da força centrípeta se mantidas a massa e a velocidade, porém com o raio da trajetória circular duas vezes maior? R = 1,0 m.

1 ■ Se o raio duplicou, a aceleração centrípeta ficou (duas vezes; quatro vezes) menor, pois o raio está no denominador da expressão que define a aceleração centrípeta. Vejamos: a_c = ______________ m/s^2.

****

duas vezes; 4,0

2 ■ Portanto, se a aceleração ficou 2 vezes menor, e como a massa continua a mesma, então a força centrípeta deve ficar ______________ menor. Então, F_c = ________ N.

****

duas vezes; 8,0

PROBLEMA 5

Um objeto de massa 10 kg move-se em movimento circular uniforme com freqüência f = 1 800 rpm e possui raio R = 2,0 m. Determinar a força centrípeta necessária para mantê-lo em movimento circular uniforme.

1 ■ A força centrípeta é dada pela expressão: F_c = ____________. A velocidade linear v = ____________ (em função da freqüência e do raio).

****

$m \cdot \frac{v^2}{R}$; $2\pi R f$

2 ■ Substituindo-se o valor de v na expressão da força centrípeta teremos então: F_c = ______________________.

****

$$F_c = m \cdot \frac{(2\pi R f)^2}{R} = m \cdot \frac{4\pi^2 R^{\cancel{2}} f^2}{\cancel{R}} = m(4\pi^2 Rf^2) = 4\pi^2 mRf^2$$

3 ■ Portanto, substituindo-se os valores, teremos: F_c = ______________________________.

****

$F_c = 72\,000\,\pi^2\ N \cong 7{,}1 \times 10^5\ N$

PROBLEMA 6

Um corpo de massa 0,20 kg move-se numa circunferência de raio R = 0,20 m com velocidade angular constante igual a 4,0 rad/s.
Determinar:
a) a aceleração centrípeta;
b) a força centrípeta sobre o corpo.

1 ■ A aceleração centrípeta é a_c = __________ (em função de v e R). Como v = __________ (em função de ω e R), então teremos, após substituição conveniente, a_c = __________ (em função de ω e R).

****

$\frac{v^2}{R}$; ωR; $a_c = \frac{(\omega R)^2}{R} = \omega^2 R$

2 ■ Logo, a aceleração centrípeta valerá, a_c = __________.

****

3,2 m/s²

3 ■ Portanto, a força centrípeta necessária é F_c = ________ N.

****

$F_c = m \cdot a_c = 0{,}20\,(kg) \cdot 3{,}2\,(m/s^2) = 0{,}64\,N$

PROBLEMA 7

Um carro de 1 600 kg faz uma curva cujo raio de curvatura é 20 m com velocidade igual a 10 m/s. Qual deve ser a intensidade da força centrípeta para mantê-lo na curva? Quem fornece esta força?

1 ■ Pela 1ª Lei de Newton, se nenhuma força resultante atuar sobre o carro, ele se deslocará em linha reta. Se o asfalto que cobre a curva estivesse coberto de óleo, o carro dificilmente conseguiria realizar a curva com perfeição. Qual foi a influência do óleo? O óleo elimina praticamente o atrito. É o atrito que mantém o carro na curva. Ele tende deslizar para fora da curva e o atrito atua no sentido contrário, isto é, tende a puxa-lo para o ____________________. (É; Não é) o atrito quem fornece a força centrípeta necessária para o carro fazer a curva.

****

centro da curva; É

2 ■ Portanto, como $F_{at} = F_c$, a intensidade da força de atrito é: ____________________.

****

$$F_{at} = F_c = 1\,600\,(kg) \cdot \frac{(10\,m/s)^2}{20\,m} = 8{,}0 \times 10^3\,N$$

PROBLEMA 8

Admita que a Terra fosse uma esfera perfeita. Qual seria a velocidade de um satélite artificial, cuja órbita fosse próxima da superfície da Terra ($R = 6{,}4 \times 10^6$ m)? Supor nula a resistência do ar.

1 ■ Para que o satélite execute movimento circular (é; não é) necessário que sobre ele atue uma força centrípeta.

****

é

2 ■ A força centrípeta sobre o satélite está dirigida para o ____________________.

****

centro da Terra.

3 ■ Para que o satélite permaneça em órbita é necessário então que alguém exerça esta força. A Terra (atrai; não atrai) o satélite para o seu centro. Portanto, a força responsável pela força centrípeta sobre o satélite é a própria Terra. Nesse caso o peso do corpo está sendo utilizado como força ____________________.

****

atrai; centrípeta

4 ■ Seja m a massa do satélite e g o campo gravitacional próximo à superfície da Terra. Portanto o peso do satélite é P = ____________.

★★★★★★★★★★★★

$m \cdot g$

5 ■ Já vimos, no item 3, que o próprio peso do satélite pode funcionar como força centrípeta. Portanto, F_c = ________ (em função da massa e da gravidade).

★★★★★★★★★★★★

mg

6 ■ Como F_c = ______________ (em função de m; v e R).

★★★★★★★★★★★★

$\frac{mv^2}{R}$

7 ■ Então, mg = ______________. Logo, v = ______________.

★★★★★★★★★★★★

$\frac{mv^2}{R}$; $\sqrt{Rg}$

8 ■ Substituindo-se os valores $R = 6{,}4 \times 10^6$ m e $g = 10$ N/kg, teremos v = ______________________________.

★★★★★★★★★★★★

$\cong 7{,}9 \times 10^3$ m/s, isto é, perto de 28 500 km/h

9 ■ Então, se você lançar uma pedra horizontalmente com velocidade de 28 500 km/h e supondo nula a resistência do ar, a pedra entrará em órbita ao redor da Terra, próximo da superfície. Mas isto não ocorre na realidade devido ao ________________________________ do ar, que dissipa energia.

★★★★★★★★★★★★

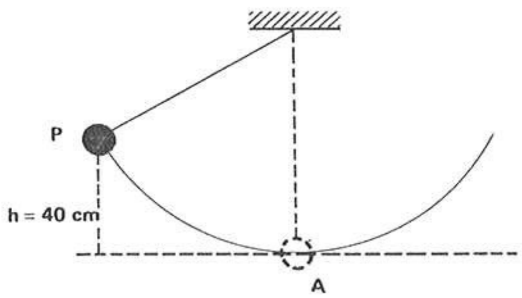
atrito ou resistência

PROBLEMA 9

Um pêndulo de comprimento L = 80 cm e massa m = 0,20 kg, é abandonado do ponto P conforme ilustra o esquema. Determinar, admitindo-se que a energia mecânica se conserve:

a) a força centrípeta sobre a massa m quando ela estiver passando pelo ponto A;

b) a intensidade da força que traciona o fio quando a massa estiver passando por A.



1 ■ A força centrípeta sobre a massa m, quando ela estiver passando pelo ponto A, é dada por F_c = ______________ ______________________________ (em termos de m, v_A e R).

★★★★★★★★★★★★

$\frac{m v_A^2}{R}$, onde v_A é a velocidade no ponto A

2 ■ Para se determinar a velocidade da massa no ponto A devemos aplicar a Lei da Conservação da Energia Mecância, pois o problema admite o atrito desprezível. Os pontos a serem considerados são P e A. Portanto, a energia mecânica no ponto P é igual à ______.

****

energia mecânica no ponto A

3 ■ Quando o pêndulo está em P, podemos escrever E = ______ + ______.

****

mgh_P; $\frac{1}{2}\ mv_P^2$

4 ■ Para o ponto A podemos escrever E = ______ + ______.

****

mgh_A; $\frac{1}{2}\ mv_A^2$

5 ■ Portanto, $mgh_P + \frac{1}{2}\ mv_P^2 =$ ______ + ______.

****

mgh_A; $\frac{1}{2}\ mv_A^2$

6 ■ Os valores das grandezas são: m = ______ ; g = 10 N/kg; h_P = ______ ; v_P = ______ ; h_A = ______ e v_A = ? (nossa incógnita).

****

0,20 kg; 0,40 m; 0 (repouso); 0 (nível de referência)

7 ■ Substituindo-se os valores na expressão do item 5, teremos: v_A = ______.

****

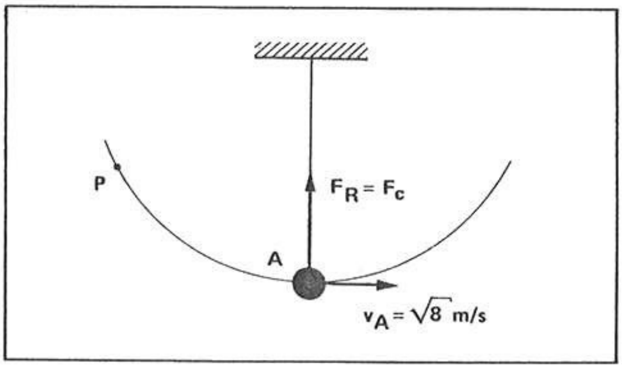
$\sqrt{8}$ m/s = $2\sqrt{2}$ m/s

8 ■ Portanto, a força centrípeta sobre a massa no ponto A é F_c = ______ N.

****

2,0 N

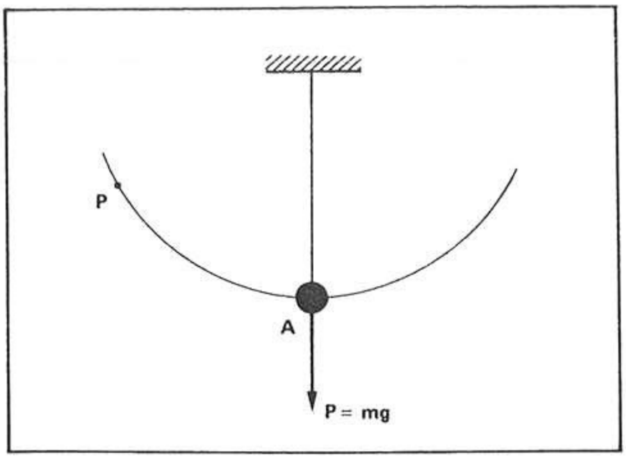
9 ■ Na figura ao lado está ilustrada a passagem da massa m pelo ponto A. Já vimos que a força centrípeta (é; não é) a força resultante sobre a massa, e que ela atua para o centro da curva. Para determinarmos a força que traciona o fio devemos determinar antes as forças que atuam sobre a massa, pois a resultante já sabemos que vale ______ N.



****

é; 2,0

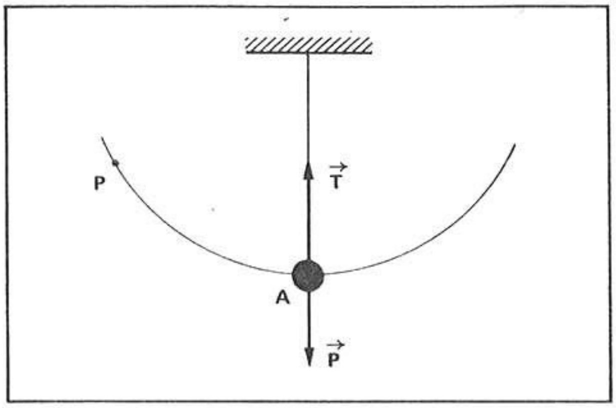
10 ■ Na figura ao lado temos o pêndulo passando pelo ponto A. A Terra (exerce; não exerce) força sobre a massa pendular. Esta força (é; não é) o peso. Portanto, a Terra puxa verticalmente para baixo, com uma força P = ______________.



* * * * * * * * * * * *

exerce; é; mg

11 ■ Mas o peso não é a única força que atua no pêndulo, porque o fio também exerce uma força dirigida para cima. Portanto, o fio (puxa; não puxa) a massa m para cima. O valor dessa força é igual ao da força que traciona o fio. A força $\vec{T}$ deve ser mais intensa que o peso $\vec{P}$, pois já vimos que no ponto A a força resultante, que é a força centrípeta, atua para cima. O vetor $\vec{T}$ representa a força do fio sobre a massa.



* * * * * * * * * * * *

puxa.

12 ■ A força resultante é igual a força centrípeta, mas a força resultante resulta da soma vetorial da tração $\vec{T}$ e do peso $\vec{P}$; como elas são opostas, a intensidade da resultante será: F_R = __________ - __________.

* * * * * * * * * * * *

T; P

13 ■ Logo, $\frac{m v^2}{R}$ = ________ - ________.

* * * * * * * * * * * *

T; mg

14 ■ Substituindo-se os valores teremos: T = ________________ N.

* * * * * * * * * * * *

2 = T - 2 donde T = 4,0 N

15 ■ Portanto, no ponto A a força centrípeta é F_c = __________ N e a força que traciona o fio é T = __________ N.

* * * * * * * * * * * *

2,0 N; 4,0 N

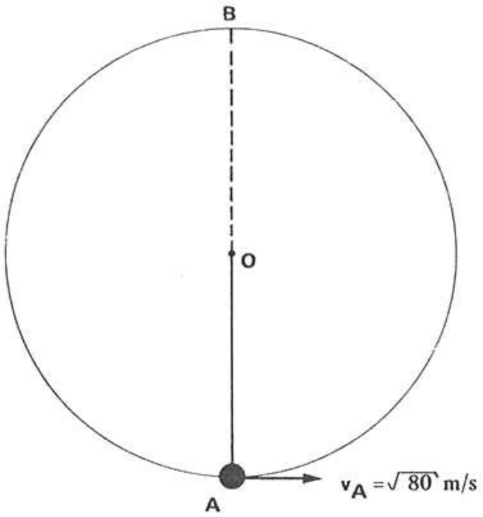
PROBLEMA 10

Um corpo de massa $m = 0{,}20$ kg é amarrado na extremidade de um fio de comprimento 1,6 m e é posto a girar num plano vertical, como indica a figura ao lado. Ao passar pelo ponto A, a massa possui a velocidade indicada na figura. Desprezando-se o atrito, determinar:

a) a velocidade do corpo ao passar pelo ponto B;

b) a força centrípeta sobre o corpo ao passar pelo ponto B;

c) o valor da força que traciona o fio quando o corpo estiver passando pelo ponto B.



1 ■ O sistema é ideal. Então podemos calcular a velocidade do corpo em B aplicando a Lei da Conservação de Energia. Portanto, $E_B = E_A$ ou $\frac{1}{2}\, m v_B^2 + m g h_B =$ ____________ + ____________ .

****

$\frac{1}{2}\, m v_A^2$; $m g h_A$

2 ■ Os valores das grandezas são: $m =$ __________ ; $g =$ __________ ; $v_A =$ __________ ; $h_A =$ __________ ; $h_B =$ __________ e $v_B = ?$ (nossa incógnita).

****

0,20 kg; 10 N/kg; $\sqrt{80}$ m/s; 0 (nível de referência); 3,2 m (duas vezes o comprimento do fio, isto é, o diâmetro da trajetória.)

3 ■ Substituindo-se os valores teremos $v_B =$ __________ .

****

4,0 m/s

4 ■ Portanto, no ponto B a força centrípeta é $F_c =$ __________ N.

****

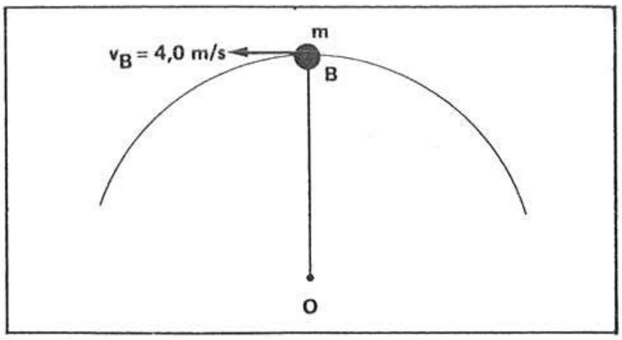
2,0

5 ■ Portanto, a força resultante sobre a massa m no ponto B é $F_R =$ ________________ e está dirigida (para baixo; para cima).

****

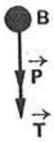
2,0 N (força centrípeta); para baixo (isto é, para o centro da curva)

6 ■ Para se determinar a força que traciona o fio, devemos identificar as forças que atuam sobre a massa no ponto B. Já sabemos que a força resultante vale ________________ N e atua para (baixo; cima).
As forças que atuam **sobre a massa** são:
a) o peso mg (indique no gráfico);
b) a força T exercida pelo fio (indique no gráfico).



****

2,0; baixo;



7 ■ Logo, no ponto B, as forças $\vec{P}$ e $\vec{T}$ são dirigidas para baixo. Como a força centrípeta é a força resultante, então F_c = ____________ (em termos de $\vec{P}$ e $\vec{T}$). Em módulo, teremos F_c = ______________.

****

$\vec{T} + \vec{P}$; T + P (soma pois ambas atuam no mesmo sentido)

8 ■ Como P = __________ N e F_c = ____________N, então T = ____________N.

****

2,0; 2,0; 0

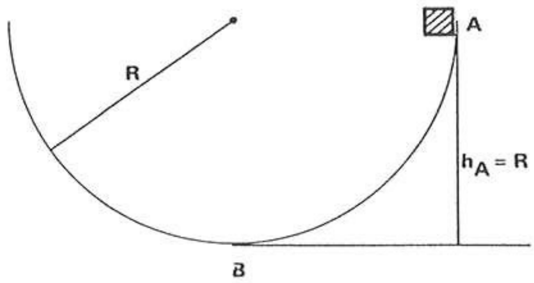
9 ■ Nas condições do problema, a força que traciona o fio é zero; isto significa que o próprio peso do corpo é quem fornece a força centrípeta necessária para fazer a curva. Para uma velocidade maior que 4,0 m/s, a força que traciona o fio deve ser (igual; diferente) de zero.

****

diferente

PROBLEMA 11

Um pequeno bloco de massa m = 0,10 kg é abandonado a partir do repouso no ponto A, conforme ilustra a figura. O bloco desliza sobre a superfície cilíndrica de raio R = 2,0 m. Quando o bloco estiver passando pelo ponto mais baixo, determinar, supondo o sistema sem atrito:
a) a força centrípeta sobre m;
b) a reação da superfície sobre o bloco.



1 ■ O movimento da massa m é circular, pois sua trajetória corresponde a uma circunferência de raio R = ________
Quando a massa estiver passando por B, a força resultante sobre ela é a força ____________________

****

2,0 m; centrípeta

2 ■ Para determinar a força centrípeta sobre a massa no ponto B, é necessário determinar a sua ____________ .
Como o sistema é sem atrito, então $E_A = E_B$ ou ________ + ________ = ________ + ________ .

* * * * * * * * * * * *

velocidade; mgh_A; $\frac{m v_A^2}{2}$; mgh_B; $\frac{m v_B^2}{2}$

3 ■ Os valores das grandezas são: m = ________ ; g = ________ ; h_A = ________ ; h_B = ________ ;
v_A = ________ e v_B = ? (nossa incógnita).

* * * * * * * * * * * *

0,10 kg; 10 N/kg; 2,0 m; 0; 0;

4 ■ Substituindo-se os valores teremos v_B = ____________ .

* * * * * * * * * * * *

$\sqrt{40}$ m/s

5 ■ Portanto, a força centrípeta sobre a massa, quando ela estiver passando por B é F_c = ________ N e está orientada para o ____________ .

* * * * * * * * * * * *

2,0 N; centro da curva

■ Ao passar pelo ponto B, a força resultante sobre o bloco vale ________ N e está orientada (para cima; para baixo). Neste ponto, o bloco (comprime; não comprime) a superfície para baixo.

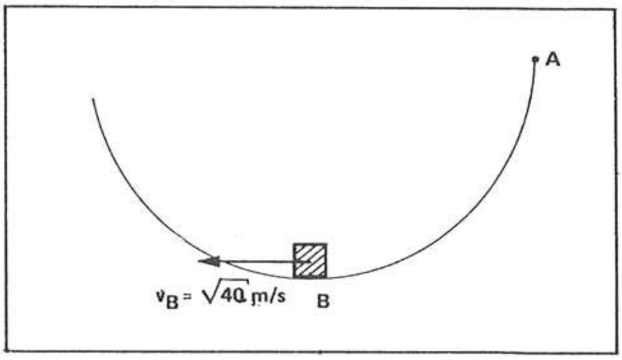
* * * * * * * * * * * *

2,0 N; para cima; comprime

7 ■ Se o bloco, ao passar por B, comprime a superfície para baixo, então a superfície reage e (empurra; não empurra) o bloco para ____________ (3ª Lei de Newton - Ação e Reação)

* * * * * * * * * * * *

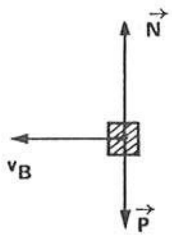
empurra; cimà



8 ■ Vamos simbolizar a reação da superfície sobre o bloco com a letra N. Na figura ao lado, desenhe o vetor correspondente à reação N. No bloco, além da reação da superfície, age ainda a força gravitacional, isto é, o peso do corpo. Desenhe também esta força.

* * * * * * * * * * * *

($\vec{N}$ maior que $\vec{P}$ porque a resultante é para cima)



9 ■ Portanto, a força resultante sobre o bloco é F_R = ________ (em termos dos módulos N e P).

* * * * * * * * * * * *

N - P

10 ■ Como a força centrípeta = força resultante, tem-se que $F_c = N - P$; logo, N = ______________________________ Newtons.

* * * * * * * * * * * *

$N = F_c + P = 2{,}0 + 0{,}1 \times 10 = 3{,}0$

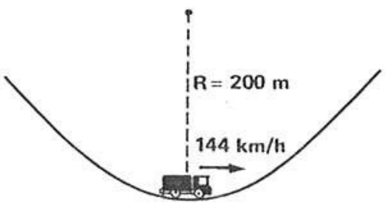
11 ■ O peso do bloco é P = __________ Newtons e a reação da superfície no ponto B é N = __________ Newtons. O resultado mostra que o bloco sofre da superfície uma força equivalente a 3 vezes o seu peso e a força resultante sobre o bloco é $F_R = F_c$ = __________ Newtons.

* * * * * * * * * * * *

1,0; 3,0; 2,0

PROBLEMA 12

Um carro atinge uma descida e no ponto mais baixo sua velocidade é 144 km/h. Sendo 200 m o raio de curvatura no ponto mais baixo, qual é a reação do assento sobre o motorista cuja massa é m = 70 kg? Admitir g = 10 N/kg.



1 ■ Neste ponto o motorista possui velocidade v = __________ m/s, igual à velocidade do carro, e faz uma curva cujo raio é R = __________ m.

* * * * * * * * * * * *

40; 200

2 ■ Portanto, sobre o motorista atua uma força resultante que é igual à força ______________________.
Logo, F_R = ______________________________.

* * * * * * * * * * * *

centrípeta; $F_R = F_c = \frac{m v^2}{R} = 560$ N

3 ■ Esta força resultante está dirigida para (baixo; cima), isto é, no caso, para o centro de curvatura.

* * * * * * * * * * * *

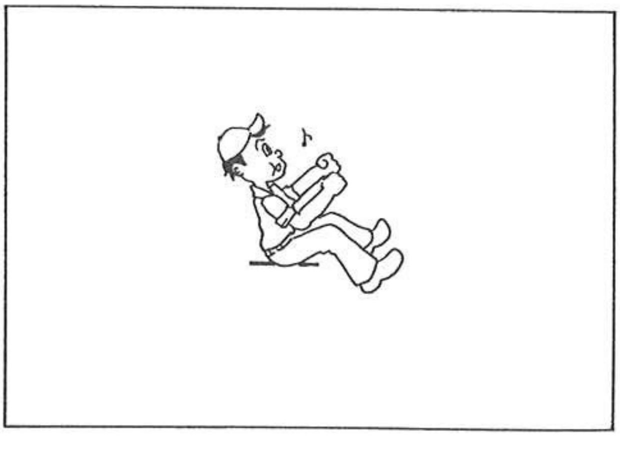
cima

4 ■ Para se determinar a reação do assento do carro sobre o motorista, devemos identificar as forças que atuam sobre ele. Já sabemos que a resultante vale ______________ N e atua para ________________.

* * * * * * * * * * * *

560 N; cima

5 ■ As duas forças que atuam sobre o motorista são:
a) o seu próprio peso $\vec{P}$;
b) a reação $\vec{N}$ do assento.
No desenho ao lado,esquematize tais forças.



****

6 ■ Portanto, a força resultante é 560 N = ______________ (em termos dos módulos de N e P)

****

560 = N – P

7 ■ Logo, N = ______________, pois P = m · g = ______________.

****

1 260 N; 700 N

3 ■ Portanto, o assento irá empurrar o motorista para o centro da curva com força de ______________ N, isto é, com força quase duas vezes mais intensa que o seu próprio peso.

****

1 260 N

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

1 ■ É natural que um objeto isolado mova-se em trajetória curva? Explique.

2 ■ O que diz a 1ª Lei de Newton?

3 ■ Quando um objeto descreve um movimento circular preso na extremidade de um fio, este exerce força sobre o objeto? Explique.

4 ■ Em que sentido e direção atua esta força?

5 ■ O que acontece quando o fio se rompe? O objeto continua em trajetória circular?

6 ■ Qual nome que se dá à força que mantém um objeto em movimento circular?

7 ■ Um objeto pode fazer uma curva se a força resultante sobre ele é nula?

8 ■ Qual o significado do termo **centrípeta?**

9 ■ Qual é a direção e o sentido de ação da força centrípeta?

10 ■ A força centrípeta é a força resultante sobre um objeto em movimento circular uniforme?

11 ■ Um objeto em movimento circular uniforme está em equilíbrio? Explique.

12 ■ Como se denomina a aceleração resultante num objeto em movimento circular uniforme? Qual característica da velocidade (módulo, direção ou sentido) deve variar para aparecer esta aceleração?

13 ■ Um objeto em movimento circular uniforme está acelerado? Explique.

14 ■ O que é aceleração centrípeta?

15 ■ Qual é a função da força centrípeta? Aumentar a velocidade linear? Modificar a direção do movimento?

16 ■ Qual é a expressão matemática que define a aceleração centrípeta? Identifique cada elemento desta expressão.

17 ■ Qual é a expressão da força centrípeta? Identificar os elementos da expressão.

18 ■ No SI qual é a unidade de aceleração centrípeta? E de força centrípeta?

19 ■ A aceleração centrípeta e aceleração angular representam a mesma coisa? Qual a diferença entre elas?

20 ■ Qual a diferença entre aceleração linear e aceleração centrípeta?

21 ■ Qual delas, aceleração linear ou centrípeta, aparece por causa da mudança na direção da velocidade? Qual delas aparece por causa do aumento ou diminuição do valor da velocidade?

22 ■ Quando você gira uma pedra presa num fio, quem fornece a força centrípeta necessária para manter a pedra em movimento circular?

23 ■ Quando um carro faz uma curva numa estrada construída num plano horizontal, quem fornece a força centrípeta para tal? Explique.

24 ■ De quanto aumenta a força centrípeta quando a massa é triplicada e as outras grandezas permanecem constantes?

25 ■ Por quanto fica aumentada a força centrípeta se somente a velocidade triplicar?

26 ■ Por quanto fica modificada a força centrípeta se o raio de curvatura duplicar?

27 ■ A força centrípeta sobre um objeto vale 40 N. Quando valerá a força centrípeta se a velocidade é só ela quadruplicar?

28 ■ Para um satélite em movimento circular ao redor da Terra, quem fornece a força centrípeta necessária?

Após isso, você deve estar apto para:

a. descrever, em termos de força, a condição para que um corpo execute movimento circular.
b. identificar e determinar o valor da força que mantém um corpo em movimento circular.
c. calcular aceleração centrípeta.
d. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Qual é a aceleração centrípeta de um corpo que, com velocidade linear de 10 m/s, gira numa circunferência de raio 2,0 m?

2 ■ Qual é a força centrípeta necessária para manter um corpo de massa m = 3,0 kg movendo-se em MCU numa circunferência de raio 2,0 m, com velocidade linear de 4,0 m/s?

3 ■ A força centrípeta necessária para manter um objeto de massa 10 kg numa curva de raio R = 4,0 m é de 4 000 N. Com que velocidade o corpo faz a curva?

4 ■ Um corpo de massa 5,0 kg preso numa das extremidades de um fio é posto a girar num plano horizontal numa trajetória circular de raio 50 cm. Se a velocidade linear do objeto é 10 m/s, qual é a força centrípeta necessária para mantê-lo em movimento? Qual a intensidade da força que traciona o fio?

5 ■ A força máxima que um fio pode suportar, sem se romper, tem intensidade igual a 40 N. Qual é a máxima velocidade linear que se pode imprimir a uma massa de 1,0 kg presa na extremidade do fio e posta a girar numa circunferência de raio igual a 0,40 m?

6 ▪ Um corpo de massa m executa movimento circular uniforme de raio R e velocidade angular ω. Exprimir em função de ω e de R:

a) a velocidade linear v;

b) a aceleração centrípeta a_c;

c) a força centrípeta F_c.

7 ▪ Uma partícula de massa 2,0 kg move-se em MCU de freqüência igual a 50 hertz. Se o raio da trajetória é R = 2,0 m, qual é a força centrípeta necessária para manter o movimento?

8 ▪ Um carro faz uma curva de raio R = 100 m com velocidade de 72 km/h. Sendo 1 000 kg a massa do carro, qual é a intensidade da força de atrito entre os pneus e o pavimento? Qual é a intensidade da força centrípeta?

9 ▪ Uma pedra de massa 0,20 kg gira em MCU num plano horizontal. O raio da trajetória é R = 10 m e uma volta completa é realizada em 5,0 s.

a) Qual é o valor da velocidade linear?

b) Qual é a intensidade da força resultante sobre a pedra? Qual a sua direção e sentido?

c) Qual é a intensidade da força centrípeta?

10 ▪ Um elétron ($m = 9,0 \times 10^{-31}$ kg) movimenta-se com velocidade linear constante valendo $6,28 \times 10^{4}$ m/s e é forçado a se mover ao longo de uma trajetória circular, pela aplicação de um campo magnético. Se o período de revolução é $2,0 \times 10^{-2}$ s, qual é:

a) o raio da trajetória ao longo da qual ele se move;

b) o valor da força magnética que o mantém em movimento circular.
Qual é a direção e o sentido desta força?

11 ▪ Uma partícula alfa (dois prótons e dois nêutros) é apanhada em um campo magnético que a força a se mover em trajetória circular de raio R = 4,0 m. A sua velocidade é constante e igual a 3,14 m/s. Se a massa de cada próton é igual a de cada néutron e corresponde a $1,67 \times 10^{-27}$ kg, calcule:

a) o período de revolução;

b) a força centrípeta e a força magnética que a mantém em MCU.

12 ▪ Um objeto de massa m = 0,050 kg é rodopiado em uma trajetória circular de raio R = 0,25 m à razão de 3 revoluções por segundo. Calcule:

a) a aceleração centrípeta do movimento;

b) a força que atundo sobre o objeto o mantém em trajetória circular.

13 ▪ O período de revolução da Lua ao redor da Terra é de aproximadamente $2,0 \times 10^{6}$ s. A distância entre o centro da Terra e o centro da Lua é cerca de $4,0 \times 10^{8}$ m. Calcule:

a) a intensidade da aceleração centrípeta da Lua;

b) a intensidade da força que mantém uma massa 2 000 kg em trajetória idêntica à da Lua.

14 ▪ Um elétron possui massa aproximada de $9,0 \times 10^{-31}$ kg. Suponha que um elétron descreva um MCU de raio R = 0,020 m à velocidade de $3,0 \times 10^{6}$ m/s. Calcule:

a) a aceleração centrípeta do movimento do elétron;

b) a força centrípeta sobre o elétron;

c) o período de revolução do elétron.

15 ▪ Um garoto gira uma pedra de massa 0,75 kg em uma trajetória circular horizontal acima de sua cabeça. Ele utiliza um fio de comprimento 1,0 metro. Admitindo-se que a pedra gira com velocidade linear constante e igual a 4,0 m/s, calcule:

a) a aceleração centrípeta da pedra;

b) o período de movimento da pedra;

c) a tração no fio.

16 ■ A força centrípeta máxima que um carro de massa 800 kg suporta ao fazer uma curva de raio R = 80 m é de 3 200 N. Qual é a máxima velocidade com que o carro, com segurança, pode realizá-la? Explique

17 ■ Um corpo de massa m = 2,0 kg move-se em trajetória circular com freqüência constante f = 180 rpm. Sendo R = 0,20 m o raio da trajetória, determinar a força centrípeta necessária para tal.

18 ■ Um carro de corrida percorre uma pista circular de raio igual 1 200 m com velocidade constante v = 30 m/s. Sendo m = 800 kg a massa total deste carro, calcular:

a) a aceleração centrípeta do movimento;

b) a intensidade da força centrípeta que age no carro.

19 ■ Um objeto de massa 0,40 kg realiza um movimento circular uniforme com velocidade angular igual a 10 rad/s. Sendo 0,30 m o raio da trajetória, determinar a força centrípeta necessária para mantê-lo em movimento circular.

20 ■ Um corpo de massa 2,0 kg descreve uma circunferência de raio 50 cm sobre uma mesa horizontal, supostamente sem atrito. O corpo está amarrado em uma das extremidades de uma corda, enquanto a outra extremidade está presa num prego, no centro da mesa. A velocidade angular do movimento é de 3,0 rad/s. Determinar:

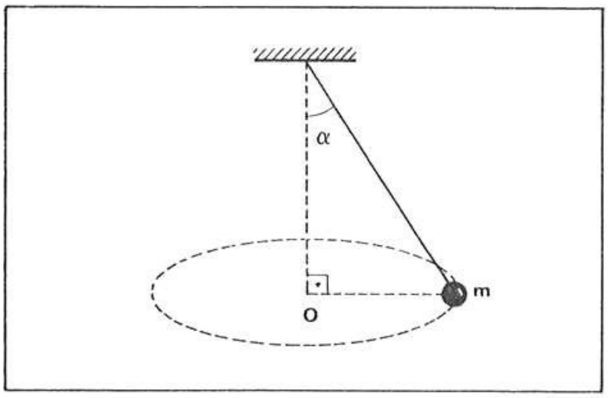
a) a aceleração centrípeta;

b) a tração na corda.

21 ■ Observando-se o movimento de uma certa partícula verificou-se que sua aceleração centrípeta era constantemente nula. O que se pode afirmar com respeito à trajetória do movimento?

22 ■ Uma partícula de massa 0,50 kg percorre um arco de circunferência de raio R = 4,0 m, com velocidade linear constante. Considerando que em 5,0 s percorre 20 metros, determine a intensidade da força centrípeta.

23 ■ Um pêndulo de massa m efetua um MCU em torno do ponto O, conforme ilustra a figura ao lado. Esquematize as forças que agem na massa m e indique a força resultante.



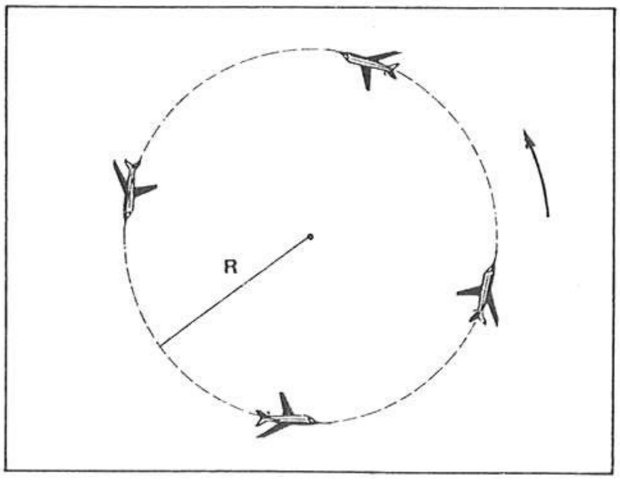
24 ■ Uma pessoa segura em sua mão uma corda na ponta da qual existe um balde cheio d'água e o faz girar num plano vertical numa trajetória circular de raio R = 2,0 m. Considerando g = 10 N/kg, determine:

a) a velocidade mínima que o conjunto deve ter no ponto mais alto da trajetória para que a água não caia;

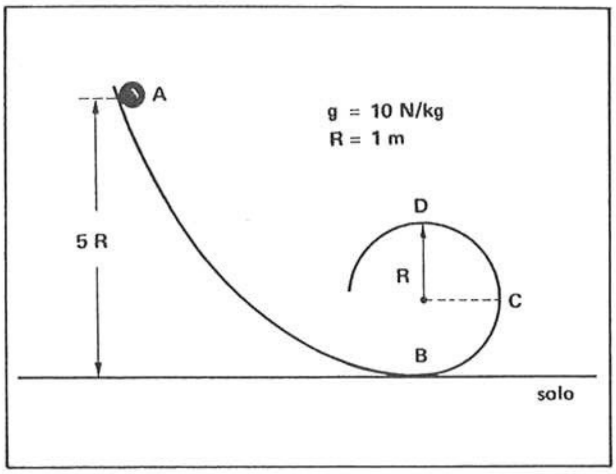
b) a velocidade que o conjunto deve ter no ponto mais baixo da trajetória para que no ponto mais alto, a velocidade seja aquela calculada no item a.

25 ■ Um disco circular gira em torno de seu eixo em rotação uniforme. Faça um esboço do gráfico que representa como o módulo da aceleração de um ponto da periferia varia com o tempo.

26 ■ Um avião realiza um "looping" (veja a figura ao lado) de raio R = 1,0 km. Determine a velocidade que ele deve possuir no ponto mais alto de sua trajetória para que nesse ponto o piloto não sofra ação do assento. Considere $g = 10\ m/s^2$.



27 ■ Uma pequena esfera de massa m = 0,1 kg é abandonada do repouso e desliza sem atrito ao longo da curva mostrada na figura. Determine a velocidade da esfera no instante em que ela passa pelo ponto C (sugestão: use conservação da energia mecânica).



28 ■ Do problema anterior, determine a força centrípeta sobre a esfera no instante em que ela passa pelo ponto C.

29 ■ Qual deve ser a velocidade da partícula para que no ponto D ela comprima a pista com uma força de intensidade igual ao seu peso? (Refere-se ao enunciado da questão 27).

30 ■ Para que no ponto mais alto da trajetória a velocidade da partícula seja aquela determinada no problema 29, qual deve ser a posição do ponto A em relação ao solo? Supondo ainda R = 1,0 m (enunciado do problema 27).

RESPOSTAS

1 ■ $a_c = 50\ m/s^2$

2 ■ $F_c = 24\ N$

3 ■ $v = 40\ m/s$

4 ■ $F_c = 1{,}0 \times 10^3\ N$
Tração $T = 1{,}0 \times 10^3\ N$

5 ■ $v = 4{,}0\ m/s$

6 ■ a) $v = \omega \cdot R$
b) $a_c = \omega^2 \cdot R$
c) $F_c = m \cdot \omega^2 R^2$

7 ■ $F_c \cong 4{,}0 \times 10^5\ N$

8 ■ $F_c = F_{at} = 4{,}0 \times 10^3\ N$

9 ■ a) $v = 4 \cdot \pi\ m/s$
b) $F_R = F_c = 0{,}32\ \pi^2\ N$ (radial e para o centro)
c) $F_c = 0{,}32\pi^2\ N$

10 ■ a) $R = 2{,}0 \times 10^2\ m$
b) $F_{magn} = 1{,}8 \times 10^{-23}\ N$

11 ■ a) $T = 8{,}0\ s$
b) $F_c \cong 1{,}7 \times 10^{-26}\ N$

12 ■ a) $a_c = 9\pi^2\ m/s^2$
b) $F_c = 0{,}45\pi^2\ N$

13 ■ a) $a_c = 4\pi^2 \times 10^{-4}\ m/s^2$
b) $F_c = 0{,}8\pi^2\ N$

14 ■ a) $a_c = 4{,}5 \times 10^{14}\ m/s^2$
b) $F_c \cong 4{,}0 \times 10^{-16}\ N$
c) $T \cong 4{,}0 \times 10^{-8}\ s$

15 ■ a) $a_c = 16\ m/s^2$
b) $T = \frac{\pi}{2}\ s$
c) F_c = Tração = 12 N

16 ■ $v = 8\sqrt{5}\ m/s$; acima dessa velocidade o pavimento não oferece condições para fazer a curva e o auto derrapa. O carro precisaria ficar sob a ação de uma força centrípeta mais intensa que 3 200 N. Para isso seria necessário um atrito maior.

17 ■ $F_c \cong 141\ N$

18 ■ a) $a_c = 0{,}75\ m/s^2$
b) $F_c = 600\ N$

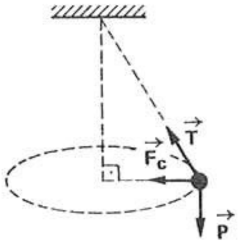
19 ■ $F_c = 12\ N$

20 ■ a) $a_c = 4{,}5\ m/s^2$
b) Tração = 9,0 N

21 ■ A trajetória é retilínea pois em trajetórias curvas a velocidade muda em direção e portanto a aceleração centrípeta é diferente de zero.

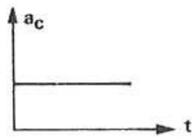
22 ■ $F_c = 2{,}0\ N$

23 ■



24 ■ a) $v = 2\sqrt{5}\ m/s$
b) $v = 10\ m/s$

25 ■



26 ■ $v = 100\ m/s$

27 ■ $v = 4\sqrt{5}\ m/s$

28 ■ $F_c = 8{,}0\ N$

29 ■ $v = 2\sqrt{5}\ m/s$

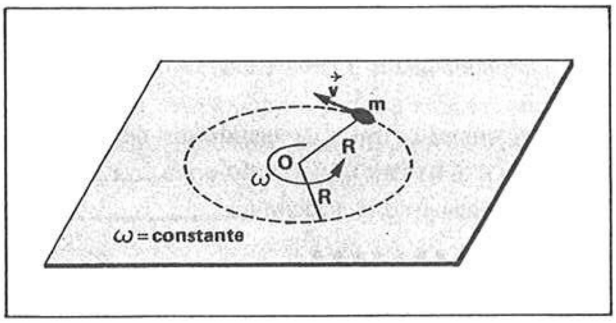
30 ■ $h = 3{,}0\ m$

SEÇÃO 2 – QUANTIDADE DE MOVIMENTO ANGULAR DE UMA PARTÍCULA EM MOVIMENTO CIRCULAR

Nesta seção veremos mais uma grandeza dinâmica relacionada com o movimento angular dos corpos que será muito importante no estudo da rotação de corpos rígidos. Esta grandeza é a quantidade de movimento angular, que simbolizaremos com a letra L.

A quantidade de movimento angular está relacionada diretamente com a massa do corpo, com a velocidade angular e com o raio do círculo ao longo do qual o corpo se movimenta.

1 ■ A figura ao lado mostra uma esfera de massa m que gira em torno de um eixo fixo. A velocidade angular da esfera é____________ e v é a______ ____________. A sua quantidade de movimento linear é p = ____________.



****

ω; velocidade linear; m v

2 ■ Se desejarmos parar o movimento rotatório da esfera, verificaremos que a resistência oferecida pela mesma é (maior; menor) quanto maior for a sua massa m. Logo, a resistência oferecida pela esfera para detê-la é maior quanto (maior; menor) a sua quantidade de movimento linear m v.

****

maior; maior

3 ■ Por outro lado, se a mesma massa girar com a mesma velocidade angular, porém a uma distância do eixo maior que R (item 1), a experiência mostra que a dificuldade em parar o movimento rotatório da esfera é __________ que no caso do item 1.

****

maior

4 ■ Podemos concluir então que a____________________(m v) e a distância da esfera ao________ ________________, tem algo a ver com a dificuldade (ou facilidade) em parar o movimento de rotação em torno do eixo.

****

quantidade de movimento; eixo de giro

5 ■ A experiência mostra que a dificuldade em fazer parar a esfera é o dobro quando a quantidade de movimento linear é dobrada, desde que o raio de giro seja constante. Da mesma forma, se a quantidade de movimento linear permanecer inalterada e dobrarmos o raio de giro, a experiência mostra que a dificuldade em fazê-la parar é dobrada. Isto implica que a grandeza física que se relaciona com a tendência de oferecer dificuldade em parar um movimento rotatório (é; não é) proporcional à quantidade de movimento linear p = ________ e ao raio de giro____________.

****

é; m v; R

6 ■ Esta grandeza física que traduz a dificuldade ou facilidade em parar ou **alterar** um movimento rotatório é denominada **quantidade de movimento angular.** Símbolo: L. Portanto, L é proporcional à_______________ ____________________ e ao ____________________ de giro ______________.

****

quantidade de movimento linear $p = mv$; raio; R

7 ■ Da matemática sabe-se que se uma grandeza A é proporcional a B e ao mesmo tempo a outra C, então A é proporcional ao produto BC. Como L é proporcional a p e proporcional a R, então L é_______________ ____.

****

proporcional a $p \cdot R$ ou $(mv) \cdot R$ (uma vez que $p = mv$)

8 ■ A expressão final da quantidade de movimento angular L é $L = (mv) \cdot R$ ou L = ____________ (em função de p e R). No SI, m é dado em _____________, v em ________________e R em ______________. Logo, a unidade de L é dado em______________________.

****

$p \cdot R$; kg; m/s; m; $\frac{kg\,m^2}{s}$

9 ■ $L = (mv) \cdot R$. Um certo corpo tem massa $m = 2{,}0$ kg. Ele é animado de movimento circular uniforme de raio $R = 1{,}2$ m e velocidade linear $v = 5{,}0$ m/s. Qual é a quantidade de movimento angular L deste corpo?

****

$L = (mv) \cdot R = (2{,}0\ kg \times 5{,}0\ m/s) \cdot (1{,}2\ m) = 12\ kg \cdot m^2/s$

10 ■ Um corpo de massa $m = 4{,}0$ kg possui movimento circular uniforme de raio $R = 2{,}0$ m e possui quantidade de movimento angular $L = 32\ kg \cdot m^2/s$. Qual é a velocidade linear deste corpo?

****

$L = mv \cdot R$ donde $v = \frac{L}{m \cdot R} = 4{,}0$ m/s

11 ■ Um corpo possui quantidade de movimento linear $p = 40\ kg \cdot m/s$. Em relação a um eixo de $R = 0{,}5$ m, qual a quantidade de movimento angular deste corpo?

****

$L = p \cdot R = 20\ kg \cdot m^2/s$

12 ■ Um objeto move-se em movimento circular uniforme e possui quantidade de movimento linear $p = 2{,}0\ kg \cdot m/s$. Sendo $R = 2{,}0$ m o raio da trajetória, então a quantidade de movimento angular L = ____________________.

****

$L = p \cdot R = 4{,}0\ kg \cdot m^2/s$

13 ■ Vejamos agora uma outra situação. Seja um corpo de massa m em movimento circular de velocidade angular constante ω e de raio R. A quantidade de movimento angular deste corpo é dada pela expressão L = ______ (em função de m, v e R). A expressão que relaciona velocidade angular, velocidade linear e o raio, num movimento circular é v = _______________. Portanto, em função de m, ω e R, a quantidade de movimento angular é L = ___________________________________.

****

$mv \cdot R$; $v = \omega R$; $m\omega R^2$

14 ■ Um certo corpo tem massa 2,0 kg. Ele é animado de um movimento circular uniforme de raio 1,2 m e possui velocidade angular 5,0 rad/s. Calcular a quantidade de movimento angular do corpo.

m = ________________; ω = ________________; R = ________________; L = ________________

****

$L = m\omega R^2 = (2{,}0\ kg)(5{,}0\ rad/s)(1{,}2\ m)^2 = 14{,}4\ kg \cdot m^2/s$

15 ■ No item 14, se a velocidade angular for dobrada, o valor de L (será; não será) dobrado. Analise a expressão. Se $\omega = 15$ rad/s, então L = ________________.

****

será; 43,2 kg · m²/s (a velocidade angular triplicada, L é triplicado)

16 ■ No item 14, se apenas o raio for duplicado, isto é, se R = 2,4 m, mantendo as outras grandezas constantes, então a quantidade de movimento angular L será (duplicado; quadruplicado). Analise a expressão. Realizando-se os cálculos teremos L = ________________.

****

quadruplicado (R está elevado ao quadrado); 57,6 kg · m²/s

17 ■ Resumindo: para uma partícula em movimento circular uniforme, a quantidade de movimento angular pode ser expressa pelas expressões:

L = ________________ (em função de v) ou L = ________________ (em função de ω) onde v é a ________________; R ________________ e ω ________________.

No Sistema Internacional de Unidades a quantidade de movimento angular é expressa por ________________.

****

$(mv) \cdot R$; $m\omega R^2$; velocidade linear; raio da trajetória; velocidade angular; $\frac{kg\,m^2}{s}$

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Duas massas iguais A e B giram em movimento circular de raio R com velocidades angulares ω_A e ω_B, onde $\omega_A > \omega_B$. Qual das duas possui maior quantidade de movimento angular? Qual das duas oferecerá maior resistência para que o seu movimento seja freado?

2 ■ A dificuldade em fazer parar um objeto em movimento rotatório depende só da quantidade de movimento linear do objeto?

3 ■ Como é denominada a grandeza física relacionada com a dificuldade ou facilidade em frear um movimento rotatório?

4 ■ Quanto maior a quantidade de movimento angular de um objeto (maior; menor) a dificuldade em pará-lo.

5 ■ Qual é o símbolo da quantidade de movimento angular?

6 ■ Escreva a expressão da quantidade de movimento angular:

a) em função da quantidade de movimento linear e do raio;

b) em função da velocidade angular, da massa e do raio;

c) em função da velocidade linear, da massa e do raio.

7 ■ Deduza a unidade da quantidade de movimento angular L no SI.

8 ▪ Complete:

a) se a velocidade linear v for triplicada, a quantidade de movimento angular L será ______________.

b) se o raio de giro for triplicado, mantendo-se mesma velocidade linear v, a quantidade de movimento angular L será ______________________.

c) se o raio de giro for triplicado, mantendo-se a mesma velocidade angular ω, então L será ____________ ____________________.

d) se o raio de giro for dividido por 2, mantendo a mesma velocidade linear v, então L será ____________ ____________________.

e) se o raio de giro for dividido por 2, mantendo a mesma velocidade angular ω então L será ____________ ____________________.

f) se a velocidade angular for duplicada, mantendo-se mesmo raio R, L será ____________ ____________________.

g) se a velocidade angular for dividida por 4, mantendo-se o mesmo raio R, L será ____________ ____________________.

Após isso, você deve estar apto para:

a. identificar grandezas que se relacionam com a dificuldade em fazer parar um movimento angular de um corpo;

b. definir quantidade de movimento angular;

c. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ▪ Uma partícula gira em movimento circular com velocidade angular ω = 3,0 rad/s. O raio de giro é 60 cm e a massa da partícula é 500 g.

a) Calcule a sua quantidade de movimento angular;

b) Determine a quantidade de movimento angular da partícula, supondo:

1º) com raio de giro 2 vezes maior e com mesma velocidade angular e massa;

2º) com mesmo raio e velocidade angular, porém com massa duas vezes maior;

3º) com mesmo raio de giro, porém com velocidade angular duas vezes maior.

2 ▪ Considerando que a Lua tem órbita praticamente circular ao redor da Terra, calcule a sua quantidade de movimento angular, sabendo-se que a sua massa é $7{,}35 \times 10^{22}$ kg e a distância média entre Lua-Terra seja $3{,}8 \times 10^5$ km. A Lua dá uma volta ao redor da Terra em 27 dias.

3 ▪ Um elétron move-se com velocidade linear constante $v = 2\pi \times 10^4$ m/s. Ele é colocado num campo magnético e realiza um movimento circular de período $2{,}0 \times 10^{-2}$ s. A massa do elétron é $m = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.

a) Calcule o raio de giro do elétron;

b) Calcule a quantidade de movimento linear (p);

c) Calcule a quantidade de movimento angular (L);

4 ▪ Um elétron move-se em trajetória circular com velocidade angular constante. A aceleração centrípeta é $9{,}0 \times 10^4$ m/s² e o raio de giro é 0,16 m. Calcule a quantidade de movimento angular deste elétron.

5 ■ Uma partícula de massa $m = 0,2$ kg move-se em movimento circular de raio 20 cm inicialmente com freqüência $f_1 = 100/\pi$ hertz. Depois de certo tempo, devido a atritos, a freqüência passa a ser $f_2 = 10/\pi$ hertz. Determinar:

a) a quantidade de movimento angular inicial;

b) a quantidade de movimento angular final;

c) a variação da quantidade de movimento angular neste período de tempo.

6 ■ Um corpo move-se em movimento circular uniforme de raio $R = 40$ cm e possui velocidade angular $\omega = 20$ rad/s. Sendo $m = 500$ g a massa do corpo, determinar a sua quantidade de movimento angular em unidades do SI.

7 ■ Um corpo possui quantidade de movimento linear $p = 20$ kg · m/s. Se o raio de sua trajetória é $R = 10$ m, determine a sua quantidade de movimento angular.

8 ■ Um corpo de massa $m = 0,4$ kg move-se em círculo de raio $R = 4,0$ metros com velocidade angular constante $\omega = 4\pi$ rad/s. Determinar:

a) sua quantidade de movimento linear;

b) sua quantidade de movimento angular.

9 ■ Uma massa de 2,0 kg move-se em círculo de raio $R = 0,80$ m dando 10 revoluções em cada segundo. Determine a velocidade linear do objeto e sua quantidade de movimento angular.

10 ■ A velocidade linear de um corpo em movimento circular uniforme vale 10 m/s. Sendo o seu período $T = \pi/20$ segundo, e $m = 0,5$ kg a sua massa, determinar:

a) a sua quantidade de movimento linear;

b) a sua quantidade de movimento angular.

RESPOSTAS

1 ■ a) $L = 5,4 \times 10^{-1}$ kg m²/s
b) 1º) $L = 2,16$ kg m²/s; 2º) $L = 1,08$ kg m²/s
3º) $L = 1,08$ kg m²/s

2 ■ $L \cong 7,3 \times 10^{25}$ kg m²/s

3 ■ a) $R = 2,0 \times 10^2$ m; b) $p = 5,7 \times 10^{-26}$ kg m/s
c) $L = 1,1 \times 10^{-23}$ kg m²/s

4 ■ $L = 1,7 \times 10^{-29}$ kg m²/s

5 ■ a) $L_0 = 1,6$ kg m²/s; b) $L = 1,6 \times 10^{-1}$ kg m²/s
c) $\Delta L = 1,44$ kg m²/s

6 ■ $L = 1,6$ kg m²/s

7 ■ $L = 2,0 \times 10^2$ kg m²/s

8 ■ a) $p = 6,4 \times \pi$ kg m/s
b) $L = 2,56 \times \pi \times 10$ kg m²/s

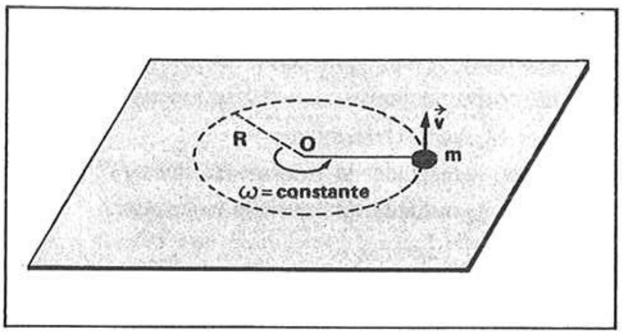
9 ■ $L = 3,2 \times \pi \times 10$ kg m/s
$L = 2,56 \times \pi \times 10$ kg m²/s

10 ■ a) $p = 5,0$ kg m/s; b) $L = 1,25$ kg m²/s

SEÇÃO 3 – MOMENTO DE FORÇA

Na dinâmica do movimento retilíneo (FAI-2), a 2ª Lei de Newton estabelece a relação entre a força aplicada, a massa do corpo e a aceleração linear resultante no corpo. Para que um corpo fique sujeito a uma aceleração linear é necessário então a aplicação de uma força resultante. Que grandeza é necessária aplicar a um corpo para que ele apresente uma aceleração angular diferente de zero? É o que será definido ao longo desta seção.

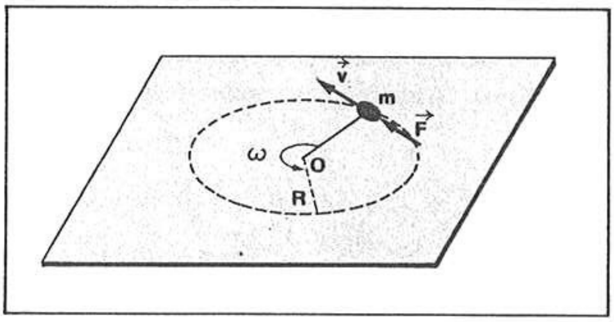
1 ■ Considere um corpo de massa m preso a uma haste rígida pivoteada em O. Para simplificação, admitiremos que a massa da haste seja desprezível e que quaisquer formas de atrito sejam desprezíveis. O sistema, conforme mostra o desenho ao lado, gira sobre uma mesa horizontal com velocidade angular (constante; variável). Portanto, a massa executa um movimento ____________________________.



****

constante; circular uniforme

2 ■ Se uma força $\vec{F}$ for aplicada na direção da trajetória ou perpendicular ao raio, a velocidade linear $\vec{v}$ da massa irá aumentar se a força (concordar; não concordar) com a velocidade $\vec{v}$. Para retardarmos o movimento rotatório devemos aplicar a força $\vec{F}$ no ______________________________________.



****

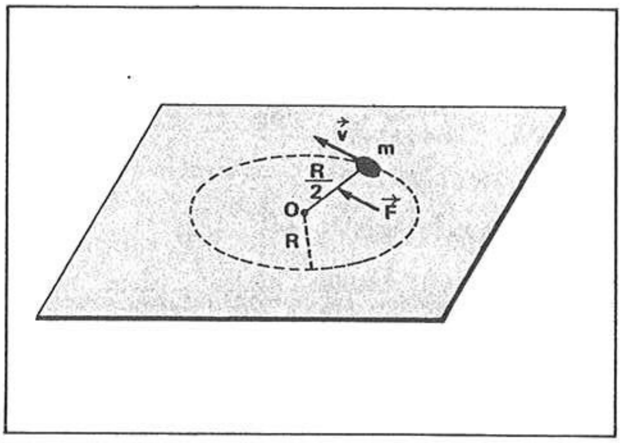
concordar; sentido oposto de $\vec{v}$

3 ■ No caso ilustrado no item 2, a força aplicada (irá; não irá) aumentar o valor da velocidade linear $\vec{v}$ e conseqüentemente o valor da velocidade angular da massa. Quanto mais tempo a força atuar (maior; menor) será a variação da velocidade angular ou linear $\vec{v}$.

****

irá; maior

4 ■ Se a força $\vec{F}$ for aplicada a uma distância R/2 perpendicularmente à haste, conforme mostra o desenho ao lado, a massa (irá; não irá) variar de velocidade tanto angular como linear. A experiência mostra que se esta força for aplicada durante um mesmo intervalo de tempo a variação de velocidade neste caso será duas vezes menor que no caso do item 2. Da mesma forma, se durante o mesmo intervalo de tempo esta força for aplicada num ponto da haste cuja distância ao eixo de rotação for 3 vezes menor, então a variação de velocidade da massa será __________________________.



****

irá; três vezes menor

5 ■ Por outro lado, a experiência mostra que se a força $\vec{F}$ for, por exemplo, duplicada, então a variação de velocidade no caso do item 2 será duas vezes maior, se for aplicada durante um mesmo intervalo de tempo. Com força duas vezes maior aplicada na metade do raio R, a variação de velocidade, num mesmo intervalo de tempo, deverá ser ______________________ a do caso descrito no item 2.

****

igual (a força é duas vezes maior, mas a distância ao eixo é duas vezes menor)

6 ■ Os exemplos acima evidenciam o fato de que (somente o valor da força; somente a distância ao eixo do ponto de aplicação da força; tanto a distância ao eixo como o valor da força) são importantes na variação do movimento rotatório de uma massa ao redor de um eixo.

****

tanto a distância ao eixo como o valor da força

7 ■ No item 4 vimos que quando uma mesma força é aplicada a uma distância menor, em relação ao eixo de rotação, durante um mesmo intervalo de tempo, a variação de velocidade produzida será (maior; menor). Portanto, podemos dizer que também a variação da quantidade de movimento angular L da massa é menor.

****

menor

8 ■ Podemos dizer então que as grandezas físicas envolvidas na variação da quantidade de movimento angular de uma massa em movimento rotatório são ______________ e a ______________________________.

****

força; distância do ponto de aplicação desta força ao eixo de rotação.

9 ■ Uma força F terá então maior poder de rotação, isto é, produz uma maior variação na quantidade de movimento angular de uma massa, quanto maior for sua intensidade e quanto (mais distante; mais próxima) ela for aplicada ao eixo de rotação.

****

mais distante

10 ■ Comparando as situações mostradas nos itens 2 e 4, podemos afirmar que no caso do item 4, o **poder de rotação** da força (é; não é) menor que no caso do item 2.

****

é

11 ■ A grandeza que mede o poder de rotação de uma força é denominada de **momento da força.** Matematicamente ela é definida por:

Momento da Força F = (distância ao eixo) $\times$ força

Simbolicamente: $\tau = R \cdot F$

Observando-se as figuras anteriores, as direções da força e da distância R (são; não são) perpendiculares entre si.

****

são

12 ■ $\tau = R \cdot F$. Esta expressão representa o ______________________. O momento da força é a grandeza física relacionada com o ______________________ de rotação da força. Quanto maior o momento da força (maior; menor) será a variação da quantidade de movimento angular da massa sujeita a o momento.

****

momento da força F; poder; maior

13 ■ $\tau = R \cdot F$. Nesta expressão F representa a intensidade da força e R a distância do ponto de aplicação da força ao eixo de rotação. F e R (são; não são) perpendiculares entre si. A distância R é também denominada de **braço** da força F.

★★★★★★★★★★★★

são

14 ■ O braço de uma força é a ____________________ do ponto de aplicação da força ao ____________________ ____________________. O braço e a força são (paralelas; perpendiculares) entre si.

★★★★★★★★★★★★

distância; eixo de rotação; perpendiculares

15 ■ No Sistema Internacional de Unidades, a força é expressa em ____________________ e a distância R em ____________________. Portanto, o momento da força τ é expresso em ____________________.

★★★★★★★★★★★★

Newtons; metros; Newtons × metros ($N \cdot m$)

16 ■ O momento de uma força F é também conhecido por **torque** da força. A palavra **torque** é de origem inglesa e significa "qualquer coisa que produz ou tende a produzir uma rotação ou torção". Portanto, quanto maior o torque ou ____________________ de uma ____________________, (maior; menor) será a variação da quantidade de movimento angular do corpo sobre o qual ela atua.

★★★★★★★★★★★★

momento; força; maior

17 ■ O momento de uma força será zero se o braço R desta força for igual a ____________________. Esta situação seria aquela em que a força é aplicada no eixo de rotação.

★★★★★★★★★★★★

zero

18 ■ Uma força de intensidade $F = 20$ N atua sobre um corpo que gira ao redor de um eixo O. O braço da força é $R = 0{,}20$ m. O momento desta força é $\tau =$ ____________________.

★★★★★★★★★★★★

$4{,}0\ N \cdot m$

19 ■ Se o momento da força sobre uma partícula em movimento circular for igual a $4{,}0\ N \cdot m$, então esta partícula (irá; não irá) apresentar variação em sua velocidade linear. A sua velocidade angular bem como a sua quantidade de movimento angular também sofrerão alterações.

★★★★★★★★★★★★

irá

20 ■ Para que um objeto permaneça em movimento circular uniforme, isto é, apresente sempre a mesma velocidade angular, a mesma velocidade linear e a mesma quantidade de movimento angular é necessário que o momento da força, em relação ao eixo de rotação, seja (zero; diferente de zero).

★★★★★★★★★★★★

zero

21 ▪ Um corpo está em movimento circular. Possui velocidade linear de módulo sempre igual a 2,0 m/s. O momento de força sobre o corpo, em relação ao eixo de rotação, é ______________, pois a sua velocidade linear apresenta módulo (constante; variável).

****

zero; constante

22 ▪ Então se um corpo executa movimento circular variado, isto é, com aceleração angular diferente de zero, podemos concluir que o momento de força sobre o corpo (é; não é) diferente de zero.

****

é

23 ▪ A segunda Lei de Newton ($F = m\,a$) aplicada ao movimento linear diz que quando uma força **F** é aplicada numa massa **m**, esta fica sujeita a uma aceleração linear a. Situação análoga acontece no movimento circular: se um momento ou torque atua sobre um corpo em rotação então este ficará sujeito a uma aceleração (linear; angular). Uma força F varia a velocidade linear de uma massa; um torque ou momento de uma força F varia a ______________________.

****

angular; velocidade angular da massa

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ▪ A força aplicada a um corpo e a distância ao eixo de rotação são importantes na variação do movimento rotatório? Explique.

2 ▪ Quais são as grandezas diretamente envolvidas na variação da quantidade de movimento angular?

3 ▪ O que significa "poder de rotação"?

4 ▪ O que é momento de força? Expresse-o matematicamente.

5 ▪ O que é "braço da força" em relação ao eixo de rotação?

6 ▪ A força e o "braço" em relação ao eixo de rotação são perpendiculares entre si?

7 ▪ No SI como se exprime o momento da força?

8 ▪ O que é torque? Torque e momento representam a mesma coisa?

9 ▪ Em que caso o momento de força é igual a zero? Quando o braço é zero? Dar um exemplo.

10 ▪ No movimento circular uniforme, quanto vale o torque? Explique.

11 ▪ Se num movimento rotatório de um corpo a velocidade angular aumenta uniformemente, existe torque atuando sobre o corpo? Explique.

12 ▪ Todas as forças aplicadas num corpo produzem rotação no corpo? Explique.

Após isso, você deve estar apto para:

a. identificar as grandezas físicas que estão relacionadas diretamente com a variação da quantidade de movimento angular de um corpo.

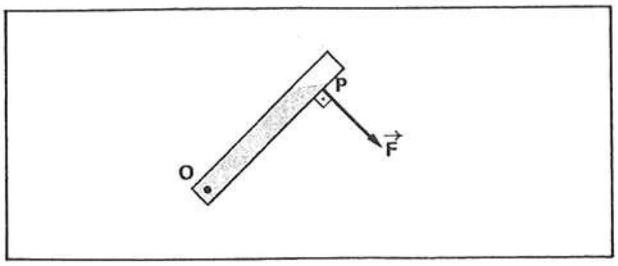
b. definir matematicamente o momento de força.

c. descrever a função do momento ou torque de uma força no movimento rotatório de um corpo.

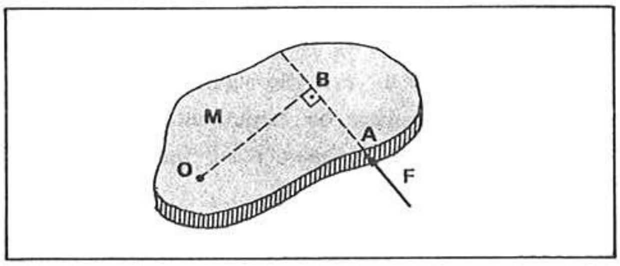
d. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

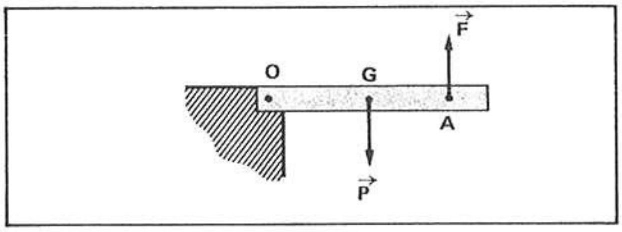
1 ■ Uma barra está articulada em O conforme ilustra a figura ao lado. Uma força F = 200 N atua na barra no ponto P. Sendo OP = 20 cm calcule o momento da força F em relação ao eixo que passa por O.



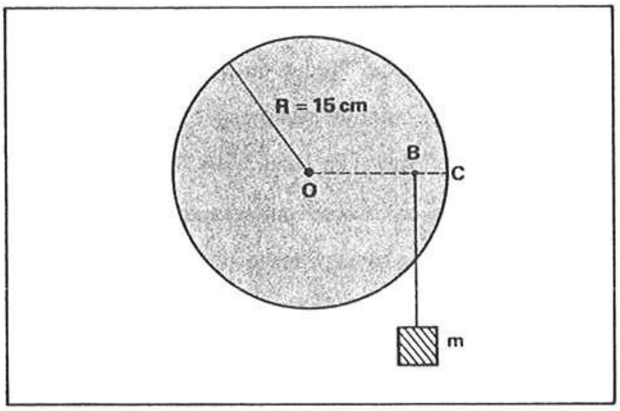
2 ■ Um sólido M pode girar em torno de um eixo que passa por O conforme ilustra a figura ao lado. Uma força F = 100 N é aplicada em A. Sendo OA = 5,0 cm e OB = 4,0 cm, calcule o torque da força F em relação ao eixo O.



3 ■ Uma viga é articulada em O, em torno do qual ela pode girar. O seu peso próprio é P = 100 N e está aplicado no ponto G. Uma força F = 100 N é aplicada em A. Sendo OG = 2,0 m e OA = 3,0 m, calcular o momento de cada força em relação ao eixo O.



4 ■ Um disco, conforme ilustrado na figura ao lado, pode girar em plano vertical ao redor de um eixo que passa pelo seu centro O. Um corpo de massa 1,0 kg, por meio de um fio, é ligado em B. Sendo g = 10 N/kg e OB = 10 cm, calcular o torque do peso em relação ao eixo O.



5 ■ No problema 4, qual seria o momento do peso se o pino B estivesse a 2,0 cm do eixo O e na mesma direção?

6 ■ No problema 4, qual seria o momento do peso se o pino estivesse na periferia do disco (ponto C); isto é, a uma distância R = 15 cm do centro?

RESPOSTAS

1 ■ $\tau = 40\,N \cdot m$

2 ■ $\tau = 4{,}0\,N \cdot m$

3 ■ $\tau_{\vec{P}} = 200\,N \cdot m$
$\tau_{\vec{F}} = 300\,N \cdot m$

4 ■ $\tau = 1{,}0\,N \cdot m$

5 ■ $\tau = 0{,}2\,N \cdot m$

6 ■ $\tau = 1{,}5\,N \cdot m$

CAPÍTULO IX

Lei da gravitação universal

Neste capítulo você irá estudar, de maneira geral, a lei que rege a interação entre massas: a Lei da Gravitação Universal. De maneira sucinta veremos o modelo planetário e estudaremos o caso particular de órbita circular; definiremos o campo gravitacional; analisaremos a energia mecânica total, adotando o infinito como nível zero de energia potencial e veremos que velocidade um corpo deve possuir para poder escapar da influência do campo gravitacional de um planeta.

Estudaremos também o movimento balístico de um corpo no campo gravitacional próximo à superfície da Terra.

OBJETIVOS: Ao terminar o estudo do capítulo, espera-se que o estudante seja capaz de:

a. descrever a interação gravitacional entre dois corpos.
b. calcular e caracterizar a força gravitacional entre dois corpos.
c. descrever o sistema planetário e as Leis de Kepler.
d. calcular a força centrípeta sobre um planeta ou satélite.
e. calcular o período e a velocidade orbital de um planeta ou satélite ao redor do centro de força.
f. conceituar o campo gravitacional e definir a sua intensidade.
g. calcular a intensidade do campo gravitacional em um ponto próximo do centro de força.
h. determinar o peso de um corpo no campo gravitacional.
i. representar o campo gravitacional em termos de linhas de força.
j. calcular a energia potencial gravitacional de um corpo com referencial no infinito.
k. calcular o trabalho mínimo para deslocar um corpo no campo gravitacional.
l. definir e calcular o potencial gravitacional em um ponto do campo gravitacional.
m. caracterizar superfície eqüipotencial.
n. calcular energia mecânica total de um corpo.
o. calcular a velocidade de escape.
p. determinar a energia de ligação.
r. caracterizar velocidade de regime de um corpo em movimento nas proximidades da Terra.
s. calcular o alcance e altura máxima de um corpo em movimento balístico.
t. resolver problemas propostos.

SEÇÃO 1 – INTERAÇÃO GRAVITACIONAL: A LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

O Sistema Solar é um conjunto harmonioso de astros e de outros corpos menores que orbitam ao redor do Sol. O Sol, centro deste maravilhoso sistema, através da força que transmite através de milhões e milhões de quilômetros de espaço vazio é o responsável por todo este mecanismo preciso que é o Sistema Solar.

Que tipo de força é esta que se transmite através do espaço vazio e aciona todos os elementos do Sistema Solar? Como podemos calcular a intensidade desta força? A força que mantém a atmosfera terrestre presa à Terra, sem a qual não podemos viver, é de mesma natureza daquela que o Sol exerce sobre os planetas? Se a gravidade da Terra fosse pequena o ar atmosférico seria retido na superfície da Terra?

Nesta seção iremos analisar a força de gravitação e como ela pode ser calculada.

1 ■ Se procurarmos no dicionário o sinônimo da palavra **grave** encontraremos_______________.

****

pesado

2 ■ Qualquer corpo nas proximidades da Terra é um **grave**, isto é, ele é_______________.
O corpo é pesado porque a Terra o atrai. Disto sabiam Newton e o pessoal daquela época.

****

pesado

3 ■ Um corpo é pesado, isto é, é atraído pela Terra devido a **gravidade** da Terra. A gravidade é então a propriedade da Terra de tornar grave, todos os corpos em sua proximidade. Todo corpo na proximidade da Terra é um grave devido à_______________ da Terra.

****

gravidade

4 ■ Uma maçã cai em direção à Terra devido à_______________ da Terra; em outras palavras, porque a Terra a torna (pesada; leve).

****

gravidade; pesada

5 ■ A gravidade da Terra é então a propriedade de tornar cada corpo um _______________.
Um corpo é um grave devido a atração exercida pela Terra.

****

grave

6 ■ Newton e seus contemporâneos não desconheciam o fenômeno da gravidade da Terra. Mas este comportamento ou esta propriedade era atribuído somente a corpos terrestres. Acreditava-se na época que os corpos celestes, estrelas, os planetas, a Lua, não sofriam influência da Terra, isto é, não se tornavam grave devido a_______________da Terra. Isto era razoável, pois a Lua, os planetas e as estrelas não caiam para a Terra.

****

gravidade

7 ■ Mas a gravidade da Terra, que era aplicada somente a corpos terrestres, foi estendida também para os corpos celestes. Esta extensão foi possível graças ao físico inglês Isaac Newton. Conta a história que Newton, observando a queda de uma maçã, admitiu que a mesma força que atrai a maçã para a Terra também poderia atrair a Lua. Em outra palavras, a_______________da Terra, que torna pesado um corpo terrestre, tornaria pesada a Lua, um corpo celeste. Portanto, Newton admitiu que assim como a Terra a atrai a maçã, também atrai a Lua segundo uma mesma lei.

****

gravidade

8 ■ A Lei de Newton de atração entre os corpos, terrestres ou não, foi denominada de **Lei da Gravitação Universal**. Segundo esta lei, cada corpo atrai e é atraído por um outro corpo a certa distância entre si. Esta atração entre corpos é devido à massa de cada corpo. Portanto, duas massas interagem (atraindo-se; repelindo-se) mutuamente.

****

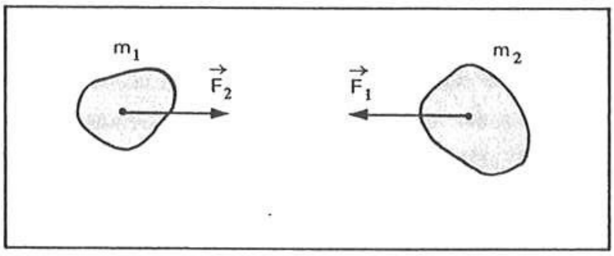
atraindo-se

9 ▪ A Lei de Newton da Gravitação refere-se, então, à interação entre massas; a força com que uma massa atrai e é atraída por uma outra massa é denominada **força gravitacional** e a interação é denominada **interação gravitacional**. O Sol interage com a Terra, isto é, o Sol (puxa; empurra) a Terra e por sua vez a Terra________ __________o Sol. Esta interação é denominada __________________________e a força de atração entre eles é chamada __________________________.

****

puxa; puxa; interação gravitacional; força gravitacional

10 ▪ Na figura ao lado temos duas massas m_1 e m_2 a certa distância entre si. Entre as massas existe uma interação________________________. A massa m_1 atrai a massa m_2 com uma força__________________ __________________$\vec{F}_1$ aplicada na massa (m_2; m_1).



****

gravitacional; gravitacional; m_2

11 ▪ A massa m_2 (atrai; não atrai) a massa m_1. A força com que m_2 atrai m_1 é________________________ e está aplicada em__________________________.

****

atrai; $\vec{F}_2$; m_1

12 ▪ m_2 e m_1 interagem-se gravitacionalmente. Já vimos que em qualquer interação surge o par de forças denominado ____________________ e_________________________. Isto é, se m_1 aciona m_2 com força F_1, m_2 reage e aciona m_1 com força F_2. Portanto, F_1 e F_2 (constituem; não constituem) o par de forças de **ação** e **reação**.

****

ação; reação; constituem

13 ▪ Se F_1 e F_2 constituem o par de forças ação e reação, então elas são opostas, estão aplicadas em corpos diferentes e (possuem; não possuem) a mesma intensidade.

****

possuem

14 ▪ Se uma massa m_1 puxa com força de 10 N uma outra massa m_2 a uma certa distância, então m_2 puxará _______________________________________.

****

m_1 com força de 10 N

15 ▪ A Terra atrai para o seu centro todos os homens, pedras, carros, etc. Por sua vez, estes objetos (atraem; não atraem) a Terra. A força com que a Terra e estes objetos se interagem possuem a mesma intensidade, mas então, porque os objetos caem e a Terra permanece imóvel? A Terra parece não sentir a influência dessa força porque a sua massa é muito grande comparada com a dos objetos acima citados.

****

atraem

16 ▪ Se a Terra puxa um corpo de massa 10 kg com força de 100 N, este corpo puxará a Terra com força de 100 N. A aceleração máxima do corpo é $a = \frac{F}{m} = 10\ m/s^2$. Sendo a massa da Terra $M = 6 \times 10^{24}$ kg, então a aceleração máxima da Terra, nesta interação, é $a \cong$________________________.

****

$\cong 17 \times 10^{-24}\ m/s^2$

17 ■ Pelos cálculos do item anterior, podemos verificar que praticamente a Terra não "sente" a ação da força com que o corpo a puxa, isto porque a massa da Terra é________________________________.

****

muito grande

18 ■ A lei que define a intensidade da força de atração gravitacional entre dois corpos foi estabelecida por Newton, e matematicamente é expressa por:

$$F = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

onde m_1 e m_2 são as massas dos corpos que interagem; d é a distância entre eles e G é uma constante denominada **constante universal de gravitação.** Analisando esta lei podemos dizer que a intensidade da força de gravitação é (inversamente; diretamente) proporcional ao produto das massas $m_1 \cdot m_2$; e (inversamente; diretamente) proporcional ao quadrado da distância entre elas.

****

diretamente; inversamente

19 ■ Se a força gravitacional entre duas massas é diretamente proporcional ao produto das massas, então quanto maior a massa de um objeto (maior; menor) será a intensidade da força.

****

maior

20 ■ A força de atração gravitacional é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as massas que interagem entre si. Portanto, quanto maior a distância entre as massas, (maior; menor) será a intensidade da força.

****

menor

21 ■ Na expressão matemática que define a intensidade da força gravitacional entre duas massas quaisquer, G é uma constante denominada ________________________________ e o seu valor é $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{(newtons) (metros)}^2}{\text{(quilogramas)}^2}$, no Sistema Internacional de Unidades.

****

constante universal de gravitação

22 ■ Um corpo A de massa 100 kg está a uma distância de 2,0 m de um outro corpo B de massa 50 kg. Calcule a intensidade da força de atração gravitacional entre as massas.

****

$$F = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2} \frac{(100\ kg)(50\ kg)}{(2{,}0\ m)^2} \cong 8{,}3 \times 10^{-8}\ N$$

23 ■ Suponha agora que no exercício do item 22 a massa do corpo B fosse 2 vezes maior, isto é, m = 100 kg. Qual seria a intensidade da força gravitacional, mantido constante os outros dados?

****

$F \cong 16{,}7 \times 10^{-8}\ N$

24 ▪ Compare as respostas dos itens 22 e 23. Podemos afirmar que quando uma das massas é duplicada a intensidade da força é também ______________________ .

****

duplicada

25 ▪ Admita agora que no problema do item 22 a massa do corpo B fosse duas vezes menor, isto é, 25 kg. Qual seria a intensidade da força de atração gravitacional, mantido constantes os outros dados?

****

$F \cong 4{,}2 \times 10^{-8}$ N

26 ▪ Com relação a resposta do item 22, podemos afirmar que quando uma das massas tornar-se duas vezes menor, a intensidade da força será ______________________________ .

****

duas vezes menor

27 ▪ Seguindo a linha de raciocínio podemos dizer que se a massa do corpo A fosse 3 vezes maior, a intensidade da força de atração gravitacional entre os corpos seria F = ____________________ .

****

$24{,}9 \times 10^{-8}$ N (três vezes maior)

28 ▪ Admita agora que a distância entre os corpos A e B do item 22 fosse d = 1,0 m, isto é, duas vezes menor. Qual seria então a intensidade da força?

****

$F \cong 33{,}2 \times 10^{-8}$ N

29 ▪ Compare esta resposta com a do item 22. Podemos afirmar que a força é ______________ vezes maior. Quando a distância é duas vezes **menor** a força aumenta de quatro vezes. Isto acontece por que a intensidade da força gravitacional é (diretamente; inversamente) proporcional ao **quadrado** da distância.

****

4; inversamente

30 ▪ Admita agora que a distância seja 2 vezes maior, isto é, d = 4,0 m. A intensidade da força seria F = ______________________ .

****

$\cong 2{,}1 \times 10^{-8}$ N (quatro vezes menor)

31 ▪ Seguindo o mesmo raciocínio, se a distância entre os corpos do item 22 for 3 vezes maior, isto é, d = 6,0 m, então a força será ______________ (maior; menor). Isto é, F = ______________________ .

****

9 vezes; menor; $\cong 0{,}92 \times 10^{-8}$ N

32 ▪ Para o caso de corpos de geometria conhecida, como por exemplo uma esfera, a distância *d* deve ser medida com relação ao centro da esfera. Se quizermos determinar a força de interação gravitacional entre a Terra e a Lua, devemos medir a distância entre o ______________________ da Terra e o ______________________ da Lua.

* * * * * * * * * * * *

centro; centro

33 ■ Resolva: a massa da Terra é $M \cong 6 \times 10^{24}$ kg e o seu raio é cerca de $6,4 \times 10^6$ metros. Com que força gravitacional um corpo de massa 10 kg puxaria a Terra?

* * * * * * * * * * * *

$$F = \frac{G \cdot M \cdot m}{d^2} = \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24} \times 10}{(6,4 \times 10^6)^2} = 9,8 \times 10^1 \text{ N}$$

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

1 ■ Qual o significado da palavra grave?

2 ■ Por que um corpo é pesado?

3 ■ A gravidade da Terra torna todos os corpos pesados. Isto acontece porque a Terra exerce força sobre os corpos. Como se denomina esta força?

4 ■ Como é denominada a interação entre massas?

5 ■ Na interação gravitacional as forças são de atração ou repulsão?

6 ■ Caracterize a força de atração gravitacional, isto é, dê a direção, o sentido, o ponto de aplicação e a expressão que define o seu valor

7 ■ Se a Terra puxa um corpo, este puxa a Terra. As forças possuem a mesma intensidade. Por que então observamos que somente o corpo se movimenta?

8 ■ Dar a expressão que define a intensidade da força gravitacional entre dois objetos. Caracterize os elementos desta expressão.

9 ■ Qual é o valor e a unidade da constante G? Como ela é denominada?

10 ■ A força gravitacional é diretamente ou inversamente proporcional ao produto das massas? E com relação a distância, como se dá a proporcionalidade entre intensidade de força e distância?

11 ■ Em corpos sólidos como esferas, de onde se deve medir a distância entre as massas?

12 ■ Quem estabeleceu a Lei da Gravitação Universal?

Após isso, você deve estar apto para:

a. descrever a interação gravitacional entre dois corpos.

b. caracterizar a força gravitacional na interação entre dois corpos, quanto a direção, sentido, aplicação e valor.

c. resolver problemas propostos

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ▪ Dois corpos, $m_1 = 100$ kg e $m_2 = 400$ kg, encontram-se a 10 metros entre si. Calcular a força de atração gravitacional:

a) de m_1 sobre m_2;

b) de m_2 sobre m_1;

c) faça um diagrama e identifique estas forças.

2 ▪ Qual a sua resposta aos itens a e b do problema 1, se a distância fosse igual a 5,0 metros?

3 ▪ Um objeto de massa 10 kg encontra-se a 10 cm de um outro de massa 50 kg. Determine a intensidade da força gravitacional entre os corpos.

4 ▪ Um satélite artificial encontra-se a $3{,}6 \times 10^6$ metros acima da superfície da Terra e possui massa $m = 500$ kg. Sendo a Terra esférica de raio $R = 6{,}4 \times 10^6$ m e possuindo massa $M = 6 \times 10^{24}$ kg, determine a intensidade da força de atração entre eles. Faça um desenho esquemático e identifique tais forças.

5 ▪ O centro da Lua dista do centro da Terra de $3{,}8 \times 10^8$ m. A massa da Lua é $m \cong 7{,}4 \times 10^{22}$ kg. Calcule:

a) a intensidade da força de atração da Terra sobre a Lua;

b) a intensidade da força de atração da Lua sobre a Terra.

6 ▪ O centro da Terra dista do centro do Sol $1{,}5 \times 10^{11}$ m. Sendo a massa do Sol igual a 2×10^{30} kg, calcule:

a) a força com que o Sol puxa a Terra;

b) a força com que a Terra puxa o Sol.

7 ▪ Um satélite artificial da Terra possui órbita circular de raio 8 000 km, medido a partir do centro da Terra. Sendo $m = 200$ kg a massa deste satélite, determinar a força com que o satélite solicita ou puxa a Terra e a força com que a Terra puxa o satélite.

8 ▪ Duas esferas estão separadas de 10 cm, medido de centro a centro. Se $m_1 = 20$ kg e $m_2 = 40$ kg são as massas destas esferas, calcule a força de atração gravitacional entre elas. Faça esquema.

9 ▪ Duas esferas, uma de massa $m_1 = 10$ kg e outra de massa $m_2 = 5{,}0$ kg, estão separadas de 10 m, medido de centro a centro.

a) Calcule a força de atração gravitacional sobre cada massa.

b) Qual seria a sua resposta se a distância fosse de 5,0 metros?

c) E se a distância fosse de 20 metros?

10 ▪ No problema 9, qual seria a intensidade da força de atração gravitacional entre as esferas, se a distância fosse 10 m e $m_2 = 10$ kg?

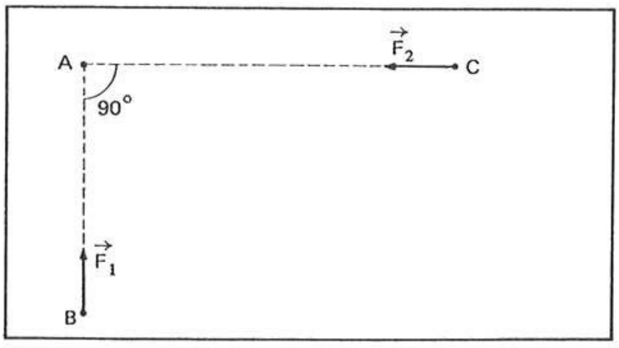
11 ▪ No problema 9, qual seria a força de atração sobre a esfera de massa $m_1 = 10$ kg se a outra fosse substituída por uma de 2,5 kg mantida a mesma distância?

12 ▪ Na figura ao lado, $\vec{F}_2$ é a força gravitacional da massa A sobre a massa C, e $\vec{F}_1$ é a força gravitacional da massa A sobre a massa B. Sendo $F_1 = 4 \times 10^{-6}$ N e $F_2 = 3 \times 10^{-6}$ N, determinar, construindo o diagrama vetorial:

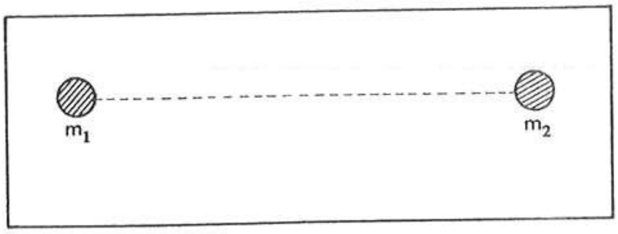
a) a força de C sobre A;

b) a força de B sobre A;

c) a força gravitacional resultante sobre A.



13 ▪ Duas massas $m_1 = m_2 = 10^3$ kg estão separadas de 20 m. Veja a fig. ao lado. A que distância de m_1 devemos colocar uma massa m de 1 kg para que tanto m_1 como m_2 atraia m com força de mesma intensidade?



14 ▪ Construa um gráfico cartesiano da força que a Terra exerce sobre uma massa de 1 kg em função da distância desta massa ao centro da Terra. Sugestão: dar valores a $d = 10 \times 10^6$; 20×10^6; 30×10^6, etc.

RESPOSTAS

1 ▪ a) $F_1 \cong 2{,}7 \times 10^{-8}$ N

b) $F_2 \cong 2{,}7 \times 10^{-8}$ N

c) 

2 ▪ As forças seriam 4 vezes maior, isto é, cerca $11 \cdot 10^{-8}$ N

3 ▪ $F \cong 3{,}3 \times 10^{-6}$ N

4 ▪ 

$F \cong 2 \times 10^3$ N

5 ▪ a) $F_T \cong 2 \times 10^{20}$ N

b) $F_L \cong 2 \times 10^{20}$ N

6 ▪ a) $F_S \cong 36 \times 10^{21}$ N (aplicada na Terra)

b) $F_T \cong 36 \times 10^{21}$ N (aplicada no Sol)

7 ▪ $F \cong 1\,250$ N

8 ▪ $F \cong 5{,}3 \times 10^6$ N

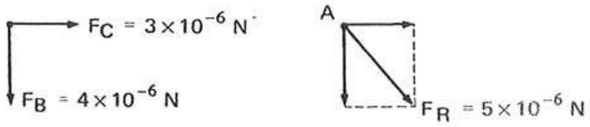
9 ▪ a) $F \cong 3{,}3 \times 10^{-11}$ N

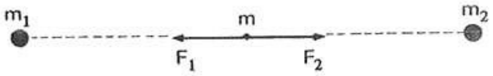
b) $F \cong 13{,}3 \times 10^{-11}$ N

c) $F \cong 0{,}83 \times 10^{-11}$ N

10 ▪ $F \cong 6{,}7 \times 10^{-11}$ N

11 ▪ $F \cong 1{,}7 \times 10^{-11}$ N

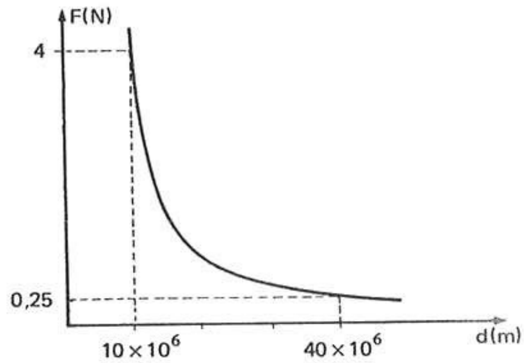
12 ▪ 

13 ▪ 

$$F_1 = \frac{G \cdot m_1 \cdot m}{x^2} \quad \text{e} \quad F_2 = \frac{G \cdot m_2 \cdot m}{(20 - x)^2}$$

como $F_1 = F_2$ (condição do problema), então

$$\frac{\cancel{G} \cdot m_1 \cdot \cancel{m}}{x^2} = \frac{\cancel{G} \cdot m_2 \cdot \cancel{m}}{(20 - x)^2} \quad \text{donde } x = 10 \text{ m.}$$

14 ▪ 

SEÇÃO 2 — MODELO PLANETÁRIO

Se você contemplar o céu numa noite clara, sem nuvens, verá uma infinidade de pontos luminosos: são as estrelas, as galáxias, os planetas, e talvez, cometas. Esses corpos celestes, a distâncias enormes — bilhões e bilhões de quilômetros da Terra — têm aguçado a curiosidade dos homens através da história da Humanidade.

Nós vivemos no planeta **Terra**. O planeta Terra faz parte de um sistema constituído por uma estrela — o **Sol** — e os planetas que orbitam ao redor dele. Este sistema é o **Sistema Solar**.

O Sistema Solar, por sua vez, é componente de um sistema de estrelas (talvez outros sistemas solares), denominado **Galáxia**. A galáxia na qual se acha o Sistema Solar é denominada **Via-Láctea** ou **nossa galáxia**. A maior parte das estrelas que observamos no céu pertencem à **Via-Láctea**.

No Universo existem cerca de 100 bilhões de galáxias semelhantes à nossa e infindável número de estrelas e provavelmente de sistemas solares semelhantes ao nosso.

Nesta seção, descreveremos apenas alguns aspectos importantes do nosso Sistema Solar. Para aqueles de curiosidade mais aguçada, convidamos a desvendar o véu que cobre o mistério do Universo, consultando um livro mais profundo que trate exclusivamente de Astronomia.

A – MODELOS DO SISTEMA SOLAR

Sistema Geocêntrico

Um dos primeiros modelos planetários de nosso sistema solar foi estabelecido por Ptolomeu, um matemático, geográfo, astrônomo e filósofo grego do séc. II a.C. Na época em que viveu, conhecia-se 7 corpos celestes denominados **planetas**. O termo planeta significa "viajante" e foi aplicado aos astros cujas posições variam com o tempo em relação às estrelas, que praticamente parecem fixas no Universo. Desta forma, os "planetas" conhecidos na época de Ptolomeu eram: o Sol, a Lua, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Aparentemente, todos esses "planetas" giravam ao redor da Terra. O sistema solar ptolomaico, colocava a Terra no centro do sistema e os planetas girando ao seu redor. Este modelo planetário satisfez as observações durante muito tempo e foi aceito durante aproximadamente 15 séculos. Mas no decorrer do tempo, com o número crescente de observações acerca das trajetórias dos planetas, este modelo geocêntrico mostrou-se muito complicado.

Sistema Heliocêntrico

A complexidade das trajetórias dos planetas, quando referidos à Terra, exigiu uma simplificação no modelo planetário. Novo modelo ressurgiu com **Nicolau Copérnico**, astrônomo polonês nascido em 1473. Neste modelo, as trajetórias dos planetas são circulares ao redor do Sol. O Sol foi colocado no centro do Sistema Solar e a simplicidade e suavidade do movimento circular substituiu a complexidade das órbitas quando referidas à Terra. O sistema de Copérnico foi denominado **Heliocêntrico**.

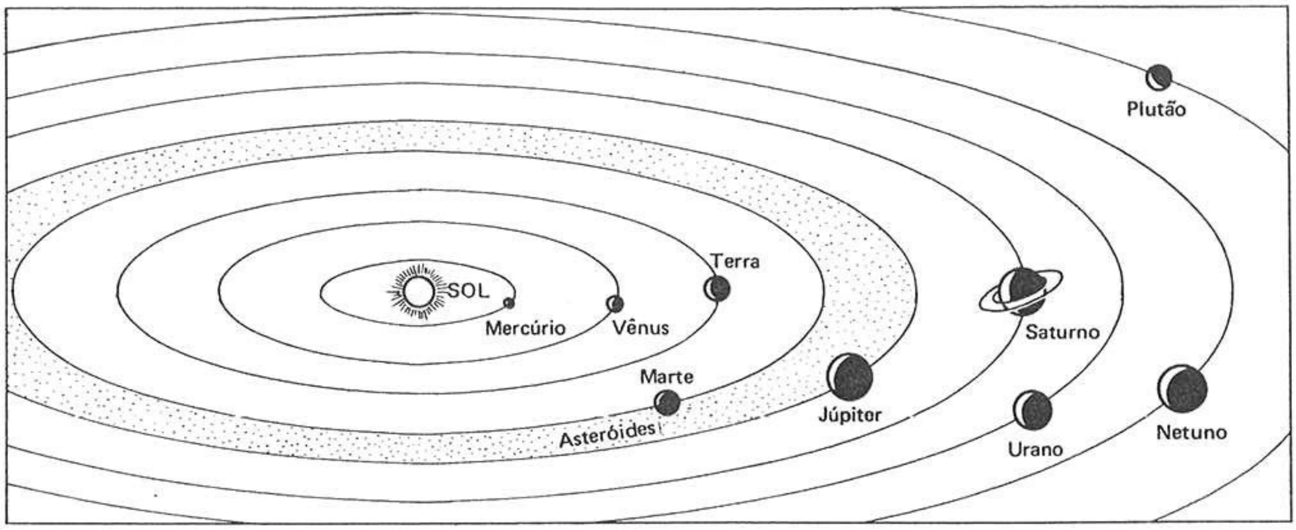
O conflito destes dois modelos estimulou os astrônomos à observações mais precisas, e a invenção do telescópio, por Galileo Galilei em 1609, colaborou bastante para esta finalidade. Outros planetas foram sendo descobertos. Em 1781, Willian Herschel descobriu **Urano**, o 7º planeta a partir do Sol. Pequenos planetas ou asteróides foram descobertos entre as órbitas de Marte e Júpiter. O planeta Netuno aumentou a família: Adams e Leverrier, independentemente, previram a sua existência matematicamente na análise da irregularidade da órbita de Urano. Em 1930, o último planeta do Sistema Solar, **Plutão**, foi localizado, também com sua existência prevista teoricamente

B – O SISTEMA SOLAR

A figura seguinte representa o Sistema Solar **fora de escala**. É o modelo de Copérnico do Sistema Solar, hoje aceito por todos os astrônomos e cientistas.

A Terra possui um satélite natural: a Lua, que gira ao redor da Terra com período próximo de 30 dias. Muitos outros planetas possuem satélites naturais: Netuno possui 2; Urano, 5; Saturno, 9; Júpiter, 12 e Marte, 2. Além dos planetas, asteróides e satélites, fazem parte do sistema solar os meteoritos e os cometas, que no tempo de Galileo eram considerados como fenômenos atmosféricos.

O Sistema Solar encontra-se isolado no espaço dentro de nossa galáxia. E dentro do sistema solar, cada planeta encontra-se também praticamente isolado um do outro, separado por distâncias que fogem a ordem de grandezas das distâncias cotidianas por nós familiares. A Terra distancia-se do Sol cerca de 150 milhões de quilômetros: 150 milhões de quilômetros de espaço vazio.



C – ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DOS PLANETAS

As distâncias entre os corpos celestes são imensas. Em geral utilizam-se duas unidades de medidas astronômicas: **unidade astronômica**, simbolizada por U.A., e **ano-luz.**

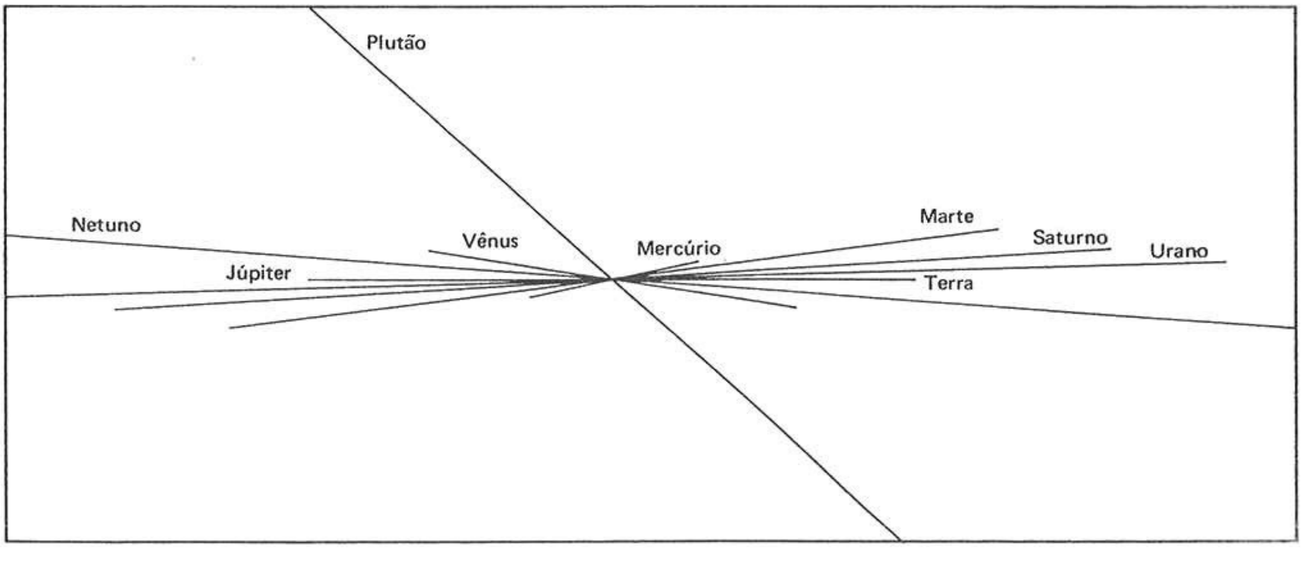
Uma unidade astronômica (1 U.A) corresponde à distância média entre a Terra e o Sol, isto é, 1 U.A $\cong$ 150 $\cdot 10^6$ metros (150 milhões de quilômetros). Desta forma, a distância do último planeta, Plutão, ao Sol é cerca de 40 U.A, isto é, $40 \times 150 \times 10^6$ m $\cong 60 \times 10^8$ m.

Um **ano-luz** corresponde à distância percorrida pela luz em um intervalo de tempo correspondente a 1 ano. Sendo $c \cong 3 \times 10^9$ m/s a velocidade da luz e $\Delta t = 31{,}5 \times 10^6$ s o tempo, em segundos, de 1 ano, então a distância percorrida pela luz em 1 ano será $\Delta d = c \cdot \Delta t \cong 95 \cdot 10^{15}$ m (no vácuo).

Admite-se que a nossa galáxia tenha um diâmetro de cerca de 100 anos-luz isto é, $95 \cdot 10^{17}$ m. Se isto for verdadeiro, cabem alinhados no diâmetro de nossa galáxia cerca de 8×10^8 sistemas solares idênticos ao nosso.

Cada planeta revolve ou orbita em torno do Sol e ao mesmo apresenta um movimento de rotação ao redor de seu próprio eixo. Cada planeta apresenta então um movimento de translação simultâneo com movimento de rotação. O movimento de translação ao redor do Sol obedece às Leis de Kepler, que veremos mais adiante.

Os planos das órbitas de cada planeta praticamente se coincidem, com excessão da órbita de Plutão, que é bastante inclinada em relação às outras. A figura abaixo esquematiza estes planos.



O período de revolução da Terra ao redor do Sol constitui o que conhecemos por **ano terrestre**, isto é, em cada ano a Terra completa uma volta ao redor do Sol. Mercúrio, que é o planeta mais próximo do Sol, realiza uma volta completa em cada 88 dias terrestres e apresenta um tempo de rotação ao redor de seu próprio eixo igual a 88 dias. O tempo de revolução ao redor do Sol e o tempo de rotação ao redor de seu próprio eixo coincidem para Mercúrio. Esta é a razão pela qual Mercúrio apresenta sempre a mesma face virada para o Sol. O mesmo ocorre com a Lua: o seu período de rotação é igual ao de revolução ao redor da Terra. Desta forma a Lua apresenta sempre a mesma face virada para a Terra. A situação é semelhante a esta: coloque uma cadeira no centro da sala e dê uma volta em torno dela, sempre olhando para a cadeira. Depois de uma volta completa o seu corpo terá dado uma rotação completa ao redor de seu próprio eixo.

ALGUMAS GRANDEZAS DO SISTEMA SOLAR

Corpo Celeste	distância média ao Sol		período de revolução (anos ter.)	período de rotação	massa (kg)	diâmetro médio (m)	gravidade superf. (N/kg)	velocidade de escape (m/s)
	U.A.	m						
Mercúrio	0,39	$58,5 \times 10^9$	$\cong 0,241$	$\cong$ 88 dias	$\cong 0,33 \times 10^{24}$	$\cong 4,8 \times 10^6$	$\cong 3,8$	$\cong 4,3 \times 10^3$
Vênus	0,72	108×10^9	0,615	245 dias retrógrado	$4,9 \times 10^{24}$	$12,3 \times 10^6$	8,5	$10,2 \times 10^3$
Terra	1,0	150×10^9	1,00	24 horas	6×10^{24}	$12,6 \times 10^6$	9,8	$11,2 \times 10^3$
Marte	1,52	228×10^9	1,88	24,6 horas	$0,65 \times 10^{24}$	$6,7 \times 10^6$	3,7	5×10^3
Júpiter	5,2	780×10^9	11,86	10 horas	1910×10^{24}	$141,4 \times 10^6$	24,9	$59,5 \times 10^3$
Saturno	9,51	1430×10^9	29,5	10,2 horas	571×10^{24}	120×10^6	10,4	$35,4 \times 10^3$
Urano	19,25	2890×10^9	84,01	10,8 horas	$87,5 \times 10^{24}$	$47,15 \times 10^6$	10,3	$22,1 \times 10^3$
Netuno	30,2	4530×10^9	164,8	15,8 horas	104×10^{24}	$44,2 \times 10^6$	13,7	25×10^3
Plutão	39,64	5950×10^9	250	?	$1,1 \times 10^{24}$	$5,9 \times 10^6$	8,1	7×10^3
Sol	–	–	–	25 dias	2×10^{30}	1400×10^6	–	–
Lua	–	–	–	27 dias	$0,074 \times 10^{24}$	$3,44 \times 10^6$	1,7	$2,4 \times 10^3$

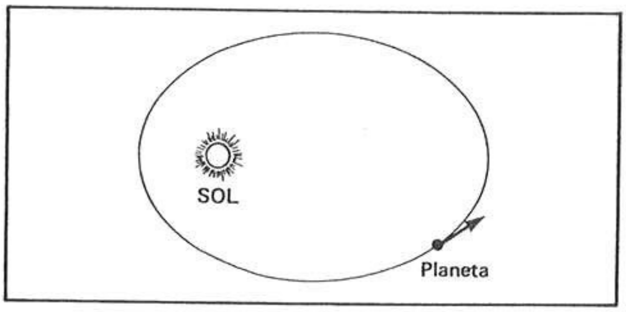
O quadro acima sintetiza diversas características físicas dos planetas. Por exemplo, o planeta Júpiter tem período de revolução ou orbital igual 11,86 anos terrestres e dá uma volta completa ao redor de seu eixo em 10 horas. Na sua superfície a gravidade vale quase 25 N/kg e a velocidade de escape, na superfície, é cerca de 60×10^3 m/s, isto é, para lançarmos para fora do campo de influência gravitacional de Júpiter, um corpo qualquer, é necessário lançá-lo com esta velocidade. Você verá esta parte mais adiante.

D – AS LEIS DE KEPLER DO MOVIMENTO PLANETÁRIO

Tycho Brahe, astrônomo dinamarquês, nasceu em 1546. Catalogou as posições de milhares de estrelas e dos planetas. Johannes Kepler, nascido em 1571, aluno de Tycho Brahe, analisando os dados colhidos pelo seu mestre, buscou encontrar um sistema matemático que representasse o sistema planetário, isto é, tentou construir uma cinemática do movimento planetário.

A sua busca não foi em vão. O resultado de seu trabalho se consubstancia nas suas 3 leis:

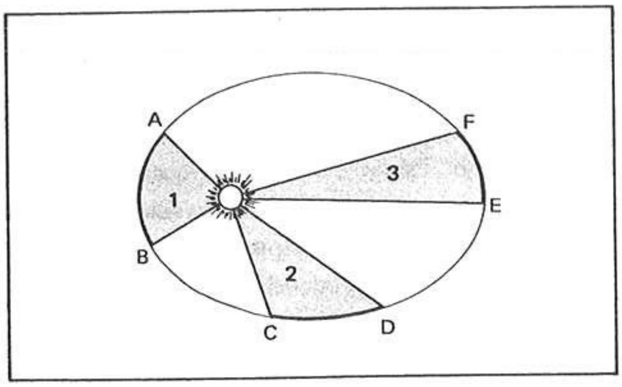
1ª Lei de Kepler: (lei das órbitas) Os planetas descrevem órbitas elípticas. Em um dos focos está o Sol.



2ª Lei de Kepler: (lei das áreas) O raio vetor que une o planeta ao Sol descreve áreas iguais em intervalos de tempos iguais.

Área (1) = Área (2) = Área (3),

desde que $\Delta t_{AB} = \Delta t_{CD} = \Delta t_{EF}$



3ª Lei de Kepler: (lei dos períodos) Os cubos das distâncias médias de quaisquer dois planetas ao redor do Sol estão entre si assim como os quadrados de seus períodos de revolução: Simbolicamente:

$$\frac{R_1^3}{R_2^3} = \frac{T_1^2}{T_2^2}$$

onde R_1 é a distância média do planeta 1 ao Sol e R_2 a do planeta 2. T_1 é o período de revolução do planeta 1 ao redor do Sol e T_2 o período do planeta 2.

Pelo que você leu e observou, as Leis de Kepler nada dizem sobre as forças que mantêm os planetas em suas órbitas. Kepler simplesmente descreveu quantitativamente os movimentos observados dos planetas. Não fez nenhuma consideração teórica.

Isaac Newton, nascido em 1642, reunindo os modelos de Copérnico, Kepler e outros, construiu a dinâmica do movimento planetário. A Gravitação Universal que você estudou na seção 1 deste capítulo constitui a força que faz com que os planetas descrevam órbitas ao redor do Sol que obedecem às leis de Kepler.

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

1 ■ Qual o nome que se dá ao sistema do qual faz parte a Terra?

2 ■ Em que sistema maior se encontra o Sistema Solar?

3 ■ O que é a Via-Láctea?

4 ■ Quem estabeleceu o Sistema Geocêntrico? O que significa sistema geocêntrico?

5 ■ O que quer dizer "planeta"?

6 ■ Quais os planetas conhecidos na época de Ptolomeu?

7 ■ Descreva o Sistema Heliocêntrico. A quem se deve o estabelecimento deste sistema?

8 ■ Qual foi o planeta descoberto por Herschel?

9 ■ O que são asteróides? Onde se localizam?

10 ■ Descreva o Sistema Solar atual, dando nomes aos seus constituintes mais importantes.

11 ■ Quantos satélites naturais possui Marte?

12 ■ Qual é a distância entre a Terra e o Sol?

13 ■ O que são unidade astronômica e ano-luz?

14 ■ Quanto vale uma unidade astronômica?

15 ■ Quanto vale um ano-luz?

16 ■ Relativamente ao plano de órbita da Terra, situe os planos das órbitas dos outros planetas.

17 ■ Cometas e meteoritos são componentes do Sistema Solar?

18 ■ Quem foi Tycho Brahe? E Johannes Kepler?

19 ■ Quantas são as Leis de Kepler?

20 ■ Enuncie cada uma delas.

21 ■ As Leis de Kepler dão uma descrição cinemática ou dinâmica do movimento planetário? Explique.

22 ■ Quem foi o responsável pela descrição dinâmica do movimento planetário?

Após isso, você deve estar apto para:

a. descrever o Sistema Geocêntrico.
b. descrever o Sistema Heliocêntrico.
c. dar os nomes dos planetas que compõem o Sistema Solar.
d. descrever as Leis de Kepler do movimento planetário.

SEÇÃO 3 – MOVIMENTO PLANETÁRIO EM ÓRBITA CIRCULAR

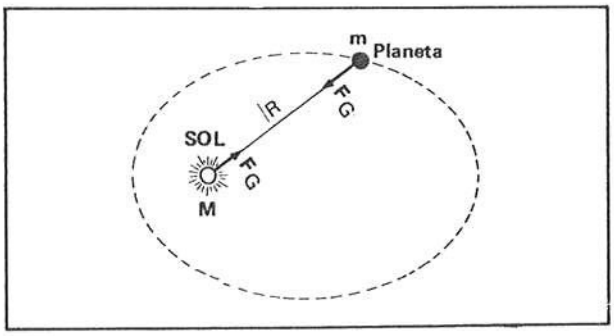
Na seção 1 vimos a força de interação gravitacional entre duas massas quaisquer e, na seção 2, vimos uma breve descrição do sistema planetário.

Nesta seção iremos analisar alguns aspectos do movimento planetário em órbita circular. Que tipo de aceleração ou força mantém um planeta girando em órbita circular ao redor do Sol? Que tipo de força ou aceleração fica sujeito um satélite artificial de órbita circular ao redor da Terra? Como podemos determinar a velocidade orbital ou linear da Terra ao redor do Sol? Um satélite em órbita circular ao redor da Terra a uma determinada distância do centro do globo terrestre pode ter qualquer velocidade orbital? Como podemos determinar o período de movimento de um satélite artificial? Todas estas perguntas podem ser respondidas se você estudar com atento esta seção.

Para efeitos didáticos esta seção foi dividida em 2 partes: na parte A estudaremos a força e aceleração resultante sobre um planeta ou satélite artificial em órbita circular, e na parte B, determinaremos a sua velocidade orbital e período.

A – FORÇA E ACELERAÇÃO RESULTANTE SOBRE UM PLANETA OU SATÉLITE

1 ■ A figura ao lado representa um planeta de massa m em seu movimento orbital ao redor do ________.
A trajetória (é; não é) elíptica. O sol ocupa um dos ____________________ da elipse.



****

Sol; é; focos

2 ■ O Sol (atrai; não atrai) o planeta com força F_G = ______________ e (é; não é) atraído pelo planeta com força de mesma intensidade e direção, porém de sentido ______________.

****

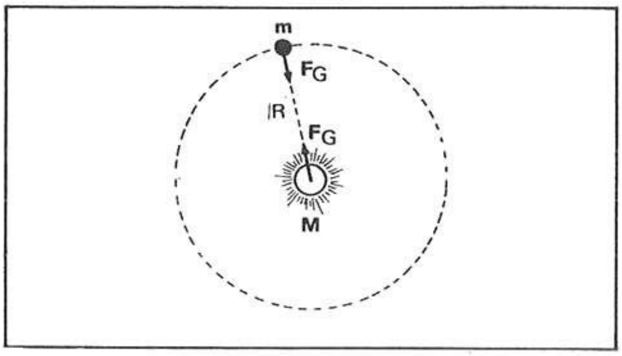
atrai; $\dfrac{G \cdot M \cdot m}{R^2}$; é; oposto

3 ■ No sistema planetário, o Sol (representa; não representa) o centro de atração ou centro de forças do sistema. O Sol interage gravitacionalmente com cada planeta e nesta interação a força com que o Sol solicita cada planeta dirige-se para o ______________.

****

representa; Sol (ou centro de atração ou centro de força do sistema)

4 ■ Para facilidade de nossas considerações e cálculos iniciais admitamos que as trajetórias elípticas sejam aproximadamente circulares, de forma que possamos considerar o movimento planetário como se fossem ______________.



****

circulares.

5 ■ A força que o Sol exerce sobre o planeta (é; não é) central, isto é, dirige-se para centro de forças.

****

é

6 ■ Portanto, a única força que o planeta recebe, na interação Sol-planeta, é a força gravitacional do Sol sobre o planeta. Vamos desprezar a força de interação dos planetas entre si. Como a força exercida pelo Sol sobre o planeta é central, então ela (será; não será) perpendicular à sua trajetória.

****

será

7 ■ A força gravitacional do Sol sobre cada planeta, na interação planeta-Sol, (corresponde; não corresponde) portanto à força centrípeta sobre o planeta.

****

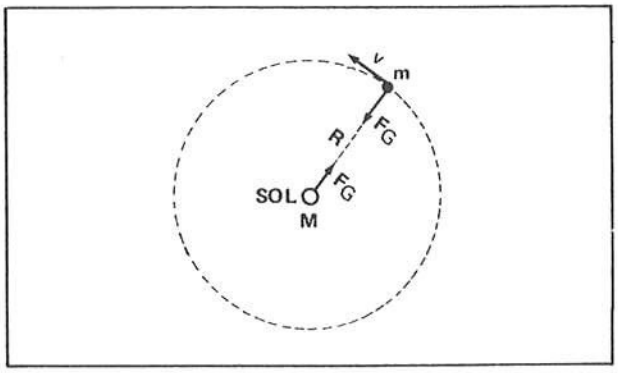
corresponde

8 ■ Logo, a força gravitacional do Sol sobre cada planeta, sendo centrípeta (dirigida para o centro; dirigida para fora do centro), atuará somente no sentido de desviar a trajetória do planeta, tornando-a curvilínea, no caso, circular. Portanto, o módulo da **velocidade linear** ou **orbital** do planeta (permanecerá; não permanecerá) constante. Então, se considerarmos circular a trajetória do planeta, este executará um movimento circular (uniforme; não uniforme).

****

dirigida para o centro; permanecerá; uniforme

9 ■ Portanto, um planeta de massa m em movimento circular de raio R ao redor do Sol e com velocidade orbital v sofre a ação de uma força gravitacional de módulo F_G = ______________________.
Esta força (é; não é) central.



****

$\frac{G \cdot M \cdot m}{R^2}$; é

10 ■ A força centrípeta sobre o planeta (é; não é) igual à força gravitacional do Sol sobre o planeta. Portanto, a força sobre o planeta pode ser determinada aplicando a Lei de Gravitação de Newton, isto é, F_G = ______________________ ou pela força centrípeta, isto é, F_C = ______________________.

****

é; $\frac{G \cdot M \cdot m}{R^2}$; $\frac{m \cdot v^2}{R}$

11 ■ A aceleração resultante sobre um corpo dirige-se sempre segundo a direção e sentido da força. No planeta em órbita circular, a força sobre o planeta (é; não é) centrípeta, isto é, central. Portanto a aceleração sobre o planeta será ______________________.

****

é; centrípeta ou central

12 ■ Segundo a 2ª Lei de Newton, $F = m \cdot a$. Portanto, a = ______________________.

****

$\frac{F}{m}$

13 ■ Logo, a aceleração sobre o planeta, que é centrípeta, pode ser expressa por a_c = ______________________ (em função de G; M; R).

****

$$\frac{\frac{G \cdot M \cdot m}{R^2}}{m} = \frac{G \cdot M}{R^2}$$

14 ■ Portanto, a aceleração sobre o planeta (depende; não depende) de sua massa. A aceleração sobre o planeta depende da massa do Sol, da constante de gravitação universal e da ______________________.

****

não depende; distância do planeta ao sol

15 ■ A aceleração do planeta também pode ser expressa a partir da força centrípeta. Portanto, a_c = ______________________ (em função de v e R).

****

$$a_c = \frac{\frac{m \cdot v^2}{R}}{m} = \frac{v^2}{R}$$

16 ■ Sintetizando: se admitirmos o movimento planetário com órbita circular, sobre cada planeta atuará uma força centrípeta que (é; não é) igual à força gravitacional do Sol sobre o planeta. Esta força pode ser expressa por:

F_c = ______________ (em função m, v e R)

F_G = ______________ (em função de G, M, m e R)

A aceleração resultante sobre o planeta pode ser expressa por

a_c = ____________ = ______________

****

é; $\dfrac{m \cdot v^2}{R}$; $\dfrac{G \cdot M \cdot m}{R^2}$; $\dfrac{G \cdot M}{R^2}$; $\dfrac{v^2}{R}$

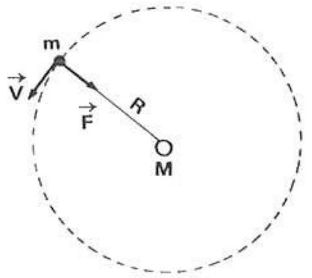
PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

Admita que a Terra tenha órbita circular ao redor do Sol. Sendo $M = 2 \times 10^{30}$ kg a massa do Sol; $m = 6 \times 10^{24}$ kg a massa da Terra, e $R = 150 \times 10^9$ m o raio da órbita da Terra, determinar:

a) a intensidade da força centrípeta;

b) a aceleração centrípeta do movimento da Terra.



1 ■ Já vimos que a força centrípeta sobre cada planeta é igual a ______________________.

****

força de atração gravitacional do Sol sobre o planeta

2 ■ Portanto, se determinarmos a força gravitacional estaremos determinando a força centrípeta. Logo, $F_c = F_G$ = ______________________.

****

$$\frac{G \cdot M \cdot m}{R^2} = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \cdot 2 \times 10^{30} \cdot 6 \times 10^{24}}{(150 \times 10^9)^2} \cong 3{,}6 \times 10^{22}\ \text{N}$$

3 ■ A aceleração do planeta Terra será dada por $a = \dfrac{F}{m}$ = ______________________.

****

$$\frac{3{,}6 \times 10^{22}}{6 \times 10^{24}} = .6 \times 10^{-3}\ \text{m/s}^2$$

PROBLEMA 2

O planeta Vênus dista 108×10^9 m do centro do Sol e possui massa igual a $4{,}9 \times 10^{24}$ kg. Determine:

a) a força centrípeta necessária para mantê-lo em órbita circular ao redor do Sol;

b) a sua velocidade orbital ou linear v.

1 ■ A força centrípeta = força ______________ = ______________ N.

****

gravitacional; $\dfrac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 2 \times 10^{30} \times 4{,}9 \times 10^{24}}{(108 \times 10^9)^2} \cong 5{,}6 \times 10^{22}$ N

2 ■ A aceleração do planeta (é; não é) centrípeta. Portanto, a aceleração pode ser expressa em função da velocidade orbital e do raio da órbita. a_c = ______________.

****

é; $\dfrac{v^2}{R}$

3 ■ A força sobre Vênus, devido ao Sol, vale F = ______________ e a sua massa é ______________. Portanto sua aceleração centrípeta vale: ______________.

****

$5{,}6 \times 10^{22}$ N; $4{,}9 \times 10^{24}$ kg; $a_c = \dfrac{F}{m} \cong 1{,}1 \times 10^{-2} \dfrac{m}{s^2}$

4 ■ Mas como $a_c = \dfrac{v^2}{R}$ então, v = ______________ m/s.

****

$v = \sqrt{a_c \cdot R} \cong 35 \times 10^3$ m/s

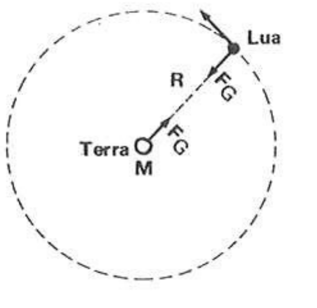
PROBLEMA 3

A Lua possui massa $m = 7{,}4 \times 10^{22}$ kg e gira ao redor da Terra em órbita supostamente circular com raio $R = 3{,}8 \times 10^8$ m. Sendo $M = 6 \times 10^{24}$ kg a massa da Terra, determinar:

a) a força que a Terra exerce sobre a Lua para mantê-la em órbita circular;

b) a aceleração da Lua em direção à Terra,

c) a velocidade orbital da Lua.



1 ■ Existe interação gravitacional entre Terra-Lua. Como no caso do modelo planetário, onde o Sol ocupava o centro de força do sistema, no movimento da Lua ou qualquer outro satélite artificial ao redor da Terra, o centro de força é a ______________________.

****

própria Terra

2 ■ Portanto, quem supre a Lua de força centrípeta necessária para o seu movimento circular é a Terra. Portanto, a força que a Terra exerce sobre a Lua é F = ______________________________________.

****

$$\frac{G \cdot M \cdot m}{R^2} = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24} \cdot 7{,}4 \times 10^{22}}{(3{,}8 \times 10^8)^2} \cong 21 \times 10^{19}\,N \cong 2{,}1 \times 10^{20}\,N$$

3 ■ Sendo $m = 7{,}4 \times 10^{22}$ kg a massa da Lua e $F = 2{,}1 \times 10^{20}$ N a força centrípeta sobre ela, então a sua aceleração terá intensidade a = ________________.

****

$$a = \frac{F}{m} \cong 2{,}8 \times 10^{-3}\ m/s^2$$

4 ■ Esta aceleração (é; não é) centrípeta. Portanto ela está dirigida sempre para o centro de força que é a Terra.

****

é

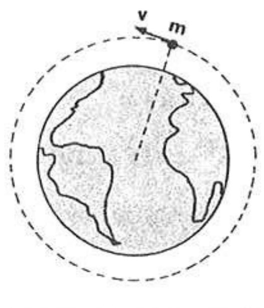
5 ■ A velocidade orbital da Lua valerá v = ________________.

****

$$v = \sqrt{a_c \cdot R} \cong 1\,030\ m/s$$

PROBLEMA 4

Calcular a velocidade linear ou orbital de um satélite artificial terrestre de massa 200 kg que gira ao redor da Terra a uma altura de 600 km acima de sua superfície. Dado: raio da Terra = 6 400 km



1 ■ A força centrípeta sobre o satélite (é; não é) igual a força gravitacional da Terra sobre o satélite.

****

é

2 ■ $F = \frac{G \cdot M \cdot m}{R^2}$. Esta expressão permite calcular a força gravitacional sobre o satélite. Nesta expressão m = massa do satélite, M = ______________________ e R é o raio da órbita. No caso R = (600 km; 6 400 km; 7 000 km).

****

massa da Terra; 7 000 km (a distância é sempre tomada em relação ao centro dos corpos)

3 ■ Portanto, F = ______________________.

****

$$\frac{6{,}67 \times 10^{-11} \cdot 6 \times 10^{24} \cdot 200}{(7\,000 \times 10^3)^2} \cong 1{,}6 \times 10^3 \text{ N}$$

4 ■ A aceleração à qual fica o satélite sujeito é a = ______________________.

****

$$\frac{F}{m} \cong \frac{1{,}6 \times 10^3}{200} \cong 8 \text{ m/s}^2$$

5 ■ Esta aceleração é (centrípeta; tangencial).

****

centrípeta (sempre dirigida para o centro de força)

6 ■ Logo, a velocidade orbital do satélite é v = ______________________.

****

$$\sqrt{a_c \cdot R} = \sqrt{56 \times 10^6} \cong 7{,}5 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ O planeta Marte possui órbita aproximadamente circular ao redor do Sol, a uma distância de $2{,}3 \times 10^{11}$ m e massa $m = 0{,}65 \times 10^{24}$ kg. Determine:

a) a força gravitacional sobre Marte devido ao Sol;
b) a força centrípeta sobre Marte;
c) a aceleração resultante sobre Marte; dar intensidade e direção;
d) a velocidade orbital de Marte.

2 ■ Júpiter dista do Sol cerca de 780×10^9 m e possui massa $m = 1\,900 \times 10^{24}$ kg. Considerando órbita circular, determine a velocidade orbital de Júpiter ao redor do Sol.

3 ■ Um satélite artificial da Terra possui massa m = 500 kg e orbita a uma distância de $8\,000 \times 10^3$ metros do centro da Terra. Determine a velocidade orbital deste satélite.

4 ■ Um satélite artificial é colocado em órbita lunar. Sendo m = 600 kg a massa do satélite e $R = 4\,000 \times 10^3$ m a órbita deste satélite ao redor da Lua, determine a velocidade orbital, a aceleração e a força centrípeta sobre este satélite. Massa da Lua = $7{,}4 \times 10^{22}$ kg.

RESPOSTAS

1 ■ a) $F_G = \ \cong 1{,}64 \times 10^{21}$ N
b) $F_c = F_G \cong 1{,}64 \times 10^{21}$ N
c) $a = a_c = 2{,}52 \times 10^{-3}$ m/s^2; dirigida de Marte para o Sol
d) $v \cong 2{,}4 \times 10^4$ m/s

2 ■ $v \cong 1{,}3 \times 10^4$ m/s

3 ■ $v \cong 7 \times 10^3$ m/s

4 ■ $v \cong 1{,}1 \times 10^3$ m/s; $a = a_c \cong 3{,}1 \times 10^{-1}$ m/s^2;
$F_c = m\,a_c \cong 186$ N

B – VELOCIDADE LINEAR ou ORBITAL
PERÍODO

1 ■ Já vimos que todo corpo em movimento circular fica sujeito a uma força ________________, isto é, dirigida para o centro do círculo. No movimento planetário, considerando as órbitas circulares, a força centrípeta sobre cada planeta ou satélite é igual a força ________________________________.

* * * * * * * * * * * *

centrípeta; gravitacional sobre o planeta ou satélite

2 ■ Cada planeta ou satélite em órbita circular ao redor de seu centro de força, possui uma aceleração que é ________________________ e uma velocidade orbital v constante, pois a única força que atua sobre o satélite ou planeta dirige-se para o centro de força.

* * * * * * * * * * * *

centrípeta

3 ■ Na parte A desta seção vimos que a aceleração de um planeta ao redor do Sol é dada por: a_c = ________ (em função da velocidade orbital e do raio da órbita).

* * * * * * * * * * * *

$\frac{v^2}{R}$

4 ■ Vimos também que a aceleração do planeta pode ser dada por: a_c = ________________________ (em função de G, massa do Sol e R).

* * * * * * * * * * * *

$\frac{G \cdot M}{R^2}$

5 ■ Portanto, podemos igualar as duas expressões:

________________ = ________________

* * * * * * * * * * * *

$\frac{v^2}{R}$; $\frac{G \cdot M}{R^2}$

6 ■ Portanto, $\frac{v^2}{R} = \frac{G \cdot M}{R^2}$. Cancelando R em cada membro, teremos:

v^2 = ________________ ou v = ________________.

* * * * * * * * * * * *

$\frac{G \cdot M}{R}$; $\sqrt{\frac{G \cdot M}{R}}$

7 ■ $v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R}}$. Esta expressão permite calcular a velocidade ________________________ de qualquer planeta ao redor do Sol. Na expressão, M é a massa do (planeta; Sol); R é o ________________________ e G é a Constante Universal de Gravitação e vale: ________________________________ (número e unidade).

* * * * * * * * * * * *

orbital ou linear; Sol; o raio da órbita do planeta; $6{,}67 \times 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$

8 ■ Esta expressão também é aplicada para se calcular a velocidade orbital de qualquer satélite artificial ao redor da Terra ou de qualquer outro planeta. No caso de um satélite artificial ao redor da Terra M deve representar a ____________________ e R o ________________________.
G (continua; não continua) valendo $6{,}67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2/kg^2}$.

****

massa da Terra; raio da órbita do satélite; continua

9 ■ Quando estudamos o movimento circular uniforme, vimos que a velocidade linear relacionava-se com o período T e o raio do círculo pela seguinte expressão: v = ________________.

****

$$\frac{2\pi R}{T}$$

10 ■ Portanto, se quisermos determinar o período de um planeta ou satélite artificial ao redor de seu respectivo centro de força, devemos substituir $v = \frac{2\pi R}{T}$ na expressão $v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R}}$. Substituindo e fazendo os cálculos teremos T = ________________.

****

$$\frac{2\pi R}{T} = \sqrt{\frac{GM}{R}} \qquad T = \frac{2\pi R}{\sqrt{\frac{GM}{R}}}$$

11 ■ $T = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\sqrt{\frac{G \cdot M}{R}}}$ No Sistema Internacional de Unidades, isto é, se R for expresso em __________, M em __________ e $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2/kg^2}$, então o período T será expresso em ________________.

****

metros; kg; segundos.

12 ■ O período T representa o tempo que um planeta leva para dar uma volta completa ao redor do Sol. O período T (corresponde; não corresponde) ao que denominamos de **ano**. O período de revolução da Terra ao redor do Sol é __________ ano ou __________ dias.

****

corresponde; 1; 365

13 ■ T = ____________________. Eleve ambos os membros ao quadrado. Teremos
T^2 = ________________.

****

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\sqrt{\frac{G \cdot M}{R}}} \ ; \ \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R^2}{\frac{G \cdot M}{R}} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R^3}{G \cdot M}$$

14 ■ $T^2 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R^3}{G \cdot M}$. A partir desta expressão podemos determinar a 3ª Lei de Kepler: "o cubo da distância média de quaisquer dois planetas ao Sol estão entre si assim como os quadrados de seus períodos de revolução". Sejam os planetas 1 e 2, de períodos e raios respectivamente iguais a T_1, R_1 e T_2, R_2.
Então: T_1^2 = ________________ e T_2^2 = ________________.

****

$$\frac{4\pi^2 R_1^3}{GM} \ ; \ \frac{4\pi^2 R_2^3}{GM}$$

15 ▪ Portanto, $\frac{T_1^2}{T_2^2}$ = ______________

****

$$\frac{\frac{\cancel{4\pi^2} R_1^3}{\cancel{GM}}}{\frac{\cancel{4\pi^2} R_2^3}{\cancel{GM}}} = \frac{R_1^3}{R_2^3}$$

PROBLEMAS RESOLVIDOS

PROBLEMA 1

O planeta Marte possui órbita circular (aproximadamente) ao redor do Sol a uma distância de $2{,}3 \times 10^{11}$ m. Sendo $M = 2 \times 10^{30}$ kg a massa do Sol, determinar a velocidade orbital e o período de revolução de Marte em torno do Sol.

1 ▪ A velocidade linear é dada por v = ______________ (em função de G, M e R).

****

$$\sqrt{\frac{G \cdot M}{R}}$$

2 ▪ Portanto, v = ______________ m/s.

****

$\cong 2{,}4 \cdot 10^4$ m/s

3 ▪ O período de revolução é expresso por T^2 = ______________.

****

$$\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R^3}{G \cdot M}$$

4 ▪ Portanto, T^2 = ______________ e T = ______________ s.

****

$\cong 36 \times 10^{14}\ s^2$; $\cong 6 \times 10^7$ s

5 ▪ Portanto, Marte dá uma volta completa ao redor do Sol em 6×10^7 s. Vejamos a quantos anos terrestres corresponde este tempo. Um ano terrestre é igual a 365 dias; cada dia corresponde a 86 400 s, logo 1 ano terrestre possui ______________ s. Logo, o período de Marte corresponderá a ______________ anos terrestres.

****

31 536 000 $\cong 3{,}15 \times 10^7$ s; $\cong 1{,}9$ (faça regra de três)

PROBLEMA 2

Um satélite artificial gira ao redor da Terra a $8 \cdot 10^6$ metros do centro da Terra em órbita circular. Sendo $M = 6 \times 10^{24}$ kg a massa da Terra, determine o período e a velocidade orbital do satélite.

1 ■ O período T^2 = ______________ e a velocidade v = ______________.

****

$\dfrac{4 \cdot \pi^2 \cdot R^3}{G \cdot M}$; $\sqrt{\dfrac{G \cdot M}{R}}$

2 ■ Portanto, sendo R = ______________ m e M = ______________, teremos que o período T = ______________.

****

8×10^6 m; 6×10^{24} kg; $7{,}1 \times 10^3$ s $\cong$ 118 minutos e 20 segundos

3 ■ A velocidade orbital v = ______________.

****

$\cong 7 \times 10^3$ m/s

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Mercúrio é o planeta mais próximo do Sol. A sua órbita possui raio igual a 59×10^9 metros. Determine o período e velocidade orbital.

2 ■ A Lua possui massa $M = 7{,}4 \times 10^{22}$ kg. Qual o período de um satélite artificial que gira ao redor do nosso satélite natural em órbita de raio 5×10^6 m?

3 ■ Suponha a Terra perfeitamente esférica, de raio $R = 6{,}4 \times 10^6$ m. Sendo $M = 6 \times 10^{24}$ kg a sua massa, determine o período de um satélite artificial cuja órbita fosse próxima à superfície da Terra. Qual deveria ser a sua velocidade orbital?

RESPOSTAS

1 ■ $T \cong 7{,}8 \times 10^6$ s $\cong$ 90 dias;
$v = \dfrac{2\pi R}{T} \cong 4{,}8 \times 10^3$ m/s

2 ■ $T \cong 3{,}2 \times 10^4$ s $\cong$ 8,9 horas

3 ■ $T \cong 5{,}1 \times 10^3$ s $\cong$ 85 min;
$v = \sqrt{\dfrac{GM}{R}} \cong 7{,}9 \times 10^3$ m/s

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ No sistema planetário, o Sol representa o centro de força?

2 ■ Na interação planeta-Sol, para onde se dirige a força sobre cada planeta?

3 ■ A força gravitacional do Sol sobre cada planeta corresponde a força centrípeta sobre o planeta?

4 ■ Considerando movimentos circulares os movimentos dos planetas ao redor do Sol, a força gravitacional do Sol sobre cada um deles atua no sentido de aumentar a velocidade linear ou orbital? Explique.

5 ■ Sendo v a velocidade orbital de um planeta ao redor do Sol, a uma distância R, qual a expressão da força centrípeta sobre o planeta? E em função de G, M, m e R, qual a expressão desta mesma força?

6 ■ A aceleração centrípeta sobre cada planeta é central, isto é, dirigida para o centro. Qual sua expressão em função da velocidade orbital e do raio da órbita? A aceleração centrípeta depende da massa do planeta?

7 ■ Em função de G, M e R, onde M é a massa do Sol e R o raio da órbita de um planeta, como se define a aceleração desse planeta?

8 ■ Para um satélite artificial ao redor da Terra, identifique o centro de força.

9 ■ Qual é o centro de força para um satélite artificial ao redor da Lua?

10 ■ Deduzir a expressão que define o período de um planeta ou satélite ao redor do respectivo centro de força.

11 ■ Deduzir a 3ª Lei de Kepler (a lei dos períodos).

Após isso, você deve estar apto para:

a. calcular a força centrípeta sobre um planeta ou satélite artificial cuja órbita tenha raio R ao redor do centro de força.
b. calcular o período e a velocidade tangencial de um planeta ou satélite de órbita de raio R ao redor do centro de força.
c. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Um satélite artificial terrestre possui órbita de raio $6{,}67 \times 10^6$ m. Determinar o módulo e a direção da aceleração deste satélite. Admitir circular a sua órbita.

2 ■ Determinar a velocidade orbital do satélite mencionado no problema 1.

3 ■ Determinar o período de revolução do satélite mencionado no problema 1.

4 ■ Um satélite artificial possui órbita circular ao redor da Terra de raio 9×10^6 metros. Determine o seu período e sua velocidade orbital.

5 ■ Um satélite artificial terrestre possui período T = 24 horas. Determine.
a) raio de sua órbita circular;
b) sua velocidade orbital (Dado: raiz cúbica de 76 $\cong$ 4,23).

RESPOSTAS

1 ■ $a = a_c \cong 9\ m/s^2$; para o centro da Terra

2 ■ $v \cong 7{,}7 \times 10^3\ m/s$

3 ■ $T \cong 5{,}4 \times 10^3\ s$

4 ■ $T \cong 8{,}48 \times 10^3 \cong 141$ min; $v = 6{,}6 \times 10^3\ m/s$

5 ■ $T^2 = \dfrac{4\pi^2 R^3}{GM}$:

$$R = \sqrt[3]{\frac{G \cdot M \cdot T^2}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{75{,}7 \cdot 10^{21}} \cong$$

$$\cong 4{,}23 \times 10^7\ m$$

b) $v = \dfrac{2\pi R}{T} \cong 3\,000\ m/s$

SEÇÃO 4 — CAMPO GRAVITACIONAL

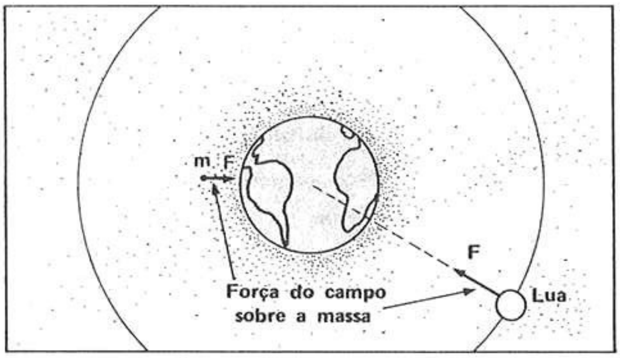
Nesta seção iremos desenvolver um conceito importante no estudo dos fenômenos físicos, que é o conceito de campo gravitacional. Em capítulos seguintes iremos analisar outros tipos de campos como o elétrico e o magnético.

Analisaremos nesta seção o campo gravitacional ao redor da Terra e definiremos como determinar a intensidade do campo gravitacional e a sua variação com a distância ao centro da força. Faremos também uma análise do peso de um corpo em termos do campo gravitacional e a sua natureza vetorial. Estabeleceremos também o conceito de linhas de forças do campo gravitacional que será de importância para o estudo de campo elétrico e magnético que você verá em capítulos seguintes.

Esta seção foi dividida em 4 partes: na parte A veremos o conceito de campo gravitacional e definiremos a sua intensidade; na parte B estudaremos a variação da intensidade do campo gravitacional com a distância ao centro de força, isto é, da massa que cria o campo; na parte C retornaremos, ligeiramente, ao peso de um corpo num campo gravitacional e na parte D, analisaremos o campo gravitacional sob o ponto de vista vetorial e estabeleceremos o conceito de linhas de força.

A — CONCEITO DE CAMPO GRAVITACIONAL

- CAMPO GRAVITACIONAL AO REDOR DA TERRA
- INTENSIDADE DE CAMPO GRAVITACIONAL



1 ■ A figura ao lado representa a Terra. Qualquer objeto em sua proximidade (é; não é) atraído para ela. A interação entre os objetos e a Terra é denominada interação ____________________.
A força que a Terra exerce sobre os objetos (depende; não depende) de meio material, pois a influência gravitacional se faz sentir em objetos a milhões de quilômetros de distância, como por exemplo, a Lua.

****

é; gravitacional; não depende

2 ■ Dizemos que a Terra, como centro de força, cria um campo de influência gravitacional ao seu redor, pois qualquer corpo situado no espaço que a rodeia (é; não é) influenciado gravitacionalmente por ela. A Terra atrai para o seu centro todos os corpos situados em sua proximidade. Este campo de influência é denominado campo ____________________.

****

é; **gravitacional**

3 ■ Então, a maçã e a Lua são atraídas pela Terra porque elas se encontram no campo de influência da Terra, isto é, no ____________________ terrestre.

****

campo gravitacional

4 ■ O campo gravitacional terrestre é de (atração; repulsão), pois todos os corpos são (atraídos; repelidos) pela Terra. O campo gravitacional não é privilégio da Terra. Na realidade, todos os corpos criam ao seu redor um campo gravitacional. A Lua, o Sol, a maçã (criam; não criam) ao seu redor um campo gravitacional.

****

atração; atraídos; criam.

5 ■ A Terra e todos os planetas situam-se no campo gravitacional criado pelo ________. A Lua gira no campo gravitacional criado pela ________. No primeiro caso o centro de força gravitacional é o ________ e no segundo, a ________.

****

Sol; Terra; Sol; Terra

6 ■ Nós não percebemos a intensidade do campo gravitacional ao redor de uma maçã devido ao fato de sua massa ser muito pequena. A Terra, em virtude de possuir grande (massa; volume) cria um campo gravitacional cuja intensidade (é; não é) perceptível pelos orgãos sensoriais humanos.

****

massa; é

7 ■ A intensidade do campo gravitacional criado por um centro de força gravitacional é definida como sendo igual a **intensidade da força gravitacional** (F_G) com que um corpo é atraído, **dividido pela massa m** deste corpo. Representaremos a intensidade do campo gravitacional pela letra g. Então, g = ________ (em função de F_G e m).

****

$\frac{F_G}{m}$

8 ■ Portanto, se quisermos determinar a intensidade do campo gravitacional em um ponto P do espaço que rodeia a Terra devemos colocar neste ponto um corpo de massa m (evidentemente bem menor que a da Terra) medir a intensidade da força de atração gravitacional da Terra sobre a massa e (dividir; multiplicar) a intensidade da força F_G pela ________ do corpo.

****

dividir; massa m

9 ■ $g = \frac{F_G}{m}$ No SI a força F_G é expressa em ________ e a massa m em ________. Portanto, o campo gravitacional será expresso em ________.

****

N; kg; N/kg

10 ■ Vamos supor que a força gravitacional sobre um corpo de massa m = 2,0 kg vale F_G = 18 N. Então o campo gravitacional neste ponto valerá g = ________.

****

9,0 N/kg

11 ■ $g = \frac{F_G}{m}$ Desta expressão podemos deduzir a expressão que nos permite calcular a intensidade da força gravitacional em função do campo gravitacional e da massa. Esta expressão é: F_G = ________.

****

$m \cdot g$

12 ■ Comumente, a força gravitacional F_G é denominada **peso**. Portanto, se a força gravitacional sobre um corpo é de 10 N, então dizemos que o peso deste corpo é P = ________.

****

10 N

13 ▪ Portanto, a expressão do peso de um corpo (já visto no FAI-1) é P = ______, isto é, o peso de um corpo (é; não é) igual a intensidade da força gravitacional sobre ele.

****

m • g; é

14 ▪ O produto da massa de um corpo pela intensidade do campo gravitacional denomina-se __________ do corpo. Então, se o campo gravitacional em um ponto X do espaço valer g = 8,0 N/kg, o peso de um corpo de massa m = 5,0 kg colocado neste ponto pesará P = ________.

****

peso; 40 N

15 ▪ O peso de um corpo de massa 20 kg, em um certo ponto X, é de 190 N. O campo gravitacional no ponto X terá intensidade g = ____________ .

****

9,5 N/kg

16 ▪ Se no ponto X, do item 16, colocarmos agora, um corpo de massa m = 10 kg, a intensidade da força gravitacional sobre o corpo será F_G = ________ .

****

95 N

17 ▪ O campo gravitacional em um ponto não depende do corpo colocado no ponto. Ele depende da massa que ocupa o centro de força gravitacional, isto é, da massa que cria o campo gravitacional. Se esse ponto estiver próximo da Terra, o campo gravitacional neste ponto dependerá da ____________ da Terra. Se o ponto considerado estiver próximo da Lua, o campo gravitacional dependerá da __________________ .

****

massa; massa da Lua

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ▪ Para dois corpos interagirem gravitacionalmente é necessário um meio material entre eles?

2 ▪ A força gravitacional depende de meio material para ser exercida? Explique.

3 ▪ Como se chama o campo de influência criado pela Terra ao seu redor?

4 ▪ O que acontece com um corpo colocado em repouso e depois abandonado em um campo gravitacional? Ele será repelido ou atraído pelo centro de força gravitacional?

5 ▪ Todos os campos gravitacionais são de atração?

6 ▪ Por que não percebemos a intensidade do campo gravitacional criado por um balão de gás inflado?

7 ▪ Como é definida a intensidade do campo gravitacional em um ponto que se situa no espaço que circunda um corpo? Dar a expressão matemática.

8 ▪ Num ponto X do espaço a força gravitacional sobre um corpo de massa m é F. Calcule a intensidade do campo gravitacional g nesse ponto.

9 ▪ O que é peso de um corpo?

10 ▪ Qual a expressão que nos permite calcular o peso de um corpo? Identifique pelo nome os elementos desta expressão.

11 ▪ O campo gravitacional em um ponto X do espaço depende do corpo que é colocado neste ponto? Explique.

Após isso, você deve estar apto para:

a. escrever o conceito de campo gravitacional.
b. definir a intensidade de campo gravitacional.
c. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Um corpo de massa m = 1,0 kg é colocado em um ponto e a força gravitacional é medida com um dinamômetro (balança de mola). O dinamômetro acusa 9,0 N. Calcule a intensidade do campo gravitacional neste ponto.

2 ■ Uma massa de 18 kg é colocada no mesmo ponto mencionado no problema 1. Quanto valerá a força gravitacional sobre ela? Quanto pesará a massa?

3 ■ Um corpo de massa m = 100 kg encontra-se num ponto X a 10×10^6 metros do centro da Terra. Sendo $M = 6 \times 10^{24}$ kg a massa da Terra,

a) calcule a intensidade da força gravitacional da Terra sobre a massa (aplicar a Lei de Gravitação Universal);
b) calcule a intensidade do campo gravitacional nesse ponto.

4 ■ Qual é o peso de um corpo de massa m = 20 kg num ponto onde a intensidade do campo gravitacional é g = 6,0 N/kg?

5 ■ O peso de um corpo de massa m = 10 kg na superfície da Lua vale 17 N. Quanto valerá o campo gravitacional na superfície da Lua?

6 ■ O peso de um corpo de massa 50 kg aqui na superfície da Terra vale 490 N. Qual o valor do campo gravitacional no local onde se encontra o corpo?

7 ■ Se o corpo da questão 6 fosse levado para a Lua, quanto ele pesaria na superfície da Lua?

8 ■ A massa do Sol é $M \cong 2 \times 10^{30}$ kg e a da Terra é $m \cong 6 \times 10^{24}$ kg. Determine a intensidade do campo gravitacional criado pelo Sol na órbita do nosso planeta, que dista 150×10^9 metros do Sol (veja o problema 3).

9 ■ Qual é o peso da Terra no campo gravitacional do Sol?

10 ■ A massa da Terra é $m \cong 6 \times 10^{24}$ kg e dista da Lua cerca de 400 000 km. Determine a intensidade do campo gravitacional criado pela Terra na órbita da Lua.

11 ■ Qual seria o peso de um astronauta na órbita da Lua? m = 80 kg é a massa do astronauta.

RESPOSTAS

1 ■ $g = 9{,}0$ N/kg

2 ■ $F_G \cong 1{,}6 \times 10^2$ N = peso

3 ■ a) $F_G \cong 4 \times 10^2$ N b) $g \cong 4$ N/kg

4 ■ $p = 1{,}2 \times 10^2$ N

5 ■ $g = 1{,}7$ N/kg

6 ■ $g = 9{,}8$ N/kg

7 ■ $p = 85$ N

8 ■ $g \cong 6 \times 10^{-3}$ N/kg

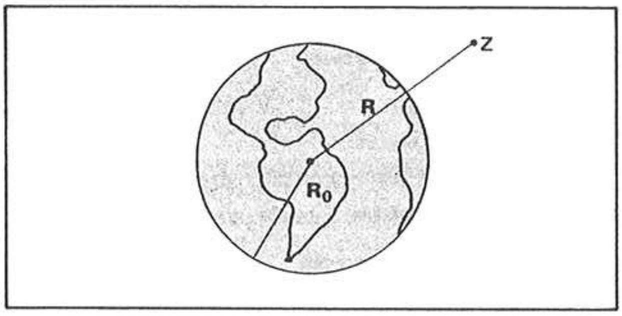
9 ■ $p = 3{,}6 \times 10^{22}$ N

10 ■ $g = 2{,}5 \times 10^{-3}$ N/kg

11 ■ $p = 2{,}0 \times 10^{-1}$ N

B — INTENSIDADE DO CAMPO GRAVITACIONAL A UMA DISTÂNCIA R DO CENTRO DE FORÇA

1 ■ Admita que a Terra seja um corpo esférico de raio R_0. No ponto Z, a uma distância R metros de seu centro, conforme ilustra a figura ao lado, (existe; não existe) campo gravitacional. Se colocarmos neste ponto um outro corpo de massa m, a Terra exercerá sobre o corpo uma força gravitacional F_G. A intensidade do campo gravitacional, neste ponto, será g = ________ (em termos de m e F_G).



****

existe; $\frac{F_G}{m}$

2 ■ A força sobre o corpo colocado no ponto Z (dirige-se; não se dirige) para o centro da Terra. Portanto, o campo gravitacional, neste ponto, dirige-se ________________________________.

****

dirige-se; para o centro da Terra

3 ■ Sendo M (kg) a massa da Terra, qual a expressão analítica que permite calcular a intensidade do campo num ponto genérico Z a uma distância R (metros) do centro da Terra? Vejamos como conseguir esta expressão. O corpo de massa m (kg) colocado no ponto Z sofrerá da Terra a ação de uma força de atração dada por F_G = ____________ (em termos de G, M, m e R).

****

$\frac{G \cdot M \cdot m}{R^2}$

4 ■ A intensidade do campo é $g = \frac{F_G}{m}$; logo, g = __________ (em termos de G, M e R).

****

$\frac{G \cdot M}{R^2}$

5 ■ Portanto, num ponto Z, a uma distância R (m) do centro da Terra, a intensidade do campo gravitacional é dada por g = ________ , onde M é ______________; G é a ______________________ e R é ______________________________. Pela expressão, podemos observar que o campo em um ponto ao redor da Terra (depende; não depende) da massa do corpo colocado no ponto.

****

$\frac{G \cdot M}{R^2}$; a massa da Terra; Constante Universal da Gravitação; a distância do ponto ao centro da Terra; não depende

6 ■ $g = \frac{G \cdot M}{R^2}$. Sendo M (kg) a massa da Terra, esta expressão nos permite calcular ____.

****

a intensidade do campo gravitacional em um ponto cuja distância ao centro da Terra é R metros

7 ■ A intensidade do campo gravitacional ao redor da Terra depende do inverso do quadrado da distância ao centro da Terra. Isto significa que quanto mais distante, (mais intenso; menos intenso) é o campo gravitacional criado pela Terra.

****

menos intenso

8 ■ $g = \frac{G \cdot M}{R^2}$. Esta expressão permite calcular a intensidade do campo gravitacional em pontos (fora; dentro) do globo terrestre, isto é, para R (maior; menor) que o raio R_0 do globo.

****

fora; maior (na verdade maior ou igual)

9 ■ O campo gravitacional na superfície da Terra é $g_0 = \frac{G \cdot M}{R^2}$, onde R_0 é o ____________________________.
Para pontos no interior da Terra (podemos; não podemos) utilizar esta expressão.

****

raio do globo terrestre; não podemos

10 ■ O campo no interior da Terra obedece outra lei e não será objeto de estudo na presente obra. Portanto, a expressão $g = \frac{G \cdot M}{R^2}$ é válida para R ____________________________.

****

igual ou maior que o raio da Terra

11 ■ Sejam $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\, N \cdot m^2/kg^2$ e a massa da Terra, $M = 6{,}0 \times 10^{24}$ kg. Calcule a intensidade do campo gravitacional ao nível da superfície da Terra. Supor o nosso planeta uma esfera de raio $R_0 = 6{,}4 \times 10^6$ m.

g_0 = ________________ (valor e unidade).

****

$g_0 \cong 9{,}8$ N/kg

12 ■ Qual é a intensidade do campo gravitacional a uma altura h = 200 km acima da superfície da Terra? A distância ao centro da Terra, no caso, será R = ______________ m, logo g = ______________ (valor e unidade).

****

$R_0 + h = 6{,}4 \times 10^6\, m + 0{,}2 \times 10^6\, m = 6{,}6 \times 10^6\, m$; $g \cong 9{,}2$ N/kg

13 ■ A intensidade do campo gravitacional a uma distância $R = 2 \cdot R_0$ é g = __________________.

****

$$g = \frac{G \cdot M}{R^2} = \frac{G \cdot M}{(2R_0)^2} = \frac{G \cdot M}{4 \cdot R_0^2} = \frac{1}{4}\,\frac{G \cdot M}{R_0^2} = \frac{1}{4}\, g_0 \cong 2{,}5 \text{ N/kg}$$

14 ■ Pelo resultado do item anterior, vimos que quando a distância ao centro de força é duplicada a intensidade do campo é um quarto do valor do campo inicial. Se triplicarmos a distância, isto é, se $R = 3 \cdot R_0$, então g = ____________________________.

****

$\frac{g_0}{9} \cong 1{,}1$ N/kg

15 ■ Num ponto Z cuja distância ao centro da Terra é $R = \sqrt{2} \cdot R_0$, é g = ______________.

****

$\frac{g_0}{2} \cong 4{,}9$ N/kg

16 ■ $g = \frac{G \cdot M}{R^2}$ é válido para qualquer ponto ao redor da Terra ou de outros corpos esféricos como a Lua, outros planetas, uma esfera de aço, etc. Quando esta expressão for utilizada para calcular a intensidade do campo ao redor da Lua, então, M será a massa da ________.

****

Lua

17 ■ Considerando a Lua uma esfera perfeita de raio $R = 1{,}74 \times 10^6$ m, qual é a intensidade do campo gravitacional na sua superfície, sendo a sua massa $M = 7{,}3 \times 10^{22}$ kg? $g =$ ______________.

****

$g \cong 1{,}6$ N/kg

18 ■ A Terra dista cerca de $1{,}5 \times 10^{11}$ m do centro do Sol. Sendo $M = 2 \times 10^{30}$ kg a massa do Sol, a intensidade do campo gravitacional criado pelo Sol em um ponto da órbita terrestre é $g =$ ________________.

****

$g \cong 6 \times 10^{-3}$ N/kg

19 ■ Seja uma esfera maciça de raio R = 20 cm e massa 300 kg. O campo gravitacional criado pela esfera a 20 cm de sua superfície terá intensidade $g =$ ______________.

****

$g \cong 1{,}3 \times 10^{-7}$ N/kg

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Deduza, a partir da definição de intensidade de campo gravitacional e da Lei de Newton da Gravitação, a expressão que permite calcular o campo em um ponto ao redor da Terra.

2 ■ A intensidade do campo gravitacional em um ponto qualquer ao redor da Terra depende da massa da Terra? De que depende?

3 ■ A expressão $g = \frac{G \cdot M}{R^2}$ pode ser utilizada para se calcular a intensidade do campo gravitacional no interior da Terra?

4 ■ Como se determina a intensidade do campo gravitacional criado por Marte em um ponto a uma distância X metros do centro desse planeta?

5 ■ O campo na superfície da Lua é g = 1,6 N/kg. Qual a intensidade do campo gravitacional da Lua em um ponto Z a uma distância igual ao dobro de seu raio?

Após isso, você deve estar apto para:

a. escrever a expressão que define a intensidade do campo gravitacional de um planeta em um ponto do espaço que o circunda e identificar pelo nome os elementos desta expressão.

b. calcular a intensidade do campo gravitacional em um ponto ao redor de um planeta, dando a resposta em unidades do SI.

c. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ▪ Calcule a intensidade do campo gravitacional terrestre nos pontos pertencentes a uma superfície esférica imaginária concêntrica com a Terra e de raio $R = 12 \times 10^6$ m.

2 ▪ Calcule a intensidade do campo gravitacional a 1,0 m do centro de uma esfera de massa $m = 100$ kg. raio $R = 0{,}20$ m.

3 ▪ Calcule a intensidade do campo gravitacional da Terra a 400 000 km de seu centro (próximo da órbita da Lua).

4 ▪ Considere o Sol uma esfera de massa $2{,}0 \times 10^{30}$ kg tendo raio de $7{,}0 \times 10^8$ metros. Calcule o campo gravitacional solar na sua superfície.

5 ▪ Calcule a intensidade do campo gravitacional lunar em um ponto X a 400 000 km de seu centro (próximo à Terra).

RESPOSTAS

1 ▪ $g \cong 2{,}8$ N/kg

2 ▪ $g \cong 6{,}7 \times 10^{-9}$ N/kg

3 ▪ $g = 2{,}5 \times 10^{-3}$ N/kg

4 ▪ $g \cong 2{,}7 \times 10^2$ N/kg

5 ▪ $g \cong 3{,}0 \times 10^{-5}$ N/kg

C – FORÇA GRAVITACIONAL SOBRE UM CORPO OU PESO DE UM CORPO

1 ▪ Já vimos em tópicos anteriores que a força gravitacional sobre um corpo é também denominada peso do corpo. A intensidade do campo gravitacional $g = \frac{F_G}{m}$, onde F_G é ______________________ sobre o corpo de massa m. Desta expressão, F_G = _______.

****

a intensidade da força gravitacional; $m \cdot g$

2 ▪ Se num local o campo gravitacional é g, então um corpo neste local pesará p = __________.

****

$m \cdot g$

3 ▪ Qual é o peso de um corpo de massa m em local distante R (m) do centro da Terra, acima de sua superfície? Para tal necessitamos determinar a intensidade do campo gravitacional g = ____________ (em termos de G, M e R) e portanto p = ____________

****

$\frac{G \cdot M}{R^2}$; $m \frac{G \cdot M}{R^2} = \frac{G \cdot M \cdot m}{R^2}$

4 ▪ Você escreveu que $p = \frac{G \cdot M \cdot m}{R^2}$, onde $\frac{G \cdot M}{R^2} = g$. Podemos verificar que esta expressão é idêntica à força gravitacional expressa pela Lei de Newton F_G = ___________. O peso de um corpo de massa m, no campo gravitacional terrestre, depende de sua distância ao centro da Terra: quanto mais distante do centro (maior; menor) será o peso do corpo.

****

$\frac{G \cdot M \cdot m}{R^2}$; menor

5 ▪ Um corpo possui massa $m = 10$ kg. O peso deste corpo em um local de gravidade $g = 5{,}0$ N/kg é p = _______; na superfície lunar onde a gravidade é $g = 1{,}6$ N/kg este corpo pesará p = _________; na superfície da Terra o seu peso é p = _____________.

****

50 N; 16 N; 98 N

6 ▪ O peso de um corpo depende da gravidade do local onde ele se encontra; o peso é uma grandeza (variável; invariável) do corpo. A massa de um corpo (é; não é) uma grandeza invariável; a massa de um corpo (depende; não depende) do campo gravitacional.

****

variável; é; não depende

7 ▪ Em local de gravidade nula um corpo de 20 kg pesará p = ________.

****

0; pois g = 0

8 ▪ Em determinada altura o peso de um corpo de massa 10 kg é 92 N. Neste local a intensidade do campo gravitacional vale g = ______________ .

****

9,2 N/kg

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ▪ Comumente, como denominamos a força gravitacional sobre o corpo?

2 ▪ O que é peso de um corpo?

3 ▪ Como podemos calcular o peso de um corpo?

4 ▪ O peso de um corpo é uma grandeza invariável? Por quê?

5 ▪ A massa de um corpo é variável?

6 ▪ Um corpo pode possuir massa diferente de zero e peso igual a zero? Por quê?

7 ▪ Um corpo pode possuir massa zero e peso diferente de zero? Explique.

8 ▪ Um elefante terá mais massa aqui na Terra ou lá na Lua? Explique.

9 ▪ O elefante do item 8 pesará mais aqui na superfície da Terra ou lá na da Lua? Explique.

10 ▪ Conhecido o peso de um corpo e a sua massa, como se determina a intensidade do campo gravitacional g?

Após isso, você deve estar apto para:

a. escrever a expressão que define o peso de um corpo, caracterizando as grandezas envolvidas.
b. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ▪ Em certa localidade, a intensidade do campo gravitacional vale g = 9,6 N/kg. Qual o peso de um corpo de massa 10 kg neste local?

2 ▪ Em certo ponto do espaço que envolve a Terra, o peso de um corpo de massa 200 gramas é $4{,}0 \times 10^{-1}$ N. Calcule a intensidade do campo gravitacional neste ponto.

3 ▪ Qual é a expressão do peso de um corpo de massa m na superfície de um asteróide esférico de massa m_A e raio R_A?

4 ■ Júpiter possui massa $m \cong 2{,}0 \times 10^{27}$ kg e raio $R \cong 7{,}0 \times 10^{7}$ m. Determine a intensidade do campo gravitacional e o peso de um corpo de massa 100 kg em sua superfície.

5 ■ Um corpo pesa aqui na superfície da Terra 980 N. Levado na superfície de Vênus pesa 860 N. Calcule a intensidade do campo gravitacional na superfície de Vênus.

RESPOSTAS

1 ■ $p = 96$ N

2 ■ $g = 2{,}0$ N/kg

3 ■ $p = \dfrac{G \cdot m_A \cdot m}{R_A^2}$

4 ■ $g \cong 27$ N/kg; $p = 2{,}7 \times 10^3$ N

5 ■ $g = 8{,}6$ N/kg

D – NATUREZA VETORIAL DO CAMPO GRAVITACIONAL
LINHAS DE FORÇA DO CAMPO GRAVITACIONAL

1 ■ Já sabemos que a força é uma grandeza vetorial, pois além do valor, possui direção e sentido. A força gravitacional ou peso (é; não é) grandeza vetorial. A força gravitacional pode ser expressa por $F_G = m \cdot g$, isto é, pelo produto da massa do corpo pelo campo gravitacional g. Como a força é grandeza vetorial, então o produto $m \cdot g$ (deve; não deve) ser vetorial.

****

é; deve

2 ■ Como a massa é grandeza (vetorial; escalar), isto é, não necessita de direção nem sentido para sua caracterização, então, no produto $m \cdot g$, que é vetorial, a grandeza g (deve; não deve) ser vetorial.

****

escalar; deve

3 ■ Portanto a forma vetorial de escrever a força gravitacional ou peso é $\vec{p} = m \cdot \vec{g}$ ou $\vec{F}_G =$ ________.

****

$m \cdot \vec{g}$

4 ■ $\vec{F}_G = m \cdot \vec{g}$. Esta equação vetorial diz que o vetor $\vec{F}_G$ (é; não é) igual ao vetor $m \cdot \vec{g}$. Logo, a igualdade é válida para a direção, sentido e valor. Portanto, a direção de $\vec{F}_G$ (é; não é) a direção de $\vec{g}$; o sentido de $\vec{F}_G$ (é; não é) o sentido de $\vec{g}$; o valor de $\vec{F}_G$ é igual a m vezes o valor de $\vec{g}$.

****

é; é; é

5 ■ $\vec{F}_G = m \cdot \vec{g}$. Se a massa m fosse negativa a orientação do campo $\vec{g}$, segundo esta equação, seria oposta à da força $\vec{F}_G$. Entretanto, o nosso mundo é o da matéria ou das massas positivas (no mundo da anti-matéria a massa seria negativa), logo a orientação do campo $\vec{g}$ (é; não é) igual à orientação da força $\vec{F}_G$.

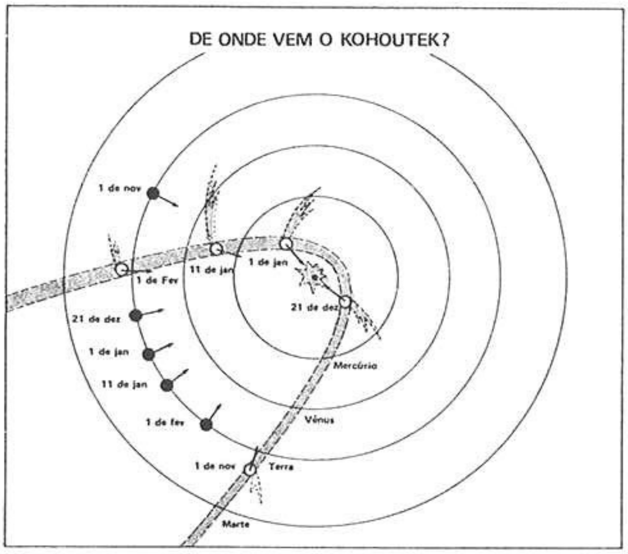
****

é

6 ■ Como a força F_G (é; não é) de atração, isto é, ela está sempre dirigida para o centro de força, g (orienta-se; não se orienta) para o centro de força, isto é, para o centro da massa que cria o campo.

****

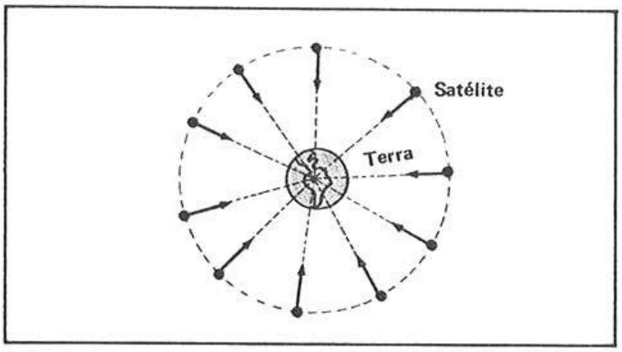
é; orienta-se



7 ■ A figura ao lado esquematiza o cometa Kohoutek em sua órbita elíptica ao redor do Sol. Neste movimento, o centro de força é (o Sol; a Terra). A força gravitacional exercida pelo Sol sobre o cometa, qualquer que seja a sua posição (dirige-se; não se dirige) para o centro de força. O campo gravitacional em cada ponto da órbita do cometa também está dirigida para o Sol. A Terra (movimenta-se; não se movimenta) no campo gravitacional do Sol.

****

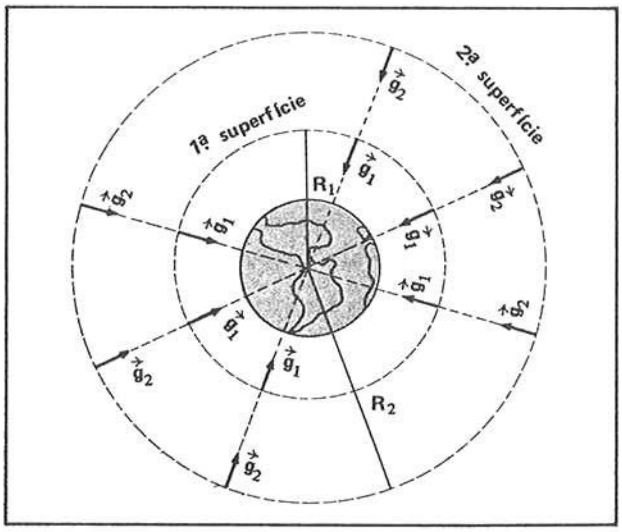
o Sol; dirige-se; movimenta-se



8 ■ A figura ao lado esquematiza o movimento de um satélite artificial em órbita circular ao redor da Terra. Em cada ponto de sua trajetória a força gravitacional da Terra sobre o satélite dirige-se para o __________ __________, que é o centro de força do sistema. O campo gravitacional em cada ponto da órbita também dirige-se __________________________ .

****

centro da Terra; para o centro da Terra

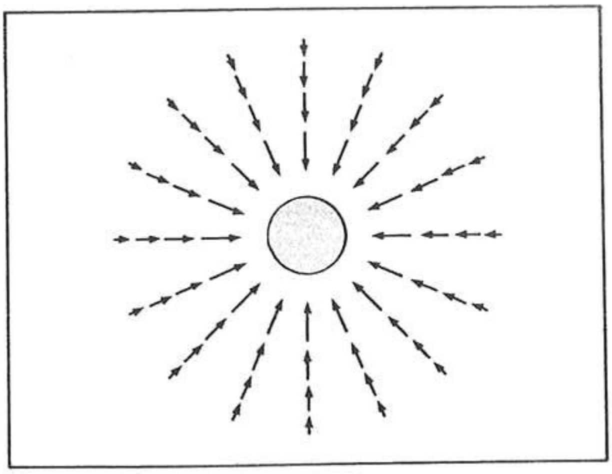


9 ■ A figura ao lado ilustra duas superfícies esféricas de raios $R_1 < R_2$ concêntricas à Terra. Nos pontos da 1ª superfície o campo gravitacional vale g_1 = _______ e orienta-se para o centro da Terra. Nos pontos da 2ª superfície o campo vale g_2 = ____________ e é (maior; menor) que g_1, pois $R_1 < R_2$. Em cada ponto da superfície de raio R_1 o campo vale g_1; em cada ponto da superfície de raio R_2 o campo vale______. Em ambos os casos o campo dirige-se __________________________ .

****

$\frac{GM}{R_1^2}$; $\frac{GM}{R_2^2}$; menor; g_2; para o centro da Terra.

10 ■ Podemos considerar então diversas superfícies esféricas concêntricas com o globo terrestre e fazer um "mapa" vetorial do campo gravitacional. Veja a figura ao lado. A cada ponto do espaço atribuímos um vetor campo gravitacional. O comprimento dos vetores diminui de tamanho à medida que distanciamos do centro de força porque a intensidade do campo gravitacional (diminui; aumenta).



****

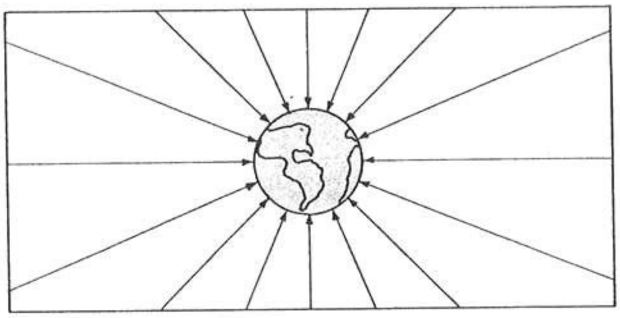
diminui

11 ■ No item 10 tem-se portanto a representação vetorial do campo gravitacional da Terra. A cada ponto do espaço que circunda a Terra associamos um vetor campo gravitacional dirigido para o centro da Terra. A intensidade do campo é dada por g = ___________, onde M é a massa da Terra e R é a ______________________________________. Para pontos eqüidistantes do centro da Terra o campo gravitacional (possui; não possui) mesma intensidade.

****

$\frac{G \cdot M}{R^2}$; distância ao centro da Terra; possui

12 ■ Ao invés de representarmos o campo gravitacional da Terra em termos de vetores, podemos utilizar as **linhas de força** do campo gravitacional, conforme ilustra a figura ao lado. As linhas de força são traçadas de forma que elas sejam convergentes ao globo terrestre. Observe que se unirmos os vetores que representam o campo (item 10) (teremos; não teremos) a repretação do campo em forma de linhas de força.



****

teremos

13 ■ As linhas de força do campo gravitacional são imaginárias. Elas são abstrações úteis na representação de um campo de força. Se abandonarmos uma pedra de um determinado ponto acima da superfície da Terra ela cairá em linha reta numa direção que converge para o centro da Terra. A trajetória do movimento desta pedra (corresponde; não corresponde) a uma linha de força.

****

corresponde

14 ■ As linhas de força do campo gravitacional (indicam; não indicam) a direção e o sentido da força gravitacional sobre um corpo. Um corpo, abandonado em repouso em um ponto do campo gravitacional da Terra, sob ação da força do campo movimentar-se-á segundo uma trajetória que coincide com ________________________.

****

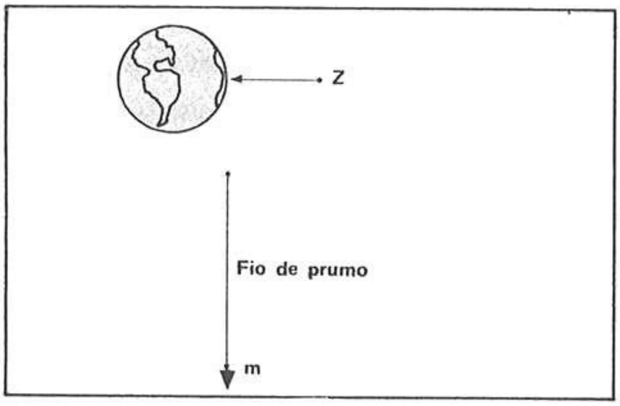
indicam; a linha de força

15 ■ Pela análise das linhas de força podemos verificar onde o campo é mais intenso: onde as linhas de força forem mais próximas ou mais concentradas o campo será mais intenso. Próximo à superfície da Terra (veja o campo no item 12) as linhas de força são (mais; menos) concentradas que longe dela; portanto longe da superfície o campo é ___________ intenso.

****

mais; menos

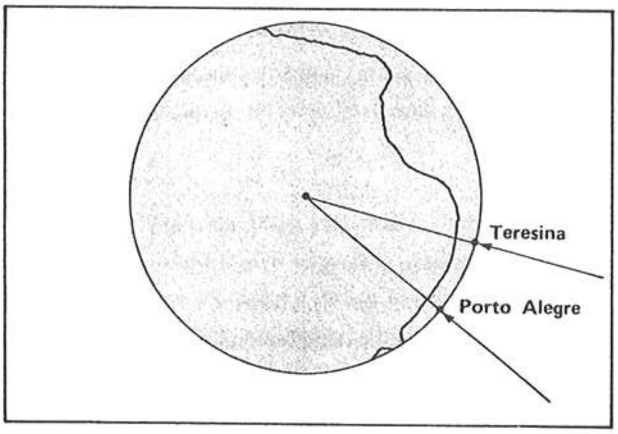
16 ■ Em cada ponto Z do espaço que circunda a Terra passa somente uma linha de força (fig. ao lado). Esta linha de força (corresponde; não corresponde) à vertical que passa pelo ponto. Os pedreiros ou construtores de edifícios alinham verticalmente a construção utilizando-se do "fio de prumo". O fio de prumo nada mais é do que uma massa m que pende no extremo de um fio – veja a figura ao lado. O fio (alinha-se; não se alinha) com uma linha de força do campo gravitacional.



****

corresponde; alinha-se

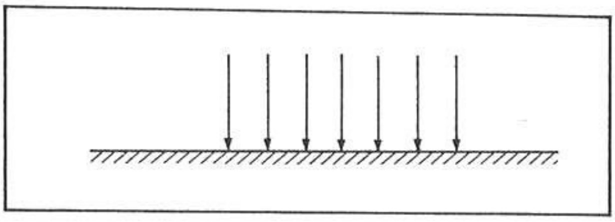
17 ■ Se considerarmos todas as verticais que envolvem a Terra, elas (são; não são) paralelas entre si. Na figura ao lado estão ilustradas as linhas de força que passam por Porto Alegre (RS) e Teresina (PI). Devido a curvatura da Terra estas linhas de forças não são paralelas, apesar de corresponderem à vertical em cada local. A linha vertical em Teresina (é; não é) paralela à linha vertical em Porto Alegre.



****

não são; não é

18 ■ Entretanto, se considerarmos um pequeno trecho da superfície da Terra, como por exemplo uma área correspondente a uma pequena cidade, todas as linhas de força e portanto, todas as verticais, podem ser consideradas como paralelas entre si. Se considerarmos as linhas verticais em um trecho correspondente ao Brasil inteiro, elas (serão; não serão) paralelas entre si.



****

não serão.

19 ■ O campo gravitacional influi profundamente na percepção que o homem tem do mundo em que vive. É o campo gravitacional que define o que conhecemos como **vertical** e **horizontal**. É devido à gravidade que distingüimos o objeto que está abaixo ou acima de um determinado nível. Se estivéssemos viajando em uma nave espacial num local onde não existisse gravidade, sendo retilíneo e uniforme o movimento da nave, não saberíamos distingüir nem a vertical nem a horizontal. A vertical (corresponde; não corresponde) à direção da linha de força do campo gravitacional. A horizontal é a direção que faz com a vertical um ângulo de ________.

****

corresponde; 90°

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ O campo gravitacional é uma grandeza vetorial? Explique.

2 ■ O peso $\vec{p}$ e o campo gravitacional $\vec{g}$ possuem mesma direção e sentido?

3 ■ Qual é a orientação do campo gravitacional que o Sol cria ao seu redor?

4 ■ Qual é a direção e o sentido do campo gravitacional ao redor da Terra?

5 ■ Como se representa vetorialmente o campo gravitacional ao redor da Terra?

6 ■ Como se representa o campo gravitacional ao redor da Terra em termos de linhas de força?

7 ■ As linhas de força são reais ou imaginárias?

8 ■ As linhas de força são paralelas entre si? Explique.

9 ■ Em termos de linhas de força, o que podemos dizer com relação à intensidade do campo?

10 ■ O fio de prumo alinha-se segundo a direção de uma linha de força?

11 ■ Qual a relação entre a vertical e a linha de força do campo gravitacional?

12 ■ Por que podemos dizer que o campo gravitacional é convergente?

13 ■ Como influi a gravidade terrestre na percepção do homem?

14 ■ Trace as linhas de força do campo gravitacional ao redor da Lua.

15 ■ Um corpo abandonado no campo gravitacional da Terra cai segundo uma trajetória perpendicular à linha de força do campo (Certo ou Errado). Justifique.

Após isso, você deve estar apto para:

a. definir a direção e o sentido do campo gravitacional da Terra.
b. escrever sobre a natureza vetorial do campo gravitacional.
c. representar o campo gravitacional de um planeta em termos de linhas de força.

SEÇÃO 5 – ENERGIA E POTENCIAL GRAVITACIONAL

Quando estudamos trabalho e energia (FAI-3) definimos a energia potencial gravitacional de uma massa m nas proximidades da superfície terrestre, onde o campo gravitacional pode ser considerado praticamente constante. A sua expressão é $E_p = m \cdot g \cdot h$, onde g é a intensidade do campo gravitacional e h a altura relativamente ao solo. O solo foi escolhido como o nível zero da energia potencial.

Veremos agora a energia potencial gravitacional de um corpo de massa m de maneira geral, isto é, quando o campo gravitacional não pode ser considerado constante. Neste caso, você verá que o nível zero de energia potencial não é mais a superfície da Terra mas sim um ponto infinitamente distante do centro de força.

Veremos também como determinar o trabalho ou energia mínima necessária para deslocar um corpo a grande distância no campo gravitacional: por exemplo, uma nave espacial daqui da superfície da Terra até a superfície da Lua.

Estabeleceremos também um novo conceito relacionado com o campo gravitacional: **potencial gravitacional.** Este conceito é bastante importante, pois o seu análogo no campo elétrico é utilizado com profusão.

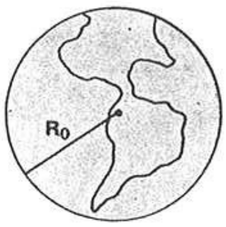
Por outro lado, estabeleceremos a expressão para a energia mecânica total de um corpo no campo gravitacional, considerando o infinito como nível zero de energia potencial gravitacional, e faremos uma aplicação da energia mecânica total para o caso de um satélite ou planeta em órbita circular ao redor do centro de força.

Finalmente analisaremos a energia de ligação. Que energia devemos fornecer, por exemplo, para a Lua de modo que ela escape do campo gravitacional da Terra? Que velocidade deve possuir uma pedra para que quando lançada da superfície da Terra, nunca mais retorne à Terra? Qual é a velocidade de escape da superfície da Terra? E da superfície da Lua?

Esta seção, para fins didáticos, foi dividida em 4 partes. Na parte A, veremos a energia potencial gravitacional geral e o trabalho mínimo necessário para deslocar um corpo no campo gravitacional; na parte B, definiremos o potencial gravitacional e superfícies equipotenciais; na parte C, veremos a energia mecânica total e sua aplicação para o caso de órbita circular, e na parte D, estudaremos a energia de ligação e velocidade de escape.

A – ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL GERAL
TRABALHO MÍNIMO PARA DESLOCAR UM CORPO NO CAMPO GRAVITACIONAL

1 ■ Vimos na seção anterior que a intensidade do campo gravitacional na superfície da Terra, isto é, a uma distância R_0 de seu centro, é expressa por $g_0 = \frac{G \cdot M}{R_0^2}$ onde M é a massa da Terra.
Nestas condições o valor de g_0 = ____________.



****

9,8 N/kg

2 ■ Para pequenas variações de R, isto é, para alturas até 10 km acima da superfície da Terra a variação no valor de g_0 é praticamente insignificante. Desta forma, nós dizemos que nas **proximidades da superfície** terrestre o campo é praticamente constante e igual a g_0 = 9,8 N/kg. Foi nestas condições que no livro FAI-3, quando tratamos de energia mecânica, definimos a energia potencial gravitacional de um corpo de massa m a uma altura h, isto é, E_p =________. Esta expressão só é válida para corpos situados nas proximidades da superfície da Terra.

****

$m \cdot g \cdot h$

3 ■ A energia potencial gravitacional do corpo (aumenta; diminui) com a altura. Quando erguemos o corpo a energia potencial gravitacional aumenta e (realiza-se; não se realiza) trabalho sobre o corpo. Quando um corpo cai sob ação da gravidade a sua energia potencial gravitacional______________, e o trabalho é realizado pelo próprio campo gravitacional. Para erguermos o corpo é necessário ação de força externa e quando o corpo cai sob ação da gravidade (é; não é) necessário força externa para tal. Na queda livre a força atuante é a força gravitacional que (é; não é) interna ao sistema.

****

aumenta; realiza-se; diminui; não é; é

4 ■ Em termos de linha de força, podemos dizer que (é; não é) necessário trabalho externo para deslocar um corpo contra a linha do campo gravitacional. Em queda livre o corpo cai segundo uma linha de força e o trabalho (é; não é) realizado pela força do campo.

****

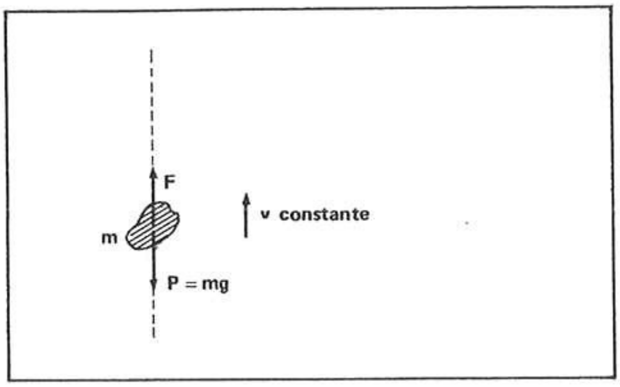
é; é

5 ■ Portanto, $E_p = m \cdot g_0 \cdot h$ permite calcular a energia potencial de um corpo de massa m a uma altura h da superfície quando o campo gravitacional g_0 (é; não é) constante.

****

é

6 ■ Se erguermos um corpo de massa m nas proximidades da superfície da Terra de forma que ele suba com velocidade constante, então o trabalho para erguer o corpo é $W = \Delta E_p$, com $\Delta E_c = 0$, pois a velocidade foi mantida constante.
A força necessária F deve ser de igual valor que o peso mg do corpo. Se F é maior que $m \cdot g$, então o corpo é acelerado para cima; se F é menor que $m \cdot g$, então ele cai com aceleração. Para que suba com velocidade constante é necessário portanto que F = ______________.



****

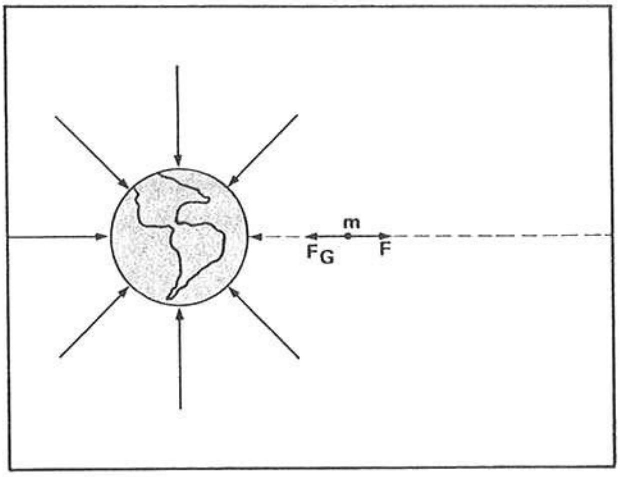
mg

7 ■ O trabalho $W = \Delta E_p$ corresponde ao **trabalho mínimo** necessário para erguer o corpo. Quando o trabalho é mínimo a velocidade do corpo (é; não é) constante e a força que ergue o corpo (é; não é) de igual valor que o seu peso. Se a força for maior que o peso do corpo, o trabalho (será; não será) mínimo, pois além de aumentar a sua energia potencial irá ocorrer também um aumento na energia cinética.
Portanto, se $W = \Delta E_p$ o trabalho é ______________ e se $W = \Delta E_p + \Delta E_c$ o trabalho (será; não será) o mínimo.

****

é; é; não será; o mínimo; não será

8 ■ A expressão $E_p = m \cdot g \cdot h$ vale para a proximidade da superfície da Terra, onde o campo g é praticamente constante. E para grandes variações de altura quando o campo gravitacional apresenta variações sensíveis, qual a expressão analítica da energia potencial? Vejamos: admitamos que um corpo de massa m que se encontra a uma distância R do centro da Terra seja puxado por uma força até um ponto infinitamente distante da Terra, isto é, fora do campo gravitacional. Para simplificarmos o problema admitamos que o corpo mantenha sempre uma velocidade constante. A força que solicita o corpo contra a linha de força do campo gravitacional (é; não é) constante.

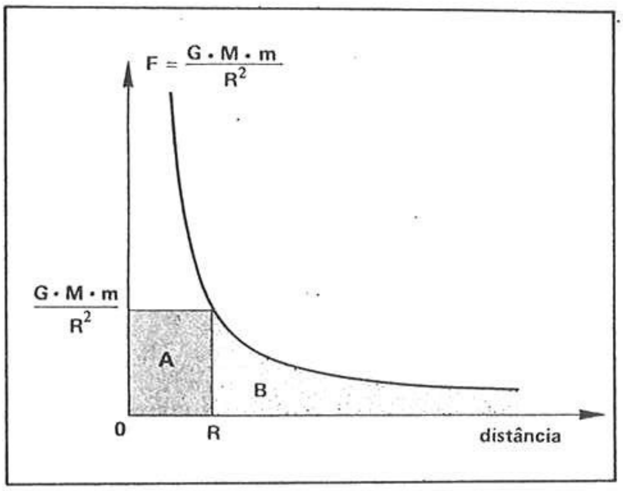


****

não é

9 ■ A força que atua sobre o corpo é expressa por $F = F_G = \frac{G \cdot M \cdot m}{R^2}$. À medida que a distância R aumenta a força (aumenta; diminui) de intensidade. O gráfico ao lado mostra essa variação. Para $R = \infty$ (infinitamente grande) a força é zero. Já vimos que no gráfico da força em função da distância (FAI-3) o trabalho é dado pela área sob a curva. A geometria do gráfico acima fornece que a área A é igual a área B. Para determinarmos o trabalho necessário para deslocar o corpo desde uma distância R até o infinito, devemos determinar a área B. Como esta área é igual a área A, então:

$W_{R \to \infty}$ = área A = ______________.



****

diminui; $\frac{G \cdot M \cdot m}{R}$

10 ■ Logo, para deslocarmos o corpo de massa m desde uma distância R do centro da Terra até um ponto infinitamente distante é necessário um trabalho mínimo W = ______________, onde M é a ______________________; m é ____________________ e R é a distância do ponto, onde o corpo se encontrava inicialmente, até o centro da Terra.

****

$\frac{G \cdot M \cdot m}{R}$; massa da Terra; a massa do corpo

11 ■ O trabalho mínimo é $W = \Delta E_p$; logo $\frac{G \cdot M \cdot m}{R} = E_{p(\infty)} - E_{p(R)}$, isto é, a energia potencial no infinito menos a energia potencial do corpo a uma distância R do centro da Terra. O infinito significa, no caso, que o corpo está fora do campo gravitacional; portanto vamos estabelecer que a energia potencial no infinito seja zero. Logo, como $E_{p(\infty)} = 0$, então $E_{p(R)}$ = ______________.

****

$-\frac{G \cdot M \cdot m}{R}$

12 ■ Portanto, a energia potencial de um corpo a uma distância R do centro da Terra (é; não é) negativa e é expressa por E_p = ______________.

****

é; $-\frac{G \cdot M \cdot m}{R}$

13 ■ O nível de energia potencial gravitacional zero é, no caso geral, (a superfície da Terra; o infinito).

****

o infinito

14 ■ Desta forma, qual é a energia potencial gravitacional de um corpo de massa 10 kg na superfície da Terra? A expressão geral é E_p = ______________; portanto, R = ______________; M = ______________ e m = ______________ e G = ______________. Então E_p = ______________.

****

$-\frac{G \cdot M \cdot m}{R}$; $R_0 = 6{,}4 \cdot 10^6$ m; $6{,}0 \cdot 10^{24}$ kg; 10 kg; $6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N · m/kg²; $-6{,}0 \cdot 10^8$ J

15 ■ Qual seria a energia potencial deste corpo a 10 000 000 metros do centro da Terra? E_p =____________.

****

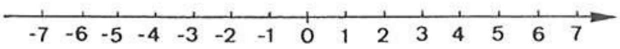
$\cong -4{,}0 \cdot 10^8$ J

16 ■ Já sabemos que maior é a energia potencial gravitacional de um corpo quanto (maior; menor) for a sua altura relativamente a superfície terrestre. Portanto a $10 \cdot 10^6$ m do centro da Terra o corpo mencionado no item 14 deve possuir______________ energia potencial, do que quando na superfície da Terra.

****

maior; maior

17 ■ O eixo do lado representa o eixo dos números reais. Eles crescem no sentido indicado pela seta. Podemos concluir que 0 é (maior; menor) do que - 1. Da mesma forma - 5 (é; não é) maior que - 4.



****

maior; não é

18 ■ No item 14 calculamos que a energia potencial do corpo na superfície da Terra é E_p =____________ e no item 15, a energia potencial do mesmo corpo a $10 \cdot 10^6$ m do centro da Terra é E_p =__________. Portanto, conforme a análise feita no item 17, a energia potencial deste corpo a $10 \cdot 10^6$ m é (maior; menor) que quando na superfície terrestre, pois $-6{,}0 \cdot 10^8$ J é (maior; menor) que $-4{,}0 \cdot 10^8$ J.

****

$-6{,}0 \cdot 10^8$ J; $-4{,}0 \cdot 10^8$ J; maior; menor

19 ■ Para R infinitamente grande a E_p =______________. No infinito a energia potencial de um corpo é (maior; menor) que quando na superfície da Terra.

****

0; maior

20 ■ O trabalho mínimo para erguer um corpo contra o campo gravitacional é a energia que se deve dispender de modo que o corpo se movimente com velocidade (constante; crescente; decrescente) no sentido oposto ao de uma linha de força. Portanto, quando o trabalho é mínimo a variação de energia cinética do corpo é ΔE_c = ______________. Logo o trabalho corresponde apenas à____, isto é, W =____________.

****

constante; 0; variação de energia potencial; ΔE_p

21 ■ O trabalho mínimo para erguer um corpo de massa m desde uma distância R_1 até outra R_2 do centro da Terra é dado então por:

$$W = \Delta E_p = E_{p_2} - E_{p_1} = (\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_) - (\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_)$$

****

$-\dfrac{G \cdot M \cdot m}{R_2}$; $-\dfrac{G \cdot M \cdot m}{R_1}$

22 ■ Qual é então a energia mínima, em **joules**, necessária dispender para erguer um satélite de massa 500 kg desde o solo até uma altura de $3{,}6 \times 10^6$ m da superfície da Terra?

****

$W = E_{p_2} - E_{p_1} \cong +1{,}1 \cdot 10^6$ J $\quad (R_2 = R_0 + 3{,}6 \cdot 10^6$ m$)$

23 ■ Você verificou que o trabalho foi positivo, isto é, (é; não é) necessário fornecer energia para que o satélite suba, pois a sua energia potencial (aumenta; diminui).

* * * * * * * * * * * *

é; aumenta

24 ■ Qual é a energia mínima necessária para lançar um foguete de massa 10 000 kg, inicialmente em repouso a $10 \cdot 10^6$ m do centro da Terra, até o infinito?

* * * * * * * * * * * *

$W = E_{p_\infty} - E_{p(R_0)} = 0 - (-4{,}0 \times 10^{11}) \cong 4{,}0 \times 10^{11}$ J

25 ■ A expressão $E_p = -\dfrac{G \cdot M \cdot m}{R}$ exprime a energia potencial gravitacional de um corpo de massa m a uma distância R do centro de força. M será a massa da Terra se ela for o centro de força. Se o centro de força for a Lua, então M será a__________________.

* * * * * * * * * * * *

massa da Lua

26 ■ Qual é a energia mínima necessária para lançar um foguete de massa 1 000 kg da Lua até a Terra a uma distância de aproximadamente $4{,}0 \cdot 10^8$ m? Dados: massa da Lua: $7{,}3 \cdot 10^{22}$ kg; raio do globo lunar: $1{,}74 \cdot 10^6$ m.

* * * * * * * * * * * *

$W \cong 2{,}7 \cdot 10^7$ J

27 ■ Na situação do item anterior, qual seria a energia mínima necessária se a operação fosse inversa, isto é, da superfície da Terra até a Lua?

* * * * * * * * * * * *

$W \cong 6{,}1 \times 10^7$ J

28 ■ Podemos observar, comparando as respostas dos itens 26 e 27, que é necessário mais energia para a operação Terra-Lua do que na operação Lua-Terra. É por esta razão que a operação de retorno dos astronautas que pousaram na Lua foi mais fácil, em termos energéticos, do que a operação inicial de saída daqui da Terra. Os foguetes utilizados para sair da Terra (são; não são) de maior potência do que os foguetes utilizados na operação retorno da Lua.

* * * * * * * * * * * *

são

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

1 ■ Por que consideramos constante o campo gravitacional nas proximidades da Terra? Qual o seu valor?

2 ■ Que expressão podemos utilizar para calcular a energia potencial para variações de altura nas proximidades da superfície da Terra?

3 ▪ A energia potencial de um corpo aumenta ou diminui com o aumento da distância ao centro da Terra? .

4 ▪ Quando um corpo é movimentado contra a linha de força do campo gravitacional a sua energia potencial aumenta ou diminui? Por quê?

5 ▪ Explique o significado do termo "trabalho mínimo" utilizado no texto.

6 ▪ $W = \Delta E_p + \Delta E_c$ exprime o trabalho mínimo? Explique.

7 ▪ Deduza a expressão do trabalho mínimo necessário para deslocar um corpo de massa m, inicialmente a uma distância R do centro da Terra, até o infinito. Utilize-se do gráfico da força em função da distância.

8 ▪ Qual é o valor atribuído para a energia potencial gravitacional de um corpo em um ponto infinitamente distante do centro de força?

9 ▪ Qual é a expressão da energia potencial gravitacional de um corpo de massa m a uma distância R do centro de força?

10 ▪ Um planeta tem massa M_0 e o seu globo tem raio X. Na superfície desse planeta, exprimir a energia potencial gravitacional de um corpo de massa m.

11 ▪ $-8{,}0 \cdot 10^6$ J é menor do que 0 J? Explique.

12 ▪ Como se determina o trabalho mínimo para afastarmos um corpo de massa m inicialmente a R_1 metros até R_2 metros do centro da Terra? Escreva a expressão geral.

13 ▪ $E_p = -\frac{G \cdot M \cdot m}{R}$. Esta expressão só vale quando o centro de força é a Terra? Explique.

14 ▪ $E_p = -\frac{G \cdot M \cdot m}{R}$. Para que a energia potencial seja expressa em joules, em quais unidades devem ser expressas as outras grandezas?

15 ▪ $E_p = -\frac{G \cdot M \cdot m}{R}$. O que significa a letra R desta expressão?

Após isso, você deve estar apto para:

a. calcular a energia potencial gravitacional de um corpo no campo gravitacional.

b. calcular o trabalho mínimo necessário para deslocar um corpo no campo gravitacional.

c. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ▪ Calcule a energia potencial gravitacional da Lua, massa $m = 7{,}3 \cdot 10^{22}$ kg, no campo gravitacional da Terra. Distância Terra-Lua: $\cong 4{,}0 \times 10^8$ m.

2 ▪ Calcule o trabalho mínimo para levar uma nave espacial de 2 000 kg da Terra à Lua.

3 ▪ Calcule o trabalho mínimo para a operação retorno da nave mencionada no problema 2.

4 ▪ Qual é a energia potencial da Terra no campo gravitacional do Sol?
Dados: massa do Sol: $\cong 2{,}0 \times 10^{30}$ kg; distância Terra-Sol $\cong 1{,}5 \times 10^{11}$ m.

5 ▪ Calcule a energia mínima necessária para levar uma nave espacial com carga total m = 2 000 kg desde distância de $8{,}0 \cdot 10^6$ m da Terra até a Lua.

6 ▪ Calcule a energia mínima para lançar uma pedra de massa 1,0 kg desde a superfície da Terra até o infinito.

7 ▪ No campo gravitacional terrestre, um satélite artificial desloca-se de um ponto de energia potencial $E_{p_1} = -2{,}0 \times 10^{10}$ J até outro onde sua energia potencial gravitacional é $E_{p_2} = -1{,}0 \times 10^{10}$ J. Qual foi o trabalho mínimo recebido pelo satélite?

8 ■ No campo gravitacional da Terra um corpo possui energia potencial $E_p = -5,0 \times 10^7$ J. Que energia mínima é necessária para deslocá-lo até o infinito?

9 ■ Um satélite artificial de massa m move-se em trajetória circular ao redor da Terra em órbita de raio X. Sendo M a massa da Terra, calcule em termos de G, M, m e X

a) a força gravitacional da Terra sobre o satélite;
b) a força centrípeta no satélite;
c) a velocidade orbital;
d) a energia cinética;
e) a energia potencial gravitacional;
f) a energia mecânica total ($E = E_c + E_p$).

RESPOSTAS

1 ■ $E_p \cong 7,3 \times 10^{28}$ J
2 ■ $W = 12,3 \times 10^{10}$ J
3 ■ $W \cong 56 \times 10^8$ J
4 ■ $E_p \cong 53 \times 10^{32}$ J
5 ■ $W = 9,8 \times 10^{10}$ J
6 ■ $W = 6,25 \times 10^7$ J
7 ■ $W = 1,0 \times 10^{10}$ J
8 ■ $W = 5,0 \times 10^7$ J

9 ■ a) $F_G = \dfrac{G \cdot M \cdot m}{X^2}$

b) $F_c = F_G = \dfrac{G \cdot M \cdot m}{X^2}$

c) $v = \sqrt{\dfrac{G \cdot M}{X}}$

d) $E_c = \dfrac{G \cdot M \cdot m}{2X}$

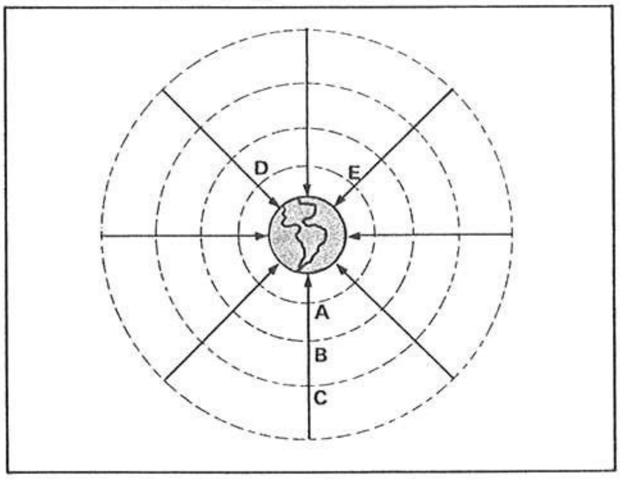
e) $E_p = -\dfrac{G \cdot M \cdot m}{X}$

f) $E = -\dfrac{G \cdot M \cdot m}{2X}$

B – POTENCIAL GRAVITACIONAL
SUPERFÍCIE EQÜIPOTENCIAL
TRABALHO MÍNIMO E DIFERENÇA DE POTENCIAL GRAVITACIONAL

1 ■ O esquema ao lado representa o nosso planeta. As linhas que convergem para a Terra são as ______________________________.

Um corpo de massa m colocado nos pontos A, B e C terá energia potencial gravitacional maior em________ e menor em____________.



****

linhas de força do campo gravitacional; C; A

2 ■ Os círculos pontilhados representam superfícies esféricas imaginárias concêntricas com o globo terrestre e são perpendiculares às linhas de força do campo gravitacional. Todos os pontos pertencentes à superfície esférica que passa por A (eqüidistam; não se eqüidistam) do centro da Terra. Nesta superfície, um corpo de massa m (terá; não terá) mesma energia potencial gravitacional. Se um corpo possui no ponto A uma $E_p = -6,0 \times 10^8$ J, então no ponto D sua E_p =____________ e no ponto E a sua energia potencial será E_p =__________.

****

eqüidistam; terá; $-6,0 \times 10^8$ J; $-6,0 \times 10^8$ J

3 ■ Da mesma forma, se um corpo possuir uma energia gravitacional $E_p = -5{,}0 \times 10^8$ J no ponto B, então em qualquer ponto da superfície esférica que passa pelo ponto o corpo terá E_p = __________.

****

$-5{,}0 \times 10^8$ J

4 ■ Vejamos o que caracteriza cada uma dessas superfícies esféricas imaginárias. Vamos supor que o raio da superfície que passa por A seja $R_A = 10 \times 10^6$ m. A energia potencial de um corpo de massa $m_1 = 100$ kg, nesta superfície, é E_{p_1} = __________.

****

$\cong -400 \times 10^7$ J

5 ■ Um outro corpo de massa $m_2 = 2\,000$ kg nesta mesma superfície terá energia potencial gravitacional E_{p_2} = __________.

****

$= -8\,000 \times 10^7$ J

6 ■ Se fizermos a divisão $\frac{E_p}{m}$ para cada corpo, teremos:

$\frac{E_{p_1}}{m_1}$ = __________ ; $\frac{E_{p_2}}{m_2}$ = __________ (valor e unidade).

****

$-4{,}0 \times 10^7$ J/kg; $-4{,}0 \times 10^7$ J/kg

7 ■ Admitamos agora que o raio da superfície esférica que passa por B seja $R_B = 20 \times 10^6$ m. A energia potencial do corpo de massa $m_1 = 100$ kg nesta superfície será E_{p_1} = __________; a do corpo de massa $m_2 = 2\,000$ kg, será E_{p_2} = __________. Se fizermos a divisão da energia potencial pela massa do corpo, teremos:

$\frac{E_{p_1}}{m_1}$ = __________ $\frac{E_{p_2}}{m_2}$ = __________

****

-200×10^7 J; $-4\,000 \times 10^7$ J; $-2{,}0 \times 10^7$ J/kg; $-2{,}0 \times 10^7$ J/kg

8 ■ Podemos observar que para a superfície A, com raio 10×10^6 m, qualquer que seja o corpo a razão $\frac{E_p}{m}$ = __________ (valor e unidade) e para a superfície que passa por B tendo raio 20×10^6 m, a razão $\frac{E_p}{m}$ = __________. Esta razão (depende; não depende) da massa do corpo colocado na superfície.

****

$-4{,}0 \times 10^7$ J/kg; $-2{,}0 \times 10^7$ J/kg; não depende

9 ■ O que caracteriza uma superfície tal como as descritas acima é a __________, pois para cada superfície esta razão (é; não é) constante.

****

razão $\frac{E_p}{m}$; é

10 ■ Esta razão é denominada **potencial gravitacional** e a simbolizaremos com a letra U. Portanto, U = __________.

****

$\frac{E_p}{m}$

11 ■ No SI o potencial gravitacional é expresso em________________.

****

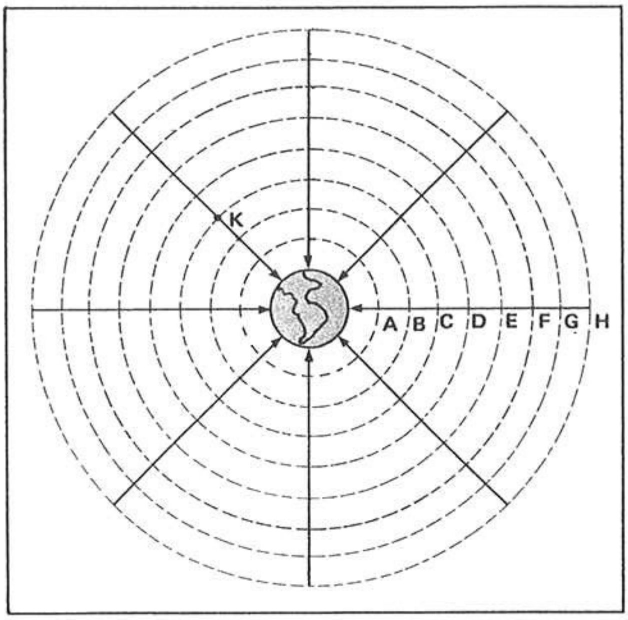
joules/kilograma = J/kg

12 ■ Todos os pontos que possuem o mesmo potencial gravitacional, como por exemplo os da superfície esférica que passa pelo ponto B, constituem uma **superfície eqüipotencial.** A superfície A, esférica e imaginária, concêntrica com o globo terrestre (é; não é) uma superfície eqüipotencial, pois todos os seus pontos apresentam________ ________________________________.

****

é; mesmo potencial gravitacional

13 ■ Admitindo a Terra de forma esférica, as superfícies eqüipotenciais são esféricas e imaginárias concêntricas com o globo terrestre. Os círculos A, B, C e D na figura ao lado representam________________ ________________. Todos os pontos pertencentes à superfície A possuem o mesmo________ ________________; os pontos da superfície B possuem potencial gravitacional (igual; diferente) que os pontos da superfície C. Os pontos pertencentes à superfície esférica D possuem mesmo potencial gravitacional porque (são; não são) eqüidistantes ao centro da Terra. O que caracteriza o potencial gravitacional de um ponto no campo gravitacional é a sua distância ao centro de força.



****

superfícies eqüipotenciais; potencial gravitacional; diferente; são

14 ■ No esquema do item 13, se o potencial gravitacional do ponto C é $U_C = -5,0 \times 10^6$ J/kg, então o potencial gravitacional do ponto K é________________, pois tanto C como K pertencem ________________ ________________.

****

$U_K = -5,0 \times 10^6$ J/kg; à mesma superfície eqüipotencial

15 ■ Podemos observar que os pontos de um campo gravitacional podem ser caracterizados por duas grandezas: uma vetorial e outra escalar. Podemos caracterizar um ponto pelo campo gravitacional g ou pelo potencial gravitacional U. O potencial gravitacional (é; não é) grandeza escalar, pois ele é expresso em termos da razão entre energia e massa.

****

é (pois tanto energia como massa são grandezas escalares)

16 ■ Na figura do item 13, as linhas que convergem para a Terra são as________________ e os círculos pontilhados representam as ________________. As superfícies eqüipotenciais são perpendiculares às linhas de força do campo.

****

linhas de força do campo gravitacional; superfícies eqüipotenciais

17 ▪ Seja um ponto genérico Z do campo gravitacional e à distância R do centro da Terra. Um corpo de massa m colocado neste ponto tem energia potencial gravitacional E_p = ______________ . Portanto, o potencial gravitacional deste ponto é $U = \frac{E_p}{m} =$ ______________________ .

****

$-\frac{G \cdot M \cdot m}{R}$; $-\frac{G \cdot M}{R}$

18 ▪ $U = -\frac{G \cdot M}{R}$. É a expressão genérica do potencial gravitacional de um ponto pertencente ao campo gravitacional da Terra. Na expressão, M é a ______________ e R é ________________. Portanto, o potencial gravitacional no campo da Terra depende apenas da ________________________ e da ________________________ do ponto ao centro da Terra.

****

massa da Terra; a distância ao centro da Terra; massa da Terra; distância

19 ▪ No mesmo ponto Z à distância R do centro da Terra a intensidade do campo gravitacional é dada por g = ______ ______________ .

****

$\frac{G \cdot M}{R^2}$

20 ▪ Um ponto S do campo gravitacional lunar a uma distância R do centro da Lua apresentará um campo gravitacional de intensidade g = ______________ e um potencial gravitacional U = ____________. Nestas expressões M agora é a________________.

****

$\frac{G \cdot M}{R^2}$; $-\frac{G \cdot M}{R}$; massa da Lua

21 ▪ Um corpo de massa m = 1 000 kg possui energia potencial $E_p = -4{,}5 \cdot 10^{10}$ J quando no ponto Z do campo gravitacional terrestre. Qual o potencial gravitacional do ponto?

****

$U = \frac{E_p}{m} = -4{,}5 \times 10^7$ J/kg

22 ▪ Calcule o potencial gravitacional na superfície da Terra.

****

$U \cong -6{,}2 \times 10^7$ J/kg

23 ▪ O potencial gravitacional $U = \frac{E_p}{m}$. Desta expressão podemos exprimir a energia potencial gravitacional da massa m por E_p =__________ .

****

$m \cdot U$

24 ▪ Qual a energia potencial de um corpo de massa m = 500 kg na superfície da Terra?

****

$E_p = m \cdot U = 500 \text{ kg} \times -6{,}2 \times 10^7 \text{ J/kg} \cong -3{,}1 \times 10^{10}$ J

25 ■ Determine o potencial gravitacional em um ponto Z a 40×10^6 m do centro da Terra.

****

$U \cong -1{,}0 \times 10^7$ J/kg

26 ■ Se colocarmos um corpo de massa $m = 20 \times 10^5$ kg nesse ponto, qual sua energia potencial gravitacional?

****

$E_p = m \cdot U \cong -20 \times 10^{12}$ J

27 ■ Qual é a variação de energia potencial de um corpo de massa m quando este for deslocado ao longo de uma superfície eqüipotencial? Se a superfície é eqüipotencial, isto significa que todos os seus pontos (possuem; não possuem) mesmo potencial; logo como E_p = ____________(em função da massa e do potencial) e como o potencial é o mesmo, então, o corpo possuirá em qualquer ponto da superfície eqüipotencial uma mesma energia potencial. Logo, ΔE_p = ___________.

****

possuem; $m \cdot U$; 0

28 ■ Portanto, quando um corpo é deslocado de forma que ele esteja sempre num mesmo nível, isto é, que sua distância ao centro da Terra não seja alterada, então a variação em sua energia potencial será________________, pois o deslocamento se dá numa mesma____________________________.

****

zero; superfície eqüipotencial

29 ■ Por que quando um corpo é deslocado sobre uma mesa horizontal a sua energia potencial não varia?

****

Porque a superfície da mesa é uma superfície eqüipotencial, quando na horizontal.

30 ■ Um corpo só apresenta variação em sua energia potencial gravitacional quando ele for deslocado de uma superfície eqüipotencial a outra, isto é, quando (houver; não houver) variação de nível.

****

houver

31 ■ À medida que um corpo é erguido, ele passa de uma superfície eqüipotencial a outra. Assim como a energia potencial, à medida que vamos nos distanciando do centro da Terra o potencial gravitacional (vai; não vai) aumentando. No infinito o potencial (é; não é) zero.

****

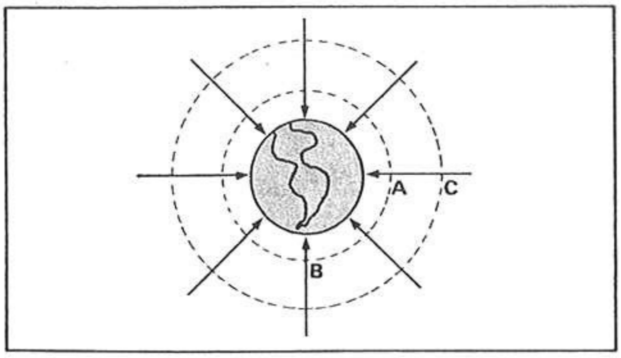
vai; é

32 ■ O potencial da superfície da Terra é $U = -6{,}2 \times 10^7$ J/kg (veja o item 22). A 40×10^6 m do centro da Terra o potencial é $U = -1{,}0 \cdot 10^7$ J/kg (veja o item 25). Pelas razões já analisadas anteriormente, $-1{,}0 \cdot 10^7$ é (menor; maior) que $-6{,}2 \times 10^7$.

****

maior

33 ■ Observe a figura ao lado. Seja U_A o potencial do ponto A e U_C a do ponto C. O potencial do ponto B é U_B = ________. O potencial no ponto C é (maior; menor) que o do ponto A.
O trabalho mínimo para deslocar um corpo de massa m do ponto A até C é W = ______________
(em termos de massa e potencial).



****

U_A; maior; $m \cdot U_C - m \cdot U_A$

34 ■ $W = m \cdot U_C - m \cdot U_A$ mede o trabalho mínimo para deslocar o corpo do ponto ________ até o ponto ______.
No trabalho mínimo a variação de energia cinética do corpo é __________.

****

A; C; zero.

35 ■ $W = m \cdot U_C - m \cdot U_A = m($____________$)$. A diferença $(U_C - U_A)$ é denominada de **diferença de potencial gravitacional**, que simbolizaremos por ΔU. Portanto, o trabalho mínimo necessário para deslocar um corpo de massa m desde o ponto A até o ponto C, é dado por W = __________ (em termos de massa e diferença de potencial).

****

$U_C - U_A$; $m \cdot \Delta U$

36 ■ Os pontos A e B (item 33) (pertencem; não pertencem) a uma mesma superfície eqüipotencial. Portanto ΔU = ____________. Logo o trabalho mínimo W = ____________.

****

pertencem; 0; 0

37 ■ O potencial da superfície da Terra é $U_0 = -6{,}2 \times 10^7$ J/kg e o de uma outra superfície X é $U_X = -2{,}2 \times 10^7$ J/kg. Considerando-se a superfície da Terra como ponto inicial, a diferença de potencial ΔU = __________.

****

$\Delta U = (-2{,}2 \times 10^7) - (-6{,}2 \times 10^7) = 4{,}0 \times 10^7$ J/kg

38 ■ Qual é o trabalho mínimo para lançar um satélite artificial de massa 500 kg desde a superfície da Terra até a superfície X do item 37?

****

$W = m \cdot \Delta U = 20 \times 10^9$ J

39 ■ O potencial gravitacional de um ponto infinitamente distante da Terra é __________. Qual é o trabalho mínimo para lançar uma pedra de massa 20 kg desde a superfície da Terra até o infinito?

****

zero; $W \cong 12 \times 10^8$ J

40 ■ Um foguete de massa 800 kg encontra-se a $10 \cdot 10^6$ m do centro da Terra. Qual o trabalho mínimo necessário para levá-lo a uma distância de 20×10^6 m? Calcular o potencial em cada ponto e determinar o trabalho por diferença de potencial.

****

$W = 16 \times 10^9$ J

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Defina potencial gravitacional e sua unidade de medida, no SI.

2 ■ Caracterize superfície eqüipotencial.

3 ■ Dar o nome e caracterizar as superfícies esféricas imaginárias concêntricas com o globo terrestre.

4 ■ Desenhe o campo gravitacional terrestre em termos de linhas de força e em termos de superfícies eqüipotenciais.

5 ■ O potencial gravitacional é grandeza escalar ou vetorial? Por quê?

6 ■ As superfícies eqüipotenciais representam o campo gravitacional em termos escalares. Como representamos o campo gravitacional em termos vetoriais?

7 ■ Para um ponto genérico Z no campo gravitacional terrestre qual a expressão que define o potencial gravitacional? Caracterize cada elemento da expressão.

8 ■ $U = -\frac{G \cdot M}{R}$ define o potencial gravitacional de um ponto a uma distância R do centro da Terra. Esta expressão só vale para o campo gravitacional da Terra? Explique.

9 ■ Em termos de potencial gravitacional, qual a expressão que define a energia potencial de uma massa m?

10 ■ De que depende o potencial gravitacional de um ponto?

11 ■ Qual a variação de energia potencial gravitacional de um corpo quando este é deslocado numa superfície eqüipotencial? Explique.

12 ■ Um satélite artificial gira em trajetória circular ao redor da Terra. Durante o seu movimento qual a variação em sua energia potencial? Justificar.

13 ■ À medida que movimentamos contra as linhas do campo gravitacional vamos atingindo pontos de maior ou menor potencial gravitacional? Explique.

14 ■ Defina diferença de potencial gravitacional.

15 ■ Quando a diferença de potencial gravitacional entre dois pontos é nula? Em que superfície devem encontrar-se tais pontos?

16 ■ Em termos de diferença de potencial entre dois pontos do campo gravitacional, que expressão permite calcular o trabalho mínimo? Caracterize o trabalho mínimo.

Após isso, você deve estar apto para:

a. definir potencial gravitacional.

b. caracterizar superfície eqüipotencial.

c. calcular o potencial gravitacional de um ponto do campo gravitacional.

d. definir diferença de potencial gravitacional.

e. calcular o trabalho mínimo em termos de diferença de potencial.

f. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Um corpo de massa m = 200 kg possui, num ponto do campo gravitacional da Terra, energia potencial $E_p = -5{,}0 \times 10^9$ J. Calcule o potencial gravitacional do ponto e a sua distância até o centro da Terra.

2 ■ Calcule o potencial gravitacional de um ponto qualquer da órbita da Lua, sendo $R = 4{,}0 \times 10^8$ m o raio da órbita lunar.

3 ■ Se $m = 7{,}3 \times 10^{22}$ kg é a massa da Lua, calcule a sua energia potencial gravitacional no campo gravitacional da Terra.

4 ■ Qual é a diferença de potencial existente entre a superfície da Terra e um ponto da órbita lunar? Qual a energia mínima para levar uma nave espacial com massa total $m = 2{,}0 \times 10^3$ kg até a Lua?

5 ■ Qual é a energia potencial gravitacional de um corpo de massa m = 50 kg num local onde o potencial gravitacional é $U = -2{,}0 \times 10^7$ J/kg?

6 ■ Entre dois pontos do campo gravitacional terrestre existe uma diferença de potencial $\Delta U = 3{,}5 \times 10^7$ J/kg. Calcule o trabalho mínimo para deslocar 2 000 kg entre os dois pontos.

RESPOSTAS

1 ■ $U = -2{,}5 \times 10^7$ J/kg; $d = 1{,}6 \times 10^7$ m

2 ■ $U = -10 \times 10^5$ J/kg

3 ■ $E_p = -7{,}3 \times 10^{28}$ J

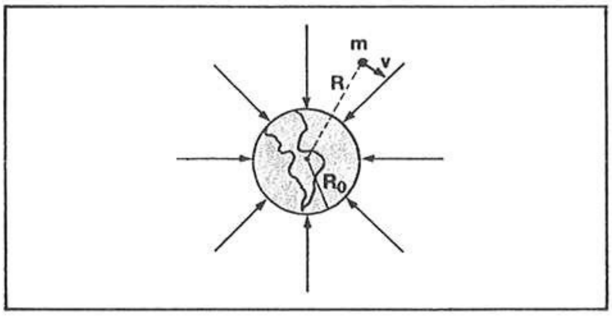
4 ■ $\Delta U = 615 \times 10^5$ J/kg

5 ■ $E_p = -1{,}0 \times 10^9$ J

6 ■ $W = 7{,}0 \times 10^{10}$ J

C – ENERGIA MECÂNICA TOTAL DE UM CORPO NO CAMPO GRAVITACIONAL ENERGIA MECÂNICA TOTAL DE UM SATÉLITE EM ÓRBITA CIRCULAR

1 ■ Na figura ao lado está esquematizado um corpo de massa m tendo velocidade v. A energia mecânica total desta massa é dada pela soma de sua ____________ ______________ com sua ________________ ____________.



****

energia cinética; energia potencial

2 ■ A energia cinética E_c = ____________ e a energia potencial gravitacional da massa é E_p = ____________.

****

$\frac{m \cdot v^2}{2}$; $-\frac{G \cdot M \cdot m}{R}$

3 ■ Então, a sua energia mecânica total é $E = E_c + E_p$ = ____________.

****

$\frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{G \cdot M \cdot m}{R}$

4 ■ Um foguete tendo massa m = 500 kg encontra-se a $5{,}0 \times 10^8$ m do centro da Terra com velocidade v = $2{,}0 \times 10^2$ m/s. Calcule a energia mecânica total deste foguete.

****

$E = -39 \times 10^7$ J

5 ■ Qual é a energia mecânica total de um corpo com massa m = 100 kg em repouso na superfície da Terra? Não considerar a rotação.

****

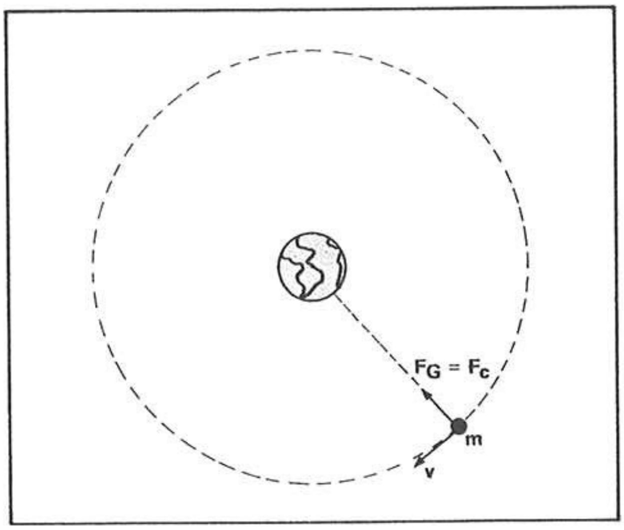
$E \cong -6{,}2 \times 10^9$ J

6 ■ Um projétil com massa m = 100 kg é lançado a partir da Terra com velocidade 10×10^3 m/s. Qual sua energia mecânica no ato de lançamento?

****

$E \cong -1{,}2 \times 10^9$ J

7 ■ Admita um satélite artificial tendo massa m em movimento circular uniforme ao redor da Terra. O campo gravitacional da Terra exerce força sobre o satélite puxando-o para o seu centro. Já vimos que para um corpo se manter em movimento circular é necessário que sobre ele atue uma força ______________ .



****

centrípeta

8 ■ No caso, a força centrípeta (corresponde; não corresponde) à força gravitacional da Terra sobre o satélite. Se a Terra não exercesse força o satélite (manter-se-ia; não se manteria) em órbita circular ao redor da Terra.

****

corresponde; não se manteria.

9 ■ Portanto, $F_G = F_c$, isto é, a força gravitacional é igual a força centrípeta. A força gravitacional, segundo a Lei de Newton da Gravitação é expressa por F_G = __________ e a força centrípeta por $|F_c|$ = __________.

****

$\frac{G \cdot M \cdot m}{R^2}$; $\frac{m \cdot v^2}{R}$

10 ■ Portanto, $\frac{G \cdot M \cdot m}{R^2} = \frac{m \cdot v^2}{R}$; logo v^2 = __________ e v = __________ .

****

$\frac{G \cdot M}{R}$; $\sqrt{\frac{G \cdot M}{R}}$

11 ■ $v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R}}$ é a expressão que nos fornece a velocidade orbital do satélite. Observe que esta velocidade (depende; não depende) da massa do satélite. A velocidade orbital é dependente apenas da ______ da Terra e do ______ da órbita do satélite.

****

não depende; massa M; raio R

12 ■ Um satélite artificial da Terra move-se em trajetória circular de raio $R = 10 \times 10^6$ m. Determine a sua velocidade orbital.

****

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R}} = \sqrt{\frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}}{10 \times 10^6} \frac{N \cdot m^2}{kg^2} \cdot \frac{kg}{m}} \cong 6{,}3 \times 10^3 \text{ m/s}$$

13 ■ Mostre que $\sqrt{\frac{N \cdot m}{kg}} = m/s$.

****

$$N = kg \cdot m/s^2 ;\ N \cdot m = kg \cdot m^2/s^2 ;\ \frac{N \cdot m}{kg} = m^2/s^2 ;\ \sqrt{\frac{N \cdot m}{kg}} = \sqrt{m^2/s^2} = m/s$$

14 ■ Qual seria a velocidade orbital desse satélite se ele girasse em órbita circular ao redor da Lua a $10 \cdot 10^6$ m de seu centro? Massa da Lua = $7{,}3 \times 10^{22}$ kg.

****

$v \cong 7 \times 10^2$ m/s

15 ■ Portanto, se um satélite de massa m move em trajetória circular de raio R ao redor de um centro de força de massa M, a sua velocidade orbital é v = ______ . Logo, a energia cinética desse satélite é $E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$ = ______ (substitua v). A energia potencial é E_p = ______ .

****

$$\sqrt{\frac{G \cdot M}{R}} ;\ \frac{G \cdot M \cdot m}{2R} ;\ -\frac{G \cdot M \cdot m}{R}$$

16 ■ Então a energia mecânica total do satélite será $E = E_c + E_p$ = ______ (substitua e simplifique).

****

$E = -\frac{G \cdot M \cdot m}{2R}$ (observe que $E = \frac{E_p}{2}$)

17 ■ Para um satélite de massa m em órbita circular de raio R ao redor do centro de força com massa M, a energia total admite uma expressão simplificada E = ______ . Se não houver atrito ou influência de outra força externa, este satélite conservará a sua energia e portanto a órbita será mantida indefinidamente.

****

$$E = -\frac{G \cdot M \cdot m}{2 \cdot R}$$

18 ■ Um satélite de massa 200 kg é colocado em órbita circular ao redor da Terra a 12×10^6 m de seu centro. Calcule a energia mecânica desse satélite.

* * * * * * * * * * * *

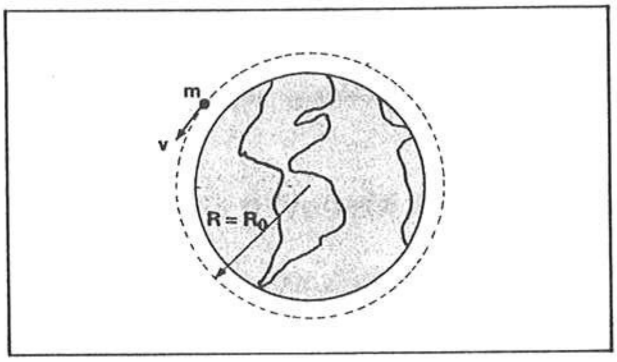
$E \cong -3{,}3 \times 10^9$ J

19 ■ Qual a velocidade orbital do satélite do item 18?

* * * * * * * * * * * *

$v \cong 5{,}7 \times 10^3$ m/s

20 ■ Admitindo-se que a Terra seja uma esfera perfeita, com que velocidade devemos lançar uma pedra com massa 2,0 kg de modo que ela entre em órbita circular ao redor da Terra ao nível de sua superfície? Desprezar atrito com o ar.



* * * * * * * * * * * *

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R_0}} \cong 8 \times 10^3 \text{ m/s}$$

21 ■ Qual a intensidade da força centrípeta sobre a pedra do item 20?

* * * * * * * * * * * *

$$F_C = \frac{m \cdot v^2}{R} \cong 20 \text{ N}$$

22 ■ Qual o peso da pedra do item 20?

* * * * * * * * * * * *

$p = m \cdot g = 19{,}6 \cong 20$ N.

23 ■ Para um corpo em órbita circular ao redor da Terra, a força centrípeta (é; não é) igual ao peso do corpo.

* * * * * * * * * * * *

é

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ O que é energia mecânica de um corpo?

2 ■ Para um corpo de massa m tendo velocidade v a R metros do centro da Terra, qual a expressão da energia mecânica?

3 ■ Para um corpo em órbita circular ao redor da Terra, deduza a expressão da velocidade orbital.

4 ■ Para corpo em órbita circular, qual é a força centrípeta?

5 ■ Para um corpo ou satélite em órbita circular, deduzir a expressão mais simplificada da energia mecânica total.

6 ■ Qualquer satélite em órbita circular ao redor da Terra possui energia mecânica negativa?

7 ■ Mostre que $E = \frac{E_p}{2}$ para um satélite em órbita circular.

8 ■ Para um satélite em órbita circular $E_c = \frac{|E_p|}{2}$?

9 ■ Por que ao redor da Lua a velocidade orbital é menor que ao redor da Terra, mantido a mesma distância R?

Após isso, você deve estar apto para:

a. calcular a energia mecânica total de um corpo no campo gravitacional.

b. calcular a velocidade orbital de um satélite em órbita circular.

c. calcular a energia mecânica total de um satélite em órbita circular.

d. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Um satélite de massa 500 kg possui órbita circular a 15×10^6 m do centro da Terra. Calcule:
a) a sua velocidade orbital;
b) a força centrípeta e a força gravitacional sobre o satélite;
c) a sua energia mecânica.

2 ■ Um satélite artificial deve possuir uma órbita circular estável ao redor da Terra de modo que sua velocidade orbital seja $2{,}0 \times 10^3$ m/s. Calcule o raio da órbita.

3 ■ Que velocidade orbital e que energia mecânica total deve ter um satélite de massa 200 kg para que gire em órbita estável a 600 km acima da superfície da Terra?

4 ■ Um satélite possui órbita estável ao redor da Terra. A sua trajetória é uma superfície eqüipotencial de potencial gravitacional $U = -5{,}0 \times 10^7$ J/kg. Sendo 800 kg a massa total deste satélite, determine:
a) a sua energia potencial;
b) a sua energia mecânica total;
c) a sua energia cinética;
d) o raio da órbita;
e) a velocidade orbital.

5 ■ Um satélite com massa $2{,}0 \times 10^3$ kg possui órbita circular ao redor da Terra e energia cinética $E_c = 5{,}0 \times 10^{10}$J. Calcule:
a) a energia potencial gravitacional do satélite;
b) o potencial gravitacional da órbita;
c) o raio da órbita;
d) a velocidade orbital;
e) a energia mecânica total.

6 ■ Um satélite da Terra possui órbita circular a uma altura de 600 km da superfície e massa de 5 000 kg. Determinar:
a) a energia potencial do satélite;
b) a sua energia cinética;
c) a sua energia mecânica;
d) a sua velocidade orbital.

7 ■ Um satélite de massa 800 kg descreve em torno da Lua uma trajetória circular de raio 4 000 km. Calcule:

a) a energia potencial;

b) a energia mecânica total;

c) a sua velocidade orbital;

d) o período de movimento.

RESPOSTAS

1 ■ a) $v \cong 5{,}1 \times 10^3 m/s$

b) $F_c = F_G \cong 8{,}9 \times 10^2$ N

c) $F \cong -6{,}7 \times 10^9$ J

2 ■ $R \cong 10{,}0 \times 10^7$ m

3 ■ $v = -5{,}7 \times 10^9$ J

4 ■ a) $E_p = -4{,}0 \times 10^{10}$ J

b) $E_T = -2{,}0 \times 10^{10}$ J

c) $E_c = 2{,}0 \times 10^{10}$ J

d) $R = 8{,}0 \times 10^6$ m

e) $v \cong 7{,}1 \times 10^3$ m/s

5 ■ a) $E_p = -10 \times 10^{10}$ J

b) $U = -5{,}0 \times 10^7$ J/kg

c) $R = 8 \times 10^6$ m

d) $v = 7{,}1 \times 10^3$ m/s

e) $E = -5{,}0 \times 10^{10}$ J

6 ■ a) $E_p = -29 \times 10^{10}$ J

b) $E_c \cong 14 \times 10^{10}$ J

c) $E \cong -14 \times 10^{10}$ J

d) $v \cong 7{,}6 \times 10^3$ m/s

7 ■ a) $E_p \cong -9{,}7 \times 10^8$ J

b) $E \cong -4{,}9 \times 10^8$ J

c) $v \cong 11 \times 10^2$ m/s

d) T = 6,3 horas

D – ENERGIA DE LIGAÇÃO
VELOCIDADE DE ESCAPE

1 ■ Se jogarmos uma massa m verticalmente para cima ela atingirá uma altura máxima e depois retornará à Terra. Se o lançamento for realizado com velocidade cada vez maior a altura máxima atingida será_____________________________. Na altura máxima a velocidade é__________, logo a energia cinética também é__________.

****

também cada vez maior; 0; 0

2 ■ Qual é a condição para que um corpo lançado contra o campo gravitacional não mais retorne à Terra? Se não existir retorno, isto implica que o corpo atingiu um ponto (fora; dentro) do campo gravitacional terrestre, isto é, uma altura máxima infinita.

****

fora

3 ■ Tal ponto é considerado como aquele que é infinitamente distante da Terra, onde a energia potencial gravitacional do corpo é______________ e a energia cinética do corpo é zero, no mínimo.

****

zero

4 ■ Portanto, existe uma velocidade mínima de lançamento para que um corpo animado com esta velocidade, escape da gravitação da Terra. Esta velocidade mínima é denominada de **velocidade de escape**, que simbolicamente escreveremos v_e. Se lançarmos um corpo, verticalmente para cima com uma velocidade igual à de escape, o corpo____.

****

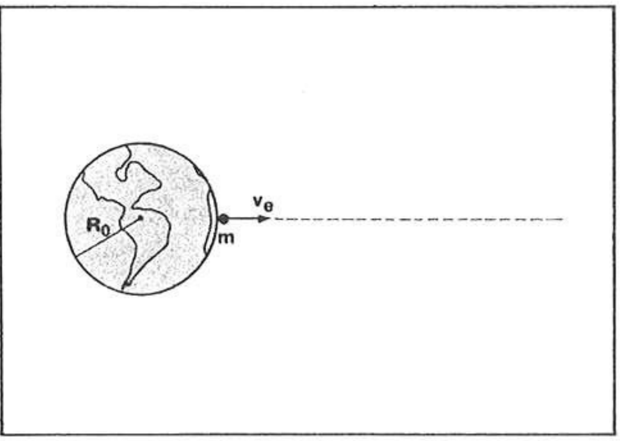
atingirá uma altura máxima infinita, libertando-se do campo gravitacional da Terra

5 ■ Um corpo é lançado da Terra com velocidade de escape. Ele atingirá um ponto infinitamente distante da Terra, onde sua energia potencial será_______________. A altura máxima é atingida no__________________, onde sua energia cinética vale E_c =______________.

****

nula; infinito; 0

6 ■ De que forma podemos calcular a velocidade de escape? Vamos supor que um corpo de massa m seja lançado da superfície da Terra, conforme ilustra o esquema ao lado. Vamos admitir que o efeito do atrito com o ar seja desprezível. Na realidade, este efeito (é; não é) desprezível. **Se a velocidade for a de escape**, o corpo atingirá um ponto de altura máxima onde sua E_p =__________e onde também a sua energia cinética é zero; se a velocidade de lançamento for **maior que a de escape**, então o corpo atingirá o ponto onde sua E_p = 0, mas terá ainda energia cinética (continuando; não continuando) o seu movimento pelo espaço sideral.



****

não é; 0; continuando

7 ■ A energia mecânica total da massa m mencionada no item 6 é dada por $E = \frac{m \cdot v_e^2}{2} - \frac{G \cdot M \cdot m}{R_0}$, onde v_e é a ___________________________; m é a________________________; M é a massa da________________ e R_0 é o__________ ___________________________.

****

velocidade de escape; massa do corpo; Terra; o raio da Terra

8 ■ Pela Lei da Conservação de Energia Mecânica, como estamos desprezando o atrito com o ar, a energia mecânica no ato de lançamento (é; não é) igual a energia mecânica do corpo em qualquer posição de sua trajetória. No infinito, o corpo terá E_p =________________e E_c =________________, logo, no infinito a energia mecânica do corpo é E =______________.

****

é; 0; 0; 0

9 ■ Portanto, quando o corpo é lançado com a velocidade de escape a sua energia mecânica total (é; não é) nula, pois no infinito a sua energia total é nula. Logo, $E = \frac{m \cdot v_e^2}{2} - \frac{G \cdot M \cdot m}{R_0}$, pode ser igualada a zero.
Logo 0 = __________________ - __________________.

****

é; $\frac{m \cdot v_e^2}{2}$; $\frac{G \cdot M \cdot m}{R_0}$

10 ■ $\frac{m \cdot v_e^2}{2} - \frac{G \cdot M \cdot m}{R_0} = 0$, logo $v_e =$ ____________.

****

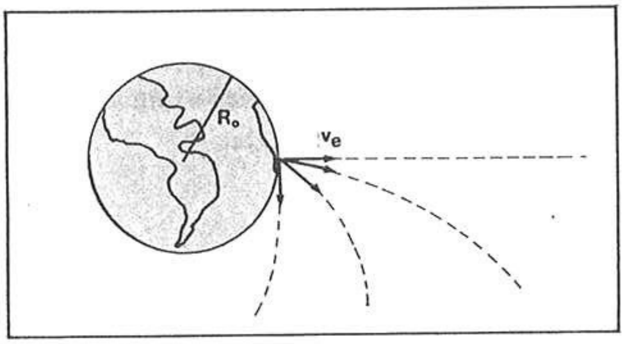
$\sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R_0}}$

11 ■ Portanto, $v_e = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R_0}}$ é a expressão que nos permite calcular a velocidade de escape de um corpo, a partir da superfície da Terra. A velocidade de escape de um corpo (depende; não depende) de sua massa; ela depende da massa da Terra M e do raio R_0 da Terra, quando lançado a partir da superfície.

****

não depende

12 ■ A velocidade de escape também não depende do ângulo de lançamento. Qualquer que seja o ângulo de lançamento, desde que com velocidade de escape, o corpo se libertará do campo gravitacional da Terra. Na figura ao lado estão ilustrados diversos ângulos de lançamento. Se você lançar uma pedra, com ângulo de tiro fazendo 30° com a horizontal, a pedra escapará do campo gravitacional da Terra se a velocidade for a de escape?



****

sim

13 ■ Calcule a velocidade de escape de um corpo lançado a partir da superfície da Terra.

****

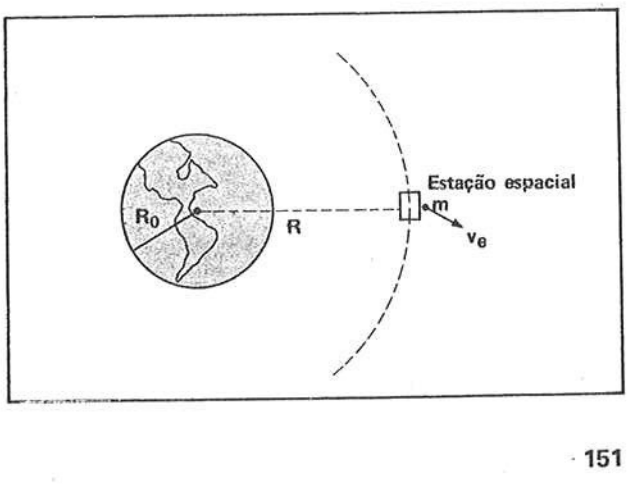
$$v_e = \sqrt{\frac{2 \times 6{,}67 \times 10^{-11} \times 6{,}0 \times 10^{24}}{6{,}4 \times 10^6}} \cong 11 \times 10^3 \text{ m/s} \cong 11 \text{ km/s}$$

14 ■ Portanto, a partir da superfície da Terra, qualquer corpo lançado com a velocidade igual ou superior a 11 km/s (se libertará; não se libertará) da gravitação terrestre. Para que isto seja verdadeiro, o atrito (deve; não deve) ser desprezado.

****

se libertará; deve

15 ■ Se o lançamento for realizado a partir de uma plataforma espacial, qual a expressão da velocidade de escape? No ato de lançamento E = ____________. Se a velocidade for a de escape, então E = 0, pois no infinito a energia total, no mínimo deve ser zero. Logo, $\frac{m \cdot v_e^2}{2} - \frac{G \cdot M \cdot m}{R} = 0$, então $v_e =$ ________.



****

$\frac{m \cdot v_e^2}{2} - \frac{G \cdot M \cdot m}{R}$; $\sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}}$

16 ■ $v_e = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}}$. Agora R é a ______________________________.

****

distância do local de lançamento até o centro da Terra

17 ■ Qual seria a velocidade de escape se lançamento fosse realizado a partir de uma plataforma espacial a 1 600 km acima da superfície da Terra? Agora R = ____________ m e portanto, v_e = ______________ m/s.

****

$6{,}4 \times 10^6 + 1{,}6 \times 10^6 = 8{,}0 \times 10^6$ m; $= 10 \times 10^3$ m/s

18 ■ Podemos observar que a velocidade de escape (diminui; aumenta) com o aumento da distância ao centro da Terra.

****

diminui

19 ■ Se o lançamento fosse realizado a partir do campo gravitacional da Lua, então na expressão $v_e = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}}$, a massa M seria a ____________.

****

da Lua

20 ■ Considerando a Lua como uma esfera tendo raio $R = 1{,}7 \times 10^6$ m e massa $M = 7{,}3 \times 10^{22}$ kg, calcule com que velocidade um corpo deve ser lançado, a partir da superfície, de modo que escape da gravitação lunar.

****

$v_e \cong 2{,}4 \times 10^3$ m/s

21 ■ Um satélite com massa m = 200 kg move-se em trajetória circular de raio $R = 10 \times 10^6$ m em torno da Terra. Qual a sua velocidade de escape?

****

$v_e \cong 9{,}0 \times 10^3$ m/s

22 ■ Se um corpo é lançado com velocidade de escape a partir de um ponto à distância R do centro da Terra a sua energia total (é; não é) zero. Vejamos $E = \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{G \cdot M \cdot m}{R}$; como $v = v_e$ = ______________, então, substituindo-se, E = ______________.

****

é; $\sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}}$; $\frac{m \cdot \left(\frac{\cancel{2} \cdot G \cdot M}{R}\right)}{\cancel{2}} - \frac{G \cdot M \cdot m}{R} = 0$

23 ■ Portanto, quando a energia total for igual a zero o corpo (escapa; não escapa) do campo gravitacional terrestre. Se a velocidade for menor que a de escape a energia mecânica total será (maior; menor) que zero; nesta situação o corpo estará preso ou ligado ao campo gravitacional.

****

escapa; menor

24 ■ Todo corpo que, no campo gravitacional da Terra, possuir energia mecânica total menor que zero, (está; não está) ligado à Terra. Para que ele escape da gravitação é necessário que, no mínimo, a sua energia mecânica total seja igual a ______________.

****

está; zero

25 ■ Um satélite artificial da Terra, com massa 500 kg, possui órbita circular estável a $8{,}0 \times 10^6$ m do seu centro. A sua energia mecânica total é E = ________________ J.

****

$$-\frac{G \cdot M \cdot m}{2 \cdot R} \cong -12{,}5 \times 10^9 \text{ J}$$

26 ■ O satélite do item 25 (está; não está) preso ao campo gravitacional da Terra, pois a sua energia mecânica total é ________________.

****

está; negativa (menor que zero)

27 ■ Que energia adicional mínima o satélite deve receber para que escape da gravitação terrestre? Para que escape é necessário que a sua energia mecânica total seja ________________ ; como ele possui uma energia $E = -12{,}5 \times 10^9$ J, o satélite deve receber uma energia E' = ________________ para que fique com energia total zero.

****

nula; $12{,}5 \times 10^9$ J

28 ■ Se o satélite mencionado acima receber uma energia adicional $E' = 12 \times 10^9$ J, ele escapa da gravitação terrestre? Por quê?

****

O satélite não escapa, pois ele fica ainda com energia total $E = -0{,}5 \times 10^9$ J.

29 ■ E se o satélite receber uma energia adicional $E' = 13 \times 10^9$ J?

****

O satélite ficará, no caso, com $E = 0{,}5 \times 10^9$ J, energia então maior que zero. A condição mínima para escapar da gravitação terrestre é que E = 0. Como ele fica com energia positiva, com maior razão irá escapar da gravitação. No caso, ele atingirá o infinito e terá energia para continuar sua viagem pelo universo afora.

30 ■ A energia que devemos fornecer para que um satélite ou corpo qualquer se liberte do campo gravitacional no qual está preso é denominada de **energia de ligação.** No caso do item 27, a energia de ligação do satélite é E' = ________________.

****

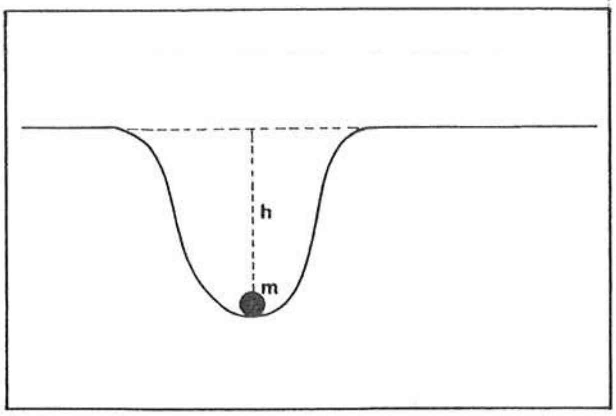
$12{,}5 \times 10^9$ J

31 ■ Um satélite artificial terrestre possui energia total $E = -5{,}8 \times 10^{10}$ J. Qual a energia de ligação?

****

$E' = 5{,}8 \times 10^{10}$ J

32 ▪ Uma analogia de energia de ligação bem simples é a de um corpo dentro de um poço aqui na superfície da Terra. Supondo que o nível do solo seja o nível de energia potencial zero, então dentro do poço o corpo terá energia potencial negativa. Para que ele "escape" do poço devemos, **no mínimo**, fornecer uma energia cinética de forma que sua energia total seja zero. Vamos supor que no fundo do poço a massa m tenha $E_p = -10$ J. Se ele receber uma energia cinética $E_c = 10$ J a massa (sairá; não sairá) do poço. A energia de ligação deste corpo, no caso, será E' =_______________.



****

sairá; 10 J

33 ▪ Analogamente ao campo gravitacional, no campo elétrico dos átomos, os elétrons encontram-se "presos" em suas órbitas. **Ionizar** um átomo nada mais é do que "arrancar" do campo elétrico um ou mais elétrons. A energia que se deve fornecer para "arrancar" um elétron do campo elétrico do núcleo é denominado também de____________________________________.

****

energia de ligação

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ▪ Qual é a condição mínima para que um corpo escape da gravitação terrestre?

2 ▪ O que é velocidade de escape?

3 ▪ Que ponto, definido em termos de potencial gravitacional, atingirá um corpo se lançado com a velocidade de escape?

4 ▪ O que acontece se a velocidade de lançamento for maior que a de escape?

5 ▪ Deduza a expressão que define a velocidade de escape, caracterizando cada elemento da expressão.

6 ▪ Quando o lançamento é feito de uma plataforma espacial, a partir de que ponto deve a distância ser considerada?

7 ▪ Qual deve ser o valor mínimo da energia mecânica total de um corpo para que ele escape da gravitação terrestre?

8 ▪ O que é energia de ligação?

9 ▪ Em termos de energia mecânica total, qual é a condição para que o corpo esteja "preso" ao campo de atração da Terra?

10 ▪ Qual a analogia entre a ionização de um átomo e a energia de ligação de um satélite artificial?

Após isso, você deve estar apto para:

a. calcular velocidade de escape;

b. determinar a energia de ligação de um corpo no campo gravitacional;

c. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Uma plataforma de lançamento foi construída a 600 km acima da superfície da Terra. Determinar a velocidade de escape a partir desta plataforma.

2 ■ Qual é a energia de ligação de um corpo de massa m = 10 kg em repouso na plataforma mencionada no problema 1?

3 ■ Um satélite de massa m = 2 000 kg é colocado em órbita circular a 1 600 km acima da superfície da Terra. Qual a mínima energia que se deve fornecer ao satélite de modo que escape da gravitação terrestre?

4 ■ Um projétil deve ser disparado de um ponto a $2{,}0 \times 10^6$ m do centro da Lua. Qual deve ser a mínima velocidade para que ele escape da gravitação terrestre? Supor o satélite estacionário.

5 ■ Calcule a velocidade de escape do campo gravitacional da Terra a $4{,}0 \times 10^8$ m do centro da Terra.

RESPOSTAS

1 ■ $v \cong 10{,}7 \times 10^3$ m/s

2 ■ $E' \cong 5{,}7 \times 10^8$ J

3 ■ $E' = 5{,}0 \times 10^{10}$ J

4 ■ $v \cong 2{,}2 \times 10^3$ m/s

5 ■ $v_e = \sqrt{2} \times 10^3$ m/s

SEÇÃO 6 — MOVIMENTO SOB AÇÃO DA GRAVIDADE NAS PROXIMIDADES DA SUPERFÍCIE DA TERRA

Nesta seção veremos o movimento de um corpo nas proximidades da superfície da Terra, região na qual o campo gravitacional g pode ser considerado constante.

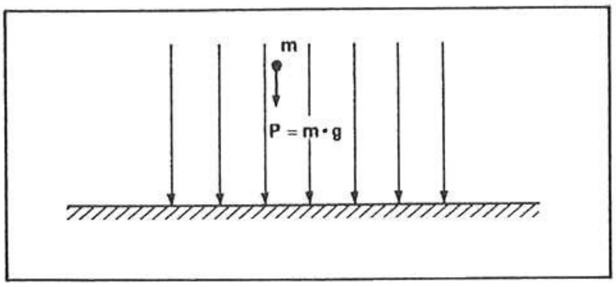
Esta seção está dividida em 3 partes. Na parte A, analisaremos o movimento de um corpo somente na direção vertical. Dois aspectos serão considerados: com existência do ar e sem ar, isto é, no vácuo. Você verá que com presença de ar, um corpo em queda não pode aumentar a sua velocidade indefinidamente; devido ao atrito com o ar o corpo irá atingir uma velocidade máxima denominada de velocidade de regime.

Nas partes B e C estudaremos o movimento balístico de um corpo no campo gravitacional; na parte B trataremos do caso em que um corpo é lançado horizontalmente de uma determinada altura e na parte C estudaremos o lançamento oblíquo, isto é, um corpo lançado fazendo um certo ângulo com a horizontal. Caracterizaremos a altura máxima atingida e o alcance máximo.

A – MOVIMENTO NA VERTICAL:

- VELOCIDADE DE REGIME
- QUEDA LIVRE

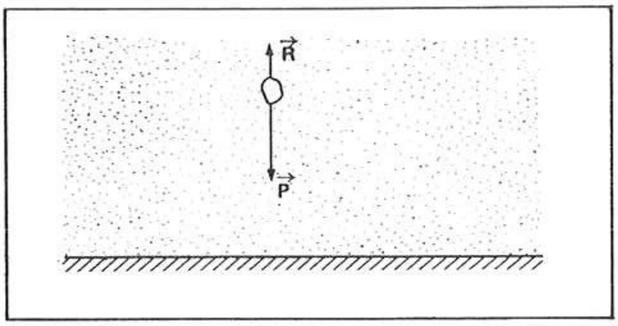
1 ■ Na figura ao lado está ilustrada uma pequena região da superfície da Terra. Uma sala, por exemplo. Já vimos que numa região como esta o campo gravitacional g (é; não é) constante. Um corpo com massa m é abandonado de uma determinada altura. O corpo, sob a ação da força gravitacional, isto é, sob ação de seu ________________ irá cair. O peso do corpo (é; não é) constante nesta região.



* * * * * * * * * * * *

é; peso p = mg; é

2 ■ O corpo, à medida que cai, (colide; não colide) com as moléculas do ar atmosférico. Devido a essas colisões, o ar oferece uma força de atrito que irá se opor ao movimento do corpo. Na figura ao lado, $\vec{p}$ representa o peso do corpo e $\vec{R}$ a força resistiva do ar. A força resultante no corpo é F_R = ____________ (em termos de p e R).



* * * * * * * * * * * *

colide; p – R (Não pode ser R – p, pois o peso é maior que R, do contrário o corpo subiria)

3 ■ De acordo com a 2ª Lei de Newton, a força resultante é expressa por F_R = ______________ (em termos de massa e aceleração). Portanto combinando-a com a expressão da força resultante do item 2, podemos exprimir a aceleração resultante por a = ________________ .

* * * * * * * * * * * *

$m \cdot a; \ \frac{p - R}{m}$

4 ■ Como p = m · g, então a aceleração também pode ser expressa por a = ______________ (simplifique).

* * * * * * * * * * * *

$g - \frac{R}{m}$

5 ■ $a = g - \frac{R}{m}$ representa a aceleração com que a massa cai no campo gravitacional, sob a ação de seu peso. Nesta expressão R é ________________________________ .

* * * * * * * * * * * *

resistência do ar (força de atrito com o ar)

6 ■ Se o corpo cair num local onde não existe ar, isto é, no **vácuo**, então (existe; não existe) a força resistiva R.

* * * * * * * * * * * *

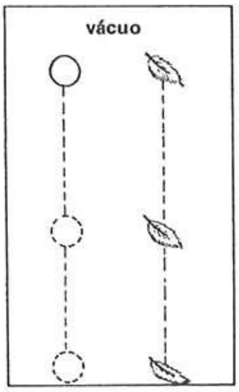
não existe (pois a força resistiva é conseqüência da colisão com as moléculas do ar)

7 ■ No vácuo, como R = 0, então a aceleração de queda é a = ________________ .

* * * * * * * * * * * *

g

8 ■ Se retirarmos o ar do interior de um tubo de vidro (teremos; não teremos) uma região denominada vácuo. Quando um corpo cair dentro do tubo, como a força resistiva é R = ______________, o corpo cairá com aceleração resultante a = ______________. No vácuo, tanto **uma moeda** como uma **pena** (caem; não caem) com a mesma aceleração, pois no vácuo não existe força retardadora devido o atrito com o ar.



★★★★★★★★★★★★

teremos; 0; g; caem

9 ■ Portanto, no vácuo, todos os corpos caem com aceleração numericamente igual ao valor do campo gravitacional, isto é, nas proximidades da Terra a = ______________ (valor e unidade).

★★★★★★★★★★★★

9,8 m/s^2 (considerando-se o valor normal do campo gravitacional)

10 ■ Em geral, a força de resistência do ar depende do formato do corpo. Se abandonarmos uma folha de papel de uma determinada altura ela irá cair gastando um tempo razoável. Se amassarmos esta folha de forma que ela se aproxime de uma pequena esfera e a abandonarmos da mesma altura, agora o tempo gasto será bem menor. Faça esta experiência já. O fato de amassarmos a folha de papel (alteramos; não alteramos) o seu peso, mas sim a sua forma. A resistência do ar no papel normal (é; não é) maior que quando amassado.

★★★★★★★★★★★★

não alteramos; é

11 ■ A força de resistência do ar, em geral, aumenta de intensidade conforme a velocidade do corpo aumenta. A força resistiva R aumenta até um valor máximo; o valor máximo que R pode assumir é numericamente igual ao peso do corpo em movimento. Quando isto acontece, a força resultante no corpo é F_R = ______________(valor).

★★★★★★★★★

0; (pois $F_R = p - R$, como $R = p$, então $F_R = p - p = 0$)

12 ■ A partir do instante em que a resistência R do ar se igualar numericamente ao peso, a aceleração resultante no corpo será (zero; diferente de zero), pois $F_R = 0$. Nesta situação, a velocidade do corpo (aumenta; permanece constante; diminui) e o movimento passa a ser uniforme.

★★★★★★★★★★★★

zero; permanece constante

13 ■ Enquanto a resistência do ar for menor que o peso, o corpo (fica; não fica) sob aceleração e portanto (aumenta; não aumenta) de velocidade. A velocidade de um corpo em queda aumenta até o instante em que a resistência do ar se igualar ao peso do corpo. Neste instante a velocidade do corpo atinge um valor máximo, a partir do qual ela (se mantém; não se mantém) constante. A esta velocidade máxima damos o nome de **velocidade de regime** ou **velocidade terminal** e é simbolizada com v_r. Um corpo com velocidade de regime (executa; não executa) movimento uniforme.

★★★★★★★★★★★★

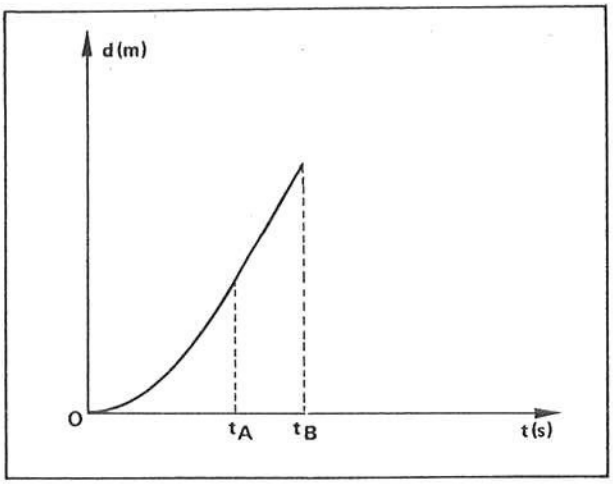
fica; aumenta; se mantém; executa

14 ■ Um corpo em queda, na presença de ar atmosférico, aumenta a sua velocidade até atingir uma velocidade máxima denominada ______________________________. Quando o corpo atingir a velocidade de regime a força de resistência do ar se ______________________________. Quando a queda se dá por uma pequena distância e se o peso do corpo for razoável, muitas vezes, a velocidade de regime não é alcançada.

****

velocidade de regime ou terminal; iguala numericamente ao peso do corpo

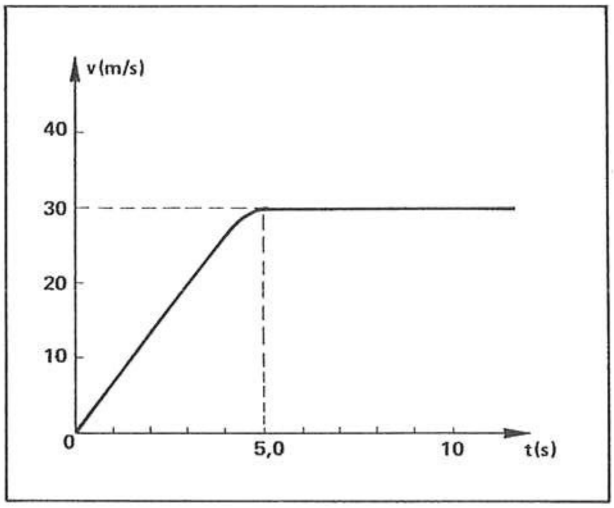
15 ■ A velocidade de regime não é privilégio apenas de um corpo em queda através do ar atmosférico. Uma esfera que cai em um tubo de óleo também adquire velocidade de regime (veja experiência 3 no FAI-1). Da mesma maneira, um barco a motor que singra nas águas azuis de um lago atinge uma velocidade de regime. No primeiro caso, a velocidade de regime é atingida quando a força resistiva do óleo atingir um valor igual ao peso da esfera; no segundo caso, quando a força de atrito com a água atingir um valor igual a força propulsora do motor do barco.
O gráfico ao lado representa, em função do tempo, a posição de um corpo em movimento. Entre os instantes O e t_A, o gráfico não é retilíneo, o que mostra que o movimento não é uniforme; neste intervalo de tempo o corpo está, portanto, sujeito a aceleração. A partir do instante t_A até t_B, o gráfico (é; não é) retilíneo; portanto o movimento (é; não é) uniforme. Portanto, a partir do instante t_A o corpo (atingiu; não atingiu) a velocidade de regime.



****

é; é; atingiu

16 ■ O gráfico ao lado representa, em função do tempo, a velocidade de um corpo em movimento sob ação de força resistiva que aumenta de intensidade com a velocidade. O corpo (atinge; não atinge) velocidade de regime. A velocidade de regime do corpo vale v_r = ______________ e foi alcançada no instante t = ____________________.



****

atinge; 30 m/s; 5,0 s

17 ■ Já vimos que, no vácuo, todos os corpos caem com aceleração a = g. Isto acontece porque a força resistiva R = ______________. Se o campo gravitacional g for constante, então a aceleração de queda (é; não é) constante. Nós denominamos de **queda livre** o movimento de um corpo, no campo gravitacional, quando a força resistiva R puder ser desprezada. Portanto, quando falamos em queda livre, a aceleração do corpo é a = ______________.

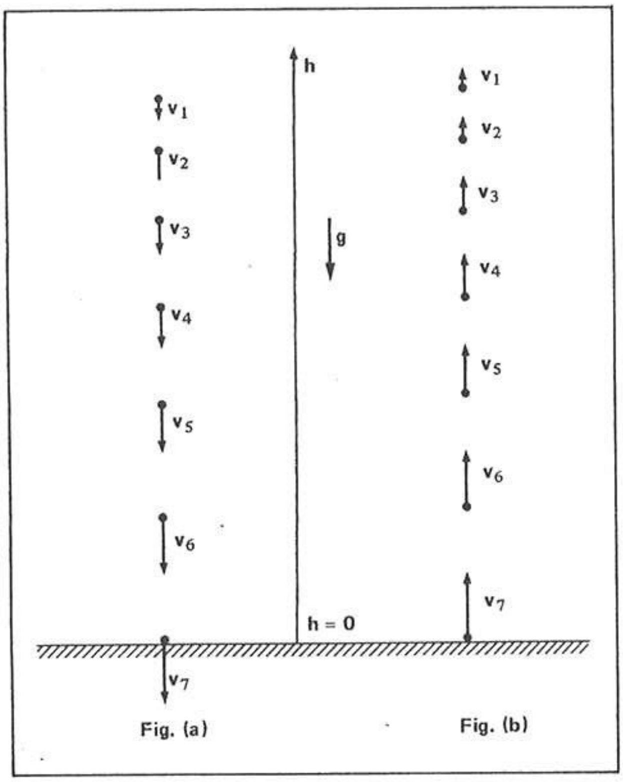
****

0; é; g

18 ■ Um corpo é abandonado, a partir do repouso de uma altura h, num local de gravidade g constante (figura (a) ao lado). Se a queda é livre, então o corpo irá cair com aceleração constante a = ______________. Portanto, trata-se de um movimento retilíneo uniformemente variado, cujas equações foram vistas no livro FAI-1 pag. 124 (3ª Ed.). Reveja-as se você não se lembrar delas.

****

g



19 ■ Na figura (b) do item 18, o corpo é agora lançado verticalmente para cima com velocidade de mesmo valor com que atingiu o solo, na situação da figura (a). Se o movimento **é livre**, então a aceleração com que o corpo se move (é; não é) a = g. Agora, a velocidade do corpo vai diminuindo de valor porque a gravidade atua (de baixo para cima; de cima para baixo), portanto no sentido oposto ao do movimento.

****

é; de cima para baixo

20 ■ Observe que na figura do item 18, o corpo atinge o solo com velocidade v_7 e quando o mesmo corpo é lançado verticalmente para cima com a mesma velocidade v_7 (fig. b) o corpo atinge uma altura máxima igual a da figura (a). Na altura máxima a velocidade é ______________________.

****

zero.

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

1 ■ Próximo à superfície da Terra o campo é constante? O peso do corpo é constante?

2 ■ Qual a força que puxa o corpo para a Terra?

3 ■ Como surge a força resistiva do ar?

4 ■ No ar, como se expressa a força resultante sobre o corpo em queda?

5 ■ Em presença de força resistiva R, como se expressa a aceleração de queda de um corpo de massa m?

6 ■ O que significa vácuo? Dar um exemplo onde existe vácuo.

7 ■ No vácuo existe gravidade?

8 ■ O que não existe no vácuo?

9 ■ Com que aceleração o corpo cai no vácuo?

10 ■ Por que a folha de papel amassada cai mais rapidamente que a folha sem ser amassada?

11 ■ A força resistiva do ar depende do formato do corpo? Dar um exemplo em que se evidencia este fato.

12 ■ Um corpo abandonado no campo gravitacional aumenta a sua velocidade indefinidamente? Explique.

13 ■ O que é velocidade terminal?

14 ■ O que é velocidade de regime?

15 ■ Qual é a força resultante no corpo quando este atinge a velocidade de regime?

16 ■ Na velocidade de regime qual é o tipo de movimento?

17 ■ A velocidade de regime é privilégio apenas de corpos em queda no campo gravitacional? Explique.

18 ■ Faça um gráfico da velocidade em função do tempo, mostrando a velocidade de regime.

19 ■ Um paraquedista durante a queda atinge velocidade de regime?

20 ■ Uma pedra é abandonada na superfície da água de uma piscina. Quando ela atingir a velocidade de regime qual é o valor da força resistiva da água, se o peso da pedra é de 1,0 N?

21 ■ O que queremos dizer com queda livre? Um corpo em queda livre possui que aceleração?

22 ■ Quando falamos em queda livre o que estamos desprezando?

Após isso, você deve estar apto para:

a. escrever a equação da força resultante sobre um corpo em queda sujeito a força resistiva R.

b. escrever a equação da aceleração resultante no corpo quando em queda na presença de força resistiva R.

c. caracterizar queda livre.

d. caracterizar velocidade de regime.

e. resolver problemas propostos.

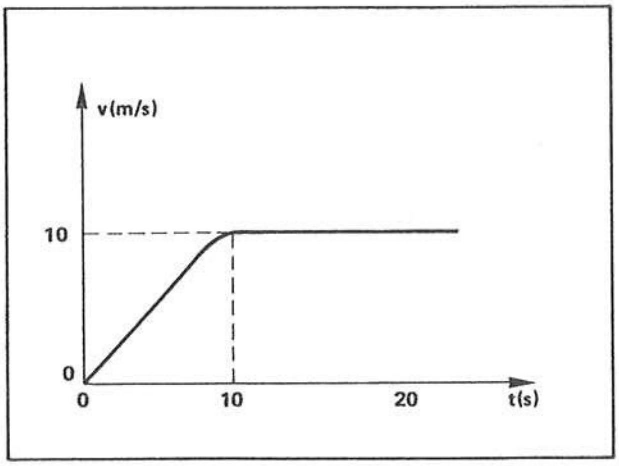
PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ A partir do repouso, um corpo de massa m = 0,10 kg é abandonado de uma altura h. Sendo o campo gravitacional constante g = 10 N/kg, determinar a aceleração no corpo quando a força resistiva R = 0,20 N.

2 ■ Um corpo de massa m = 0,200 kg cai com velocidade constante num local onde o campo gravitacional g = = 9,80 N/kg. Determine a intensidade da força resistiva R.

3 ■ Um corpo é abandonado no vácuo. Sendo g = 9,8 N/kg, com que aceleração o corpo cai?

4 ■ No gráfico ao lado, determinar:
a) o instante em que o corpo entra em velocidade de regime;
b) a velocidade de regime;
c) em velocidade de regime, a distância percorrida em 2,0 s.



RESPOSTAS

1 ■ $a = 8{,}0\ m/s^2$

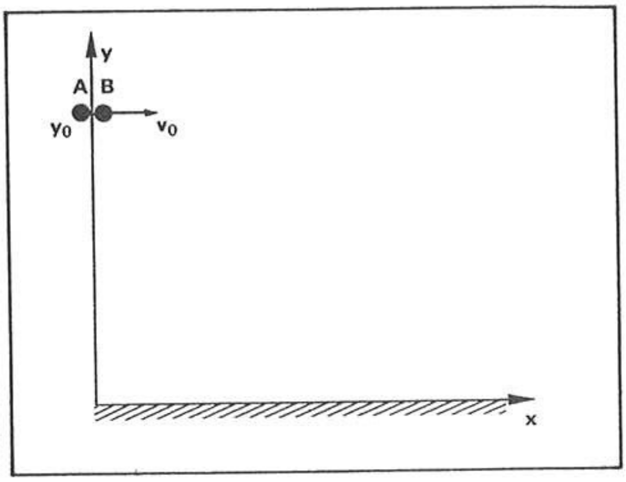
2 ■ $R = p = 1{,}96\ N$

3 ■ $a = g = 9{,}8\ m/s^2$

4 ■ a) $t = 10\ s$ b) $v_r = 10\ m/s$ c) $\Delta d = 20\ m$

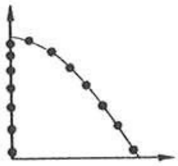
B — BALÍSTICA:
LANÇAMENTO HORIZONTAL DE UM CORPO NO CAMPO GRAVITACIONAL, COM RESISTÊNCIA DO AR DESPREZÍVEL

1 ■ Ao lado temos duas esferas, A e B, a uma altura y_0 (eixo y na vertical e eixo x na horizontal). A esfera A é abandonada em repouso e a B é lançada, simultaneamente, com velocidade horizontal v_0. O atrito do ar é desprezível. A esfera A cairá em linha reta e a B (seguirá; não seguirá) na horizontal. Esboce na figura a trajetória de A e de B.

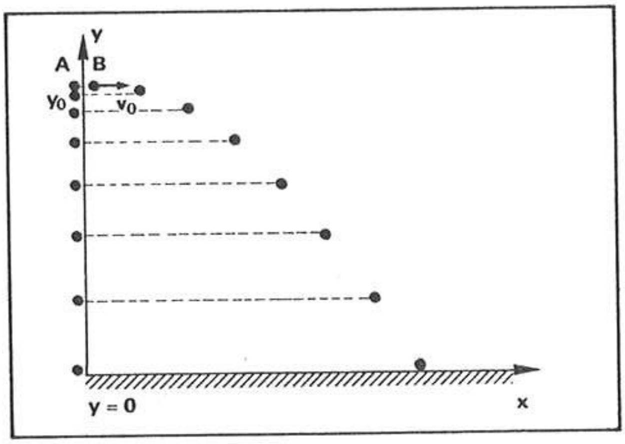


****

não seguirá;



2 ■ Na figura ao lado temos as posições ocupadas tanto por A como por B ao mesmo instante. Observe que A e B estão, a todo o instante, a uma mesma altura; elas atingem o solo (em instante diferente; no mesmo instante). Portanto, o tempo de queda da esfera A (é; não é) o mesmo que o de B. Portanto, se calcularmos o tempo de queda livre da esfera A (estaremos; não estaremos) calculando o tempo de queda da esfera B.



****

no mesmo instante; é; estaremos

3 ■ O eixo das alturas (y) é orientado no sentido oposto ao do campo gravitacional. A esfera A cai de uma altura inicial y_0 até atingir o solo, onde y = ____________ . Logo, $\Delta y = y - y_0 =$ ____________.

****

0; $-y_0$

4 ■ Como a resistência do ar é desprezada, então a = g. A orientação do eixo y é para cima e a aceleração é para baixo, então a aceleração a = (+g; −g).

****

$-g$

5 ■ Como $\Delta y = v_{0y} \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2$ e sendo $v_{0y} = 0$ (velocidade inicial na direção y); $a = -g$ e $\Delta y = -y_0$, então substituindo-se teremos: ____________ = ____________.

****

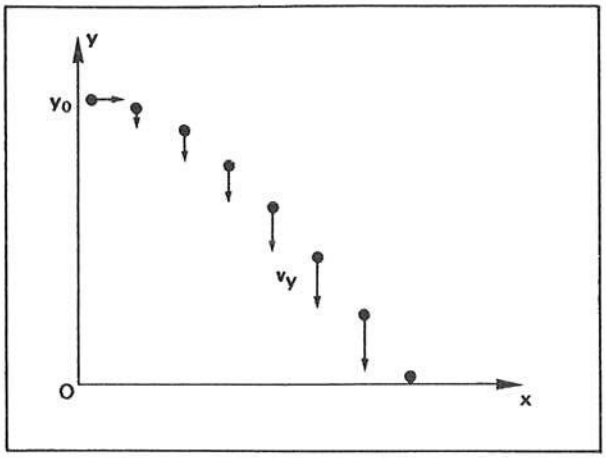
$-y_0 = 0 + \frac{(-g)}{2} \cdot t^2$ ou $y_0 = \frac{g}{2} \cdot t^2$, após cancelado o sinal

6 ■ Tanto a esfera A como a B, da figura do item 2, caem da mesma altura y_0 e gastam o mesmo tempo t. O tempo de queda, tanto para A como para B, pode ser expresso a partir da equação $y_0 = \frac{g}{2} \cdot t^2$. Portanto, o tempo de queda é t = ____________________.

****

$$\sqrt{\frac{2 \cdot y_0}{g}}$$

7 ■ Uma esfera é lançada horizontalmente com velocidade v_0, a partir de altura y_0. A velocidade inicial na direção vertical (y) é $v_{0y} = 0$. A aceleração é (para baixo; para cima), logo, na vertical. À medida que o corpo cai, a sua velocidade vai (aumentando; diminuindo). A equação da velocidade é $v_y = v_{0y} + a \cdot t$. Como a = ____________________ e $v_{0y} = 0$, então v_y = ________________.



****

para baixo; aumentando; $-g$; $-g \cdot t$

8 ■ $v_y = -g \cdot t$. O sinal negativo significa que a velocidade de queda é de (mesmo sentido; sentido oposto) ao do eixo vertical y. Se a esfera estivesse subindo, então a velocidade v_y seria ________________________________.

****

sentido oposto; positiva

9 ■ Qual é a velocidade, na direção vertical, quando a esfera atinge o solo? No item 6, vimos que o tempo de queda é t = ____________________(em função de g e y_0). Então, substituindo na equação da velocidade, teremos v_y = ____________________.

****

$$\sqrt{\frac{2 \cdot y_0}{g}}\ ;\ -g\sqrt{\frac{2 \cdot y_0}{g}} = -\sqrt{\frac{2g^2 y_0}{g}} = -\sqrt{2 \cdot g y_0}$$

10 ■ O mesmo resultado poderia ser obtido pela aplicação da equação de Torricelli: $v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta d$. Para o nosso caso, $v = v_y$; $v_0 = v_{0y} = 0$; a = ________________ e $\Delta d = \Delta y$ = ________________. Logo, substituindo-se, teremos: v_y^2 = ____________________ e finalmente, v_y = ____________________(escolha o sinal adequado).

****

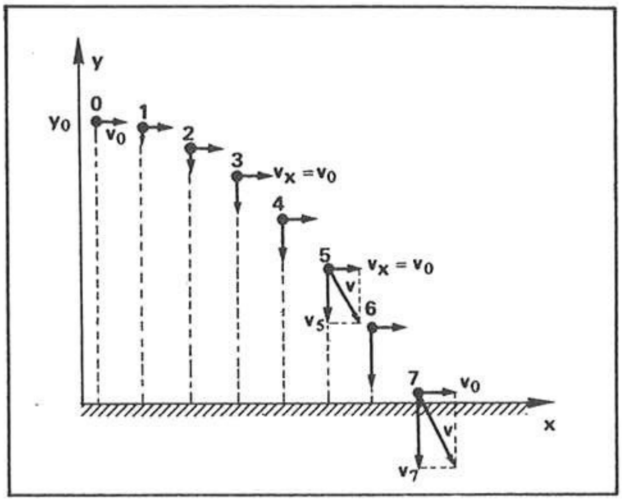
$-g$; $-y_0$; $\pm\sqrt{2 \cdot g \cdot y_0} = -\sqrt{2 \cdot g \cdot y_0}$ (o sinal é negativo porque a esfera está caindo)

11 ■ Uma esfera é lançada com velocidade horizontal $v_0 = 4{,}0$ m/s de uma altura de 1,0 m num local de gravidade g = 10 N/kg. Calcule o tempo de queda e a velocidade na direção vertical, quando atinge o solo. Faça os cálculos aqui.

****

$t = \sqrt{0{,}2}$ s; $v_y = \sqrt{20}$ m/s

12 ■ Na direção x, isto é, na horizontal, (atua; não atua) força sobre a esfera. Logo, na horizontal a esfera (está; não está) acelerada. Se ela não está acelerada na direção horizontal, então a sua velocidade nesta direção (se mantém; não se mantém) constante.



****

não atua; não está; se mantém

13 ■ Portanto, na direção x o movimento (é; não é) uniforme e a velocidade v_x =_______________ em qualquer instante. Observe na figura acima que os traços verticais que passam pela esfera nos sucessivos instantes (são; não são) igualmente espaçadas. Isto implica que, **na direção x**, a esfera percorre espaços iguais em tempos iguais, sendo uniforme o movimento nesta direção. Na direção vertical (y) o movimento da esfera (é; não é) uniforme.

****

é; v_0; são; não é

14 ■ Podemos observar, então, que um corpo lançado na horizontal conforme ilustra a figura no item 12 fica sujeito, **simultaneamente**, a dois tipos de movimento: um acelerado na direção_______________________ e outro _______________________ na direção horizontal (x). E como resultado disto o corpo move-se de acordo com a trajetória mostrada na figura.

****

vertical (y); uniforme

15 ■ Em cada instante o corpo está sujeito a duas velocidades: na direção vertical a velocidade é v_y =_______________ (em função de g e t) e na direção horizontal a velocidade é v_x =_______________. Portanto, a velocidade resultante $\vec{v}$ sobre o corpo é dada pela soma vetorial de $\vec{v}_y$ com $\vec{v}_x$; como estas velocidades são perpendiculares entre si, o valor da velocidade resultante é dado pela hipotenusa do triângulo retângulo cujos catetos são v_y e v_x (veja por exemplo a posição 5 na figura do item 12). Logo $v^2 = v_x^2 + v_y^2$ ou v =_______________________.

****

$-g \cdot t$; v_0; $\sqrt{v_y^2 + v_x^2}$

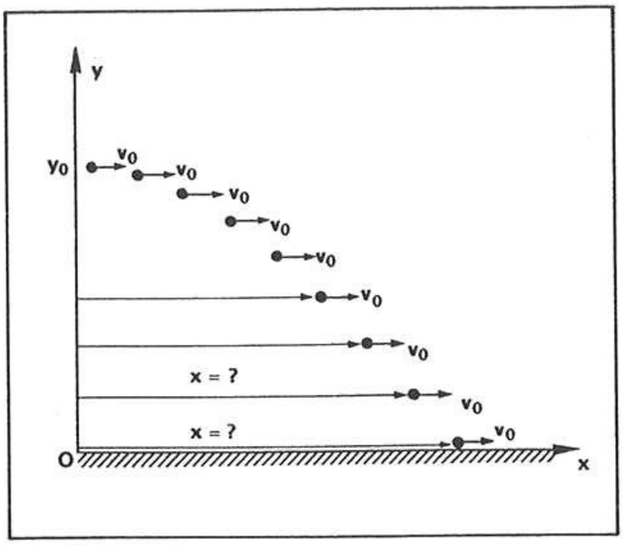
16 ■ Retorne ao enunciado da questão do item 11. Calcule a velocidade resultante v da esfera quando atinge o solo.

****

$v_x = v_0 = 4{,}0$ m/s; $v_y = -10 \cdot t = -10 \cdot \sqrt{0{,}2}$ m/s

$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{16 + 20} = 6{,}0$ m/s

17 ■ Um corpo é lançado na horizontal com velocidade v_0, a partir de uma altura y_0, conforme ilustra a figura ao lado. Como determinar o deslocamento horizontal x do corpo? Vamos resolver o problema para o deslocamento x quando o corpo atinge o solo. Já vimos que o tempo de queda pode ser deduzido a partir da expressão y_0 = ______________ e t = ______________. Neste tempo o corpo irá apresentar deslocamento na horizontal $x = v_0 \cdot t$. Substituindo-se o valor de t, teremos: x = __________.



****

$\frac{1}{2}gt^2$; $\sqrt{\frac{2y_0}{g}}$; $v_0\sqrt{\frac{2y_0}{g}}$

18 ■ Portanto, **no mesmo tempo** em que o corpo cai de uma altura y_0, ele apresenta um deslocamento $x = v_0 \cdot t$. (o movimento é uniforme nesta direção). Nesta equação, t (é; não é) o tempo de queda do corpo.

****

é

19 ■ Um corpo é lançado de uma altura de 2,0 m com velocidade horizontal v_0 = 4,0 m/s. Qual o deslocamento horizontal apresentado quando atinge o solo? Supor g = 10 N/kg.

****

tempo de queda: $t = \sqrt{\frac{2y_0}{g}} = \sqrt{0{,}4}\ s \cong 0{,}63\ s$

deslocamento horizontal: $x = v_0 \cdot t = 4{,}0\sqrt{0{,}4} \cong 2{,}5\ m$

20 ■ Um corpo é lançado com velocidade horizontal v_0 num local de gravidade g = 10 N/kg. O corpo é lançado a partir de uma altura de 1,0 m e a abscissa do ponto onde atinge o solo é x = 0,90 m. Qual é a sua velocidade horizontal v_0?

****

tempo de queda: $t = \sqrt{\frac{2 \cdot y_0}{g}}$

deslocamento horizontal: $x = v_0 \cdot t = v_0 \cdot \sqrt{\frac{2y_0}{g}}$

portanto, $x = v_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot y_0}{g}}$ donde $v_0 = \frac{x}{\sqrt{\frac{2 \cdot y_0}{g}}} \cong 2{,}0$ m/s.

21 ■ Pela janela do apartamento, um garoto joga uma laranja horizontalmente com velocidade v_0. A laranja atinge o solo, depois de 1,2 s, a 2,4 metros do prédio. Calcule a velocidade v_0 e a altura a partir da qual a laranja foi atirada. g = 10 N/kg.

****

$$v_0 = \frac{x}{t} = 2{,}0\ m/s \text{ e } y_0 = \frac{g}{2} \cdot t^2 = 7{,}2\ m$$

22 ■ No problema do item 21, calcule a energia cinética da laranja ao atingir o solo, supondo m = 0,100 kg a massa da laranja.

****

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}\ ;\ v^2 = v_x^2 + v_y^2 = (2{,}0)^2 + (-12)^2 = 148, \text{ portanto, } E_c = 7{,}4\ J$$

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Quando um corpo é lançado horizontalmente, qual a aceleração que atua sobre ele na horizontal? E na vertical? Supor resistência do ar desprezível.

2 ■ Em função do tempo, qual a expressão da distância de queda?

3 ■ Qual a expressão que nos permite calcular o tempo de queda?

4 ■ A que tipo de movimento o corpo fica sujeito na horizontal? E na vertical?

5 ■ Como se determina a velocidade na direção vertical? Escreva a equação.

6 ■ Como se determina a velocidade resultante no corpo?

7 ■ O corpo lançado horizontalmente fica sujeito simultaneamente a quantos tipos de movimento? Quais são?

8 ■ Como se determina o deslocamento horizontal do corpo?

9 ■ Dois corpos são, simultaneamente, um lançado horizontalmente com velocidade v_0 e o outro simplesmente abandonado, da mesma altura inicial. Qual dos dois chega mais depressa ao solo? Explique.

Após isso, você deve estar apto para:

a. calcular o tempo de queda de um corpo lançado horizontalmente a partir de uma altura y_0.

b. calcular a velocidade na direção vertical, horizontal e a velocidade resultante no corpo que foi lançado horizontalmente.

c. calcular o deslocamento horizontal.

d. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Uma esfera é lançada horizontalmente a partir de uma altura de 20 m com velocidade igual a 5,0 m/s. No local o atrito do ar é desprezível e a gravidade é g = 10 N/kg. Calcule, no instante em que a esfera atinge o solo:

a) o tempo de queda;

b) a velocidade resultante;

c) o deslocamento horizontal.

2 ■ Um corpo é lançado horizontalmente com velocidade 10 m/s a partir do topo de um edifício de 40 m de altura. Supondo g = 10 N/kg e nula a resistência oferecida pelo ar, determinar a velocidade resultante e o deslocamento horizontal do corpo após ter caídc 20 metros.

3 ■ Uma esfera é lançada horizontalmente a partir de altura y_0 = 0,80 m num local onde o atrito do ar é desprezível e a gravidade considerada g = 10 N/kg. A esfera atinge o solo a 1,2 metros de distância do pé da vertical que passa pela esfera no ato de lançamento. Calcule a velocidade de lançamento.

4 ■ Um garoto viaja num trem que se move com velocidade constante de 72 km/h. Da janela do trem o garoto solta uma laranja a 1,25 m do solo. Supondo nula a resistência do ar e a gravidade g = 10 N/kg:

a) No ato em que a laranja foi solta, qual era a sua velocidade? Qual a sua direção?

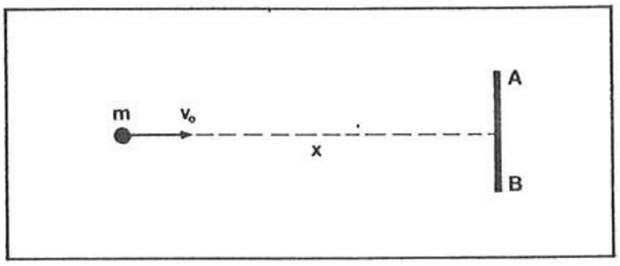
b) Até atingir o solo, qual o deslocamento horizontal da laranja?

c) Até atingir o solo, qual o deslocamento realizado pelo trem se ele mantiver a mesma velocidade?

5 ■ Um avião voa horizontalmente a 2 000 metros de altura e deve lançar uma bomba para atingir um alvo no solo. Sendo v = 900 km/h a velocidade do avião; nula a resistência do ar; o campo gravitacional constante valendo g = 10 N/kg, a que distância do alvo se deve soltar a bomba de modo que o alvo seja atingido? Essa distância é medida do alvo ao pé da vertical que passa pelo avião no ato em que a bomba é solta.

6 ■ Um projétil é atirado horizontalmente contra um alvo a 100 metros de distância com velocidade inicial v_0 = 500 m/s. Supondo nula a resistência do ar e gravidade g_0 = 10 N/kg, a quantos metros abaixo do centro do alvo atinge o projétil?

7 ■ Um alvo de altura AB = 1,0 m encontra-se a certa distância x do ponto de disparo de uma arma. A arma é então mirada no centro do alvo e o projétil sai com velocidade horizontal v_0 = 500 m/s. A que distância x mínima deve se localizar a arma de modo que o projétil atinja o alvo? Supor nula a resistência do ar e gravidade g = 10 N/kg.



8 ■ Um corpo de massa m = 2,0 kg é lançado conforme ilustra a figura ao lado. Supondo nula a resistência do ar e gravidade g = 10 N/kg, determinar:

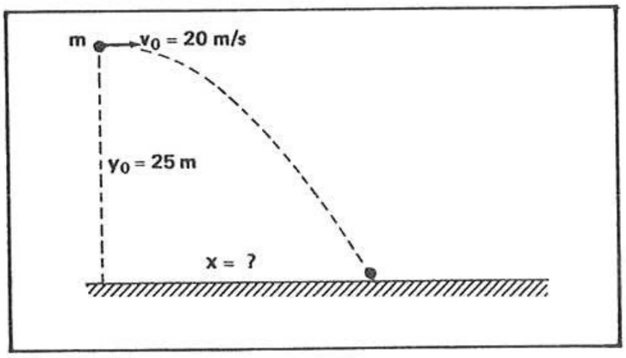
a) a energia total no ato de lançamento;

b) a energia total no instante em que o corpo atinge o solo;

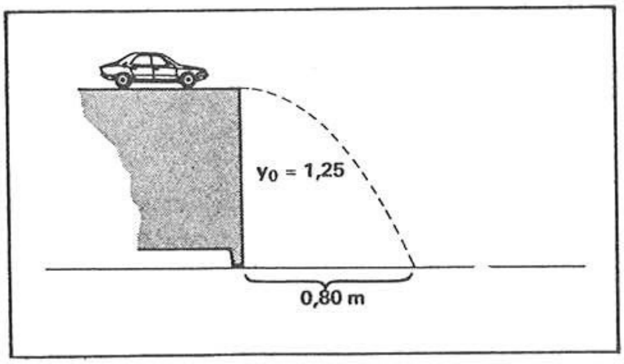
c) a velocidade resultante do corpo ao atingir o solo;

d) o tempo de queda;

e) o deslocamento horizontal x.



9 ■ Um carrinho de brinquedo mantém velocidade constante v_0 ao se movimentar em cima de uma mesa conforme ilustra a figura ao lado. O carrinho escapa da mesa e atinge o solo a uma distância de 0,80 m do pé da mesa. Calcule a velocidade v_0. Supor g = 10 N/kg e nula a resistência do ar.



RESPOSTAS

1 ■ a) $t = 2,0$ s
b) $v \cong 20,6$ m/s
c) $x = 10$ m

2 ■ $v \cong 22,4$ m/s; $x = 20$ m

3 ■ $v_0 = 3,0$ m/s

4 ■ a) $v_0 = 20$ m/s na horizontal
b) $x = 1,0$ m
c) $\Delta d = 1,0$ m

5 ■ $x = 5 \times 10^3$ m

6 ■ $y_0 = 0,20$ m

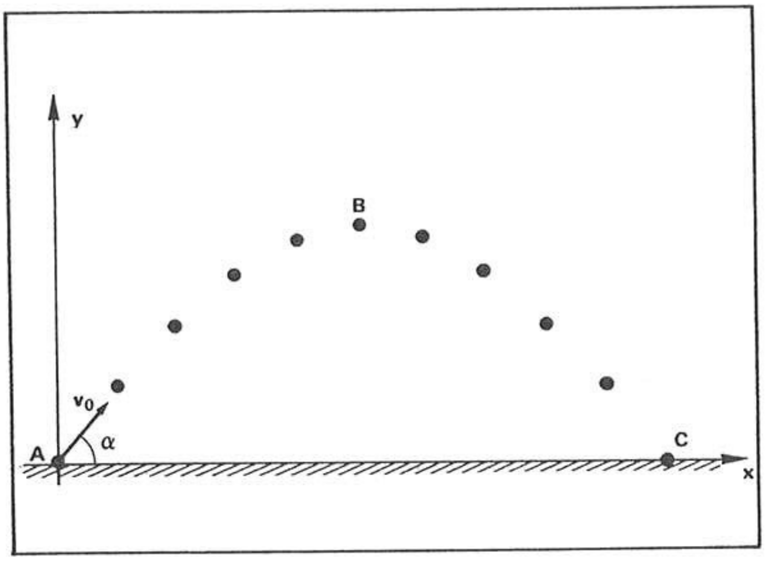
7 ■ $x = 50\sqrt{10}$ m $\cong 158$ m

8 ■ a) $E_T = 900$ J b) $E_T = 900$ J
c) $v = 30$ m/s d) $t = \sqrt{5}$ s
e) $x = 20\sqrt{5}$ m

9 ■ $v_0 = 1,6$ m/s.

C – BALÍSTICA: LANÇAMENTO DE CORPO FAZENDO ÂNGULO α COM A HORIZONTAL

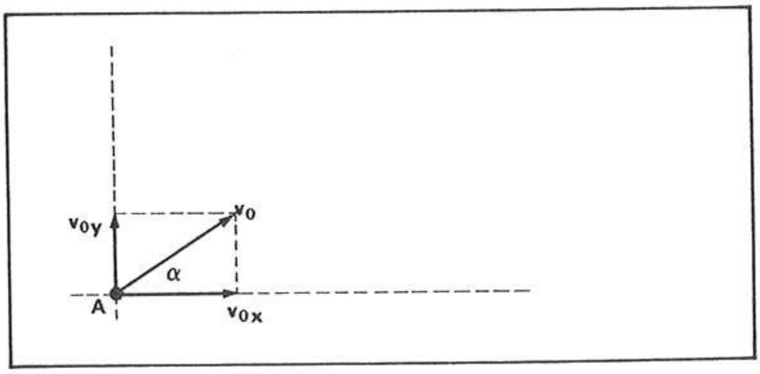
1 ■ Um corpo é lançado a partir do ponto A, com velocidade resultante v_0 fazendo ângulo ______________ com a horizontal. A trajetória seguida pelo corpo corresponde a uma parábola, conforme ilustra a figura ao lado. No ponto B o corpo atinge a altura ______ ______________ e no ponto C o corpo (alcança; não alcança) novamente o mesmo nível do ponto de lançamento.



****

α; máxima; alcança

2 ■ v_0 é a velocidade resultante no corpo no ato de lançamento. Ela pode ser decomposta em duas velocidades: componente vertical v_{0y} e componente horizontal v_{0x}. A figura ao lado ilustra estas componentes. As componentes v_{0x} e v_{0y} (são; não são) perpendiculares entre si; portanto, $v_0^2 =$ ____________ + ____________, pois v_0 (é; não é) a hipotenusa cujos catetos são as componentes ____________ ____________ e ____________.



****

são; $(v_{0x})^2$; $(v_{0y})^2$; é; v_{0x}; v_{0y}

3 ■ No triângulo retângulo de hipotenusa v_0 e catetos v_{0x} e v_{0y}, podemos escrever que $v_{0x} = v_0 \cdot \cos\alpha$ e $v_{0y} = v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha$. Seja um lançamento de velocidade inicial $v_0 = 20$ m/s e ângulo $\alpha = 60°$. Sendo cos 60° = 0.50 e sen 60° = 0,87, determine o valor das componentes horizontal e vertical da velocidade inicial.

v_{0x} = ______________________________ e v_{0y} = ______________________________.

* * * * * * * * * * * *

$v_{0x} = 10$ m/s e $v_{0y} = 17{,}4$ m/s

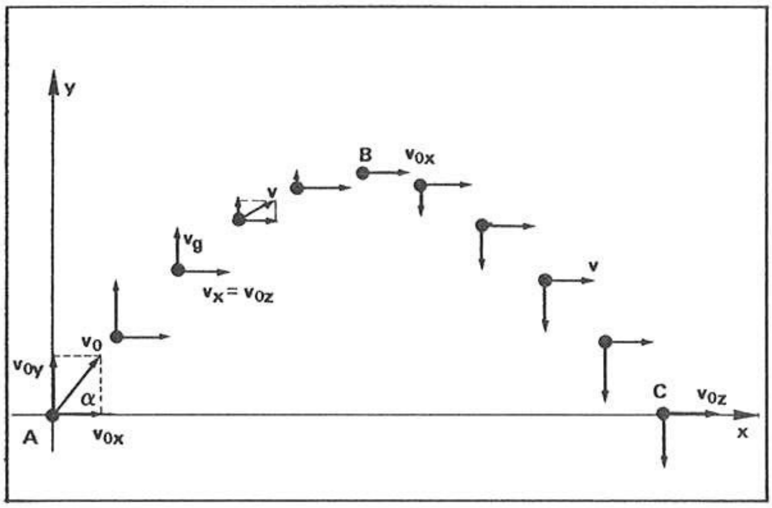
4 ■ No ato de lançamento o corpo fica sujeito então a duas componentes de velocidade: ele possui velocidade inicial na direção horizontal (x) dada por v_{0x} = ______________ , e na direção vertical, a sua velocidade inicial é dada por v_{0y} = ______________ . Conforme vimos quando do estudo do lançamento na horizontal (parte A desta seção), na horizontal não atua força, portanto a componente horizontal (é; não é) alterada durante o movimento. Na direção vertical a aceleração que atua no corpo é a = ______________ e portanto a velocidade nesta direção (é; não é) variável. Na direção vertical a velocidade é (crescente; decrescente) desde A até B, pois a velocidade é contrário ao campo gravitacional; desde B até atingir C, a velocidade agora é ______________ , pois tanto a velocidade como a aceleração possuem o mesmo sentido.

* * * * * * * * * * * *

$v_0 \cdot \cos\alpha$; $v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha$; não é; $-g$; é; decrescente; crescente

5 ■ Portanto, em qualquer posição que o corpo esteja ocupando ao longo de sua trajetória, a velocidade na direção horizontal será sempre $v_x = v_{0x}$ = ______________ .

Na direção vertical a velocidade v_y decresce desde o valor inicial v_{0y} até 0, quando atinge o ponto B de altura máxima. Na direção vertical a velocidade obedece a equação $v_y = v_{0y} - g \cdot t$ ou v_y = ______________ . (substitua $v_{0y} = v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha$).



* * * * * * * * * * * *

$v_0 \cdot \cos\alpha$; $(v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha) - gt$

6 ■ Sintetizando, para um corpo lançado com velocidade v_0 fazendo ângulo α com a horizontal, na ausência de atrito com o ar, a velocidade resultante é composta de duas componentes: a componente horizontal (é; não é) constante e é expressa por v_x = ______________ ; a componente vertical (é; não é) constante e expressa por v_y = ______________ . Em qualquer ponto de sua trajetória a velocidade resultante possui módulo expresso por v^2 = ______________ + ______________ (em termos de v_x e v_y).

* * * * * * * * * * * *

é; $(v_0 \cdot \cos\alpha)$; não é; $(v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha) - gt$; v_x^2; v_y^2

7 ■ O corpo atinge a altura máxima no ponto ______________ . Na altura máxima a velocidade na direção vertical é ______________ e na direção horizontal é ______________ .

* * * * * * * * * * * *

B; $v_y = 0$; $v_x = v_{0x} = v_0 \cdot \cos\alpha$

8 ■ Qual é o tempo t_B que o corpo gasta para atingir a altura máxima? Já sabemos que na altura máxima v_y = ______________. Portanto, pela equação da componente vertical da velocidade, $v_y = (v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha) - gt$, podemos determinar o tempo t_B. Na altura máxima $v_y = 0$ e $t = t_B$; logo, substituindo estes dados na equação teremos: t_B = ______________.

* * * * * * * * * * * *

0; $0 = (v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha) - gt_B$ donde $t_B = \dfrac{(v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha)}{g}$

9 ■ Quando o corpo atinge a altura máxima, qual é o deslocamento horizontal correspondente? Já sabemos que nesta direção a velocidade é constante; portanto $x = v_x \cdot t$. Para a altura máxima, ponto B, o deslocamento horizontal é x_B e o tempo correspondente é t_B = ______________. Logo, x_B = ______________.

* * * * * * * * * * * *

$\dfrac{v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha}{g}$; $(v_0 \cdot \cos\alpha)\left(\dfrac{v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha}{g}\right) = \dfrac{v_0^2 \cdot \cos\alpha \cdot \text{sen}\,\alpha}{g}$

10 ■ Um corpo é lançado a partir do solo com velocidade 10 m/s, fazendo ângulo de 30° com a horizontal. Sendo $\cos 30° = 0{,}87$ e $\text{sen}\,30° = 0{,}50$ e $g = 10$ N/kg, calcule depois de quanto tempo o corpo atinge o ponto de máxima altura.

* * * * * * * * * * * *

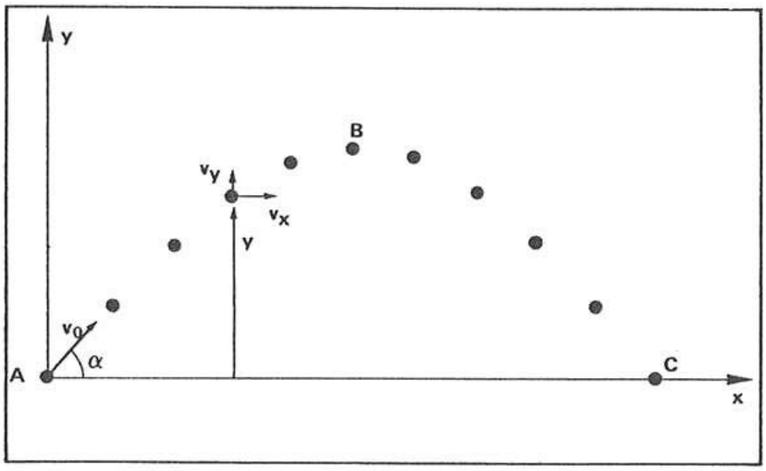
$t_B = 0{,}50$ s

11 ■ Para o corpo mencionado no item 10, calcular a velocidade na direção horizontal e o deslocamento horizontal até atingir a altura máxima.

* * * * * * * * * * * *

$v_x = v_{0x} \cong 8{,}7$ m/s; $x_B \cong 4{,}3$ m

12 ■ Qual é a expressão que nos permite determinar a altura y do corpo num dado instante genérico t?
Já vimos que, na vertical, o movimento se dá com aceleração a = ______________;
logo, sendo $y_0 = 0$, $v_{0y} = (v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha)$, pela equação horária do movimento $y = v_{0y} \cdot t + \frac{a}{2} t^2$ teremos: y = ______________.



* * * * * * * * * * * *

$-g$; $y = (v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha) \cdot t - \dfrac{g}{2} \cdot t^2$

13 ■ Então, para um instante t qualquer, o corpo lançado com velocidade inicial v_0 fazendo ângulo α com a horizontal terá:

velocidade horizontal : v_x = ______________
velocidade vertical : v_y = ______________
velocidade resultante : v^2 = ______________ (em termos de v_x e v_y)
altura : y = ______________
deslocamento horizontal : x = ______________

* * * * * * * * * * * *

$(v_0 \cdot \cos\alpha)$; $(v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha) - gt$; $v_x^2 + v_y^2$; $(v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha) \cdot t - \frac{g}{2} \cdot t^2$; $(v_0 \cdot \cos\alpha) \cdot t$

14 ■ Qual é a expressão que nos permite determinar a altura máxima atingida pelo corpo? Sabemos que na altura máxima a velocidade que é nula é $(v_x; v_y)$ e o tempo é t_B = ________________ (deduza a partir da equação da componente vertical da velocidade). Portanto, no ponto de altura máxima, $y = y_B$ e $t = t_B$. Substituindo-se na equação da altura, teremos y = ________________ (simplificada).

* * * * * * * * * * * *

v_y; $\frac{(v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha)}{g}$; $y_B = (v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha) \cdot \frac{(v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha)}{g} - \frac{g}{2}\left(\frac{v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha}{g}\right)^2 = \frac{(v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha)^2}{2 \cdot g}$

15 ■ A expressão $y_B = \frac{(v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha)^2}{2g}$ nos permite calcular a ________________. Releia o item 10 e calcule a altura máxima atingida pelo corpo.

* * * * * * * * * * * *

altura máxima; $y_B = \frac{(10 \times 0{,}50)^2}{2 \cdot 10} = 1{,}25$ m

16 ■ A altura máxima y_B pode ser deduzida pela Lei da Conservação de Energia Mecânica, supondo que seja nula a resistência do ar. Por esta lei, a energia mecânica total em A (é; não é) igual a energia mecânica total em B. Em A, $E_A = \frac{m \cdot v_0^2}{2} + m \cdot g \cdot y_0$, mas como $y_0 = 0$, então em A, E_A = ________________.
Mas $v_0^2 = v_{0x}^2 + v_{0y}^2$, pois v_0 é a velocidade resultante do corpo. Logo, em A, substituindo-se v_0^2 teremos, E_A = ________________ + ________________.

* * * * * * * * * * * *

é; $\frac{m \cdot v_0^2}{2}$; $\frac{m \cdot v_{0x}^2}{2}$; $\frac{m \cdot v_{0y}^2}{2}$

17 ■ Em B, a energia mecânica total é E_B = ________________ + ________________ (observe que em B, $v_y = 0$).

* * * * * * * * * * * *

$\frac{m \cdot v_{0x}^2}{2}$; $m \cdot g \cdot y_B$

18 ■ Como $E_A = E_B$, então $\frac{m \cdot v_{0x}^2}{2} + \frac{m \cdot v_{0y}^2}{2}$ = ________________.

* * * * * * * * * * * *

$\frac{m \cdot v_{0x}^2}{2} + mgy_B$

19 ■ Como o termo $\frac{m \cdot v_{0x}^2}{2}$ aparece em ambos os lados da equação, ele pode ser cancelado; então y_B = ________.

* * * * * * * * * * * *

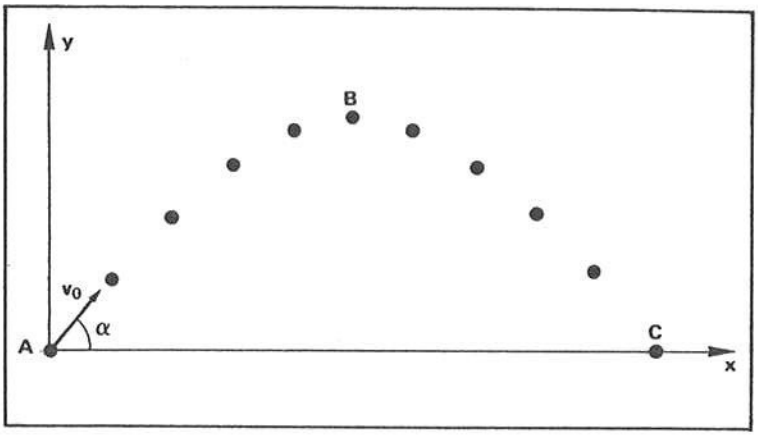
$$\frac{\frac{\cancel{m} \cdot v_{0y}^2}{2}}{\cancel{m} \cdot g} = \frac{v_{0y}^2}{2g}$$

20 ■ Como v_{0y} = ________________ (em termo de v_0 e do ângulo), teremos então que y_B = ________________.

* * * * * * * * * * * *

$v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha$; $\frac{(v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha)^2}{2 \cdot g}$

21 ■ O ponto C que o corpo alcança no mesmo nível do ponto de lançamento, é o que denominamos de **alcance máximo** no mesmo nível. Se quizermos determinar o alcance máximo, devemos determinar x_C. Sendo t_C o tempo que o corpo leva, desde o lançamento em A, até atingir o ponto C, então x_C = ______________ (em função de v_0, do ângulo e de t_C).



****

$(v_0 \cdot \cos \alpha) \cdot t_C$

22 ■ O alcance máximo é determinável, então, pela expressão x_C = ______________. Necessitamos, então, determinar o valor de t_C. A equação geral da altura é y = ______________. No ponto C a altura é y_C = ______________ e o tempo correspondente é t_C. Portanto, substituindo-se estes valores na equação da altura, teremos 0 = ______________ – ______________ e daí, t_C = ______________.

****

$(v_0 \cdot \cos \alpha) \cdot t_C$; $(v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha) \cdot t - \frac{g}{2} \cdot t^2$; $(v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha) t_C$; $\frac{g}{2} \cdot t_C^2$ donde $t_C = \frac{2 \cdot v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha}{g}$

23 ■ Portanto, o corpo volta a atingir o mesmo nível de lançamento no ponto C, após o tempo t_C = ______________. Observe que o tempo que o corpo gasta para, desde o ponto A até o ponto de altura máxima é t_B = ______________ ; logo o tempo t_C é duas vezes o tempo t_B. Isto significa que o corpo gasta um mesmo tempo para do lançamento atingir a altura máxima e da altura máxima para alcançar o mesmo nível de lançamento.

****

$\frac{2 \cdot v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha}{g}$; $\frac{v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha}{g}$

24 ■ Um corpo é lançado com ângulo α e atinge a altura máxima depois de 0,50 s. Desde o lançamento, qual é o tempo que o corpo leva para atingir o mesmo nível?

****

$t_C = 2 \cdot t_B = 1{,}0$ s

25 ■ Portanto, o alcance máximo é x_C = ______________.

****

$$x_C = (v_0 \cdot \cos \alpha)\, \frac{2v_0 \cdot \text{sen}\,\alpha}{g} = \frac{2 \cdot v_0^2 \cdot \text{sen}\,\alpha \cdot \cos \alpha}{g}$$

26 ■ Um corpo é lançado com velocidade 40 m/s, fazendo ângulo de 60° com a horizontal, num local de gravidade g = 10 N/kg e atrito desprezível. Sendo cos 60° = 0,87, determinar o alcance máximo.

****

$x_C = 13{,}92$ m $\cong$ 14 m

27 ▪ Qual é a altura máxima atingida pelo corpo de item 26?

****

$$y_B = \frac{120,504}{20} \cong 6,0 \text{ m}$$

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ▪ Que tipo de trajetória descreve o corpo quando lançado fazendo um ângulo com a horizontal?

2 ▪ A velocidade de lançamento v_0 é a velocidade resultante inicial do corpo?

3 ▪ Como pode ser decomposta a velocidade v_0? Quais as expressões de suas componentes?

4 ▪ Em um ponto da trajetória do corpo, como variam as componentes horizontal e vertical do corpo? Como se exprime o valor da velocidade resultante neste ponto?

5 ▪ Para a componente vertical, qual a equação da velocidade? E para a componente horizontal?

6 ▪ Na altura máxima da trajetória, que componente da velocidade é nula?

7 ▪ Deduza a expressão do tempo de altura máxima.

8 ▪ Deduza a expressão do deslocamento horizontal quando a altura é máxima.

9 ▪ Deduza a expressão que permite determinar a altura máxima:
a) por cinemática; b) por energia.

10 ▪ Deduza a expressão do tempo de alcance máximo.

11 ▪ Deduza a expressão que permite calcular o alcance máximo.

12 ▪ Mostre que o alcance máximo é duas vezes o deslocamento horizontal do corpo quando na altura maxima.

Após isso, você deve estar apto para:

a. calcular o tempo de altura máxima.

b. calcular a altura máxima.

c. calcular o alcance máximo.

d. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ▪ Um corpo é lançado com velocidade 20 m/s fazendo ângulo de 30° com a horizontal, num local de atrito desprezível e gravidade g = 10 N/kg. Determinar: Dados: cos 30° = 0,87 e sen 30° = 0,50.
a) a altura máxima;
b) o alcance máximo.

2 ▪ Um canhão dispara um projétil com velocidade v_0 = 600 m/s. Supondo nula a resistência do ar e g = 10 N/kg, determinar a altura máxima e o alcance máximo para os seguintes ângulos de tiro.
a) $\alpha = 30°$;
b) $\alpha = 45°$;
c) $\alpha = 60°$;
d) $\alpha = 90°$.

Dados:
$\cos 45° = \text{sen } 45° = \frac{\sqrt{2}}{2}$
$\cos 60° = 0,50$ e $\text{sen } 60° = \frac{\sqrt{3}}{2}$
$\cos 90° = 0$ e $\text{sen } 90° = 1$

3 ■ Dispara-se um morteiro a fim de atingir um alvo a 20 m localizado no mesmo nível de disparo. Sendo de 45° o ângulo de disparo, desprezível a resistência do ar e g = 10 N/kg, determinar:

a) a velocidade que o morteiro deve possuir no ato do disparo;

b) o tempo que o morteiro leva para atingir o alvo.

4 ■ Um jogador de futebol pode imprimir na bola uma velocidade máxima de 20 m/s. Se o ângulo de tiro for de 45°, calcule o alcance máximo da bola. Supor g = 10 N/kg, desprezível o atrito do ar, e que no momento não esteja ventando.

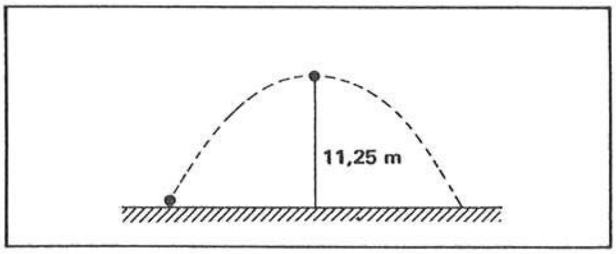
5 ■ No problema 4, qual seria o alcance máximo se o ângulo de tiro fosse de 60°?

6 ■ Uma bola de massa 0,500 kg é chutada de forma que atinge uma altura máxima de 11,25 m, onde possui energia cinética E_c = 100 J. Sendo a gravidade g = 10 kg e nula a resistência do ar, determine:

a) o tempo que a bola fica no ar;

b) a velocidade horizontal da bola;

c) o alcance máximo.



7 ■ Uma bolinha de gude é lançada com velocidade de 30 m/s fazendo ângulo de 30° com a horizontal. Admitindo nula a resistência do ar e 10 N/kg o campo gravitacional no local, determinar:

a) as componentes horizontal e vertical da velocidade no ato de lançamento;

b) o tempo em que a bolinha gasta para atingir novamente o mesmo nível de lançamento;

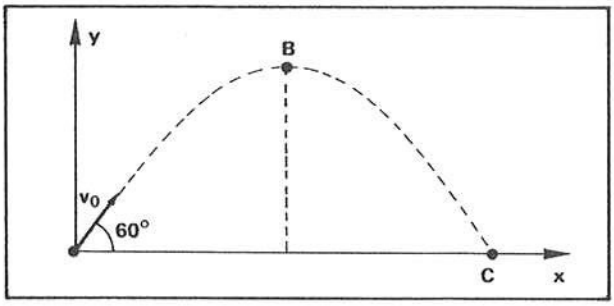
c) o alcance e altura máxima.

8 ■ Um corpo com massa m = 2,0 kg é lançado segundo ângulo de 60° conforme ilustra a figura ao lado. No ponto de altura máxima o corpo possui energia cinética $E_{c(B)}$ = 400 J e ao atingir o solo, o corpo possui energia total E = 1 600 J. Determinar:

a) a velocidade v_0 no ato de lançamento;

b) o alcance máximo;

c) a altura máxima.



RESPOSTAS

1 ■ a) y_B = 5,0 m b) x_c = 34,8 m

2 ■ a) $y_B = 4{,}5 \times 10^3$ m; $x_C \cong 31 \times 10^3$ m
b) $y_B = 9{,}0 \times 10^3$ m; $x_C = 36 \times 10^3$ m
c) $y_B = 13{,}5 \times 10^3$ m; $x_C \cong 31 \times 10^3$ m
d) $y_B = 18 \times 10^3$ m; $x_c = 0$

3 ■ a) $v_0 = 10\sqrt{2}$ m/s;
b) t_C = 2,0 s

4 ■ x_c = 40 m

5 ■ $x_c \cong$ 35 m

6 ■ a) t_C = 3,0 s
b) $v_x = v_{0x}$ = 20 m/s
c) x_C = 60 m

7 ■ a) $v_{0x} \cong$ 26 m/s; v_{0y} = 15 m/s
b) t_C = 3,0 s
c) x_C = 78 m; y_B = 11,25 m.

8 ■ a) v_0 = 40 m/s
b) x_C = 138,6 m
c) y_B = 60 m.

SEÇÃO 7 – A TEORIA DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL – HISTÓRICO

Hoje, certas perguntas como: "por que os corpos caem? ", "por que o dia e a noite se repetem?", ou "por que o Sol realiza o movimento observado de leste para oeste? ", não encontram dúvidas. Nós temos respostas que nos parecem óbvias.

Porém, a História da Ciência nos mostra que nem sempre o homem teve respostas para perguntas como estas, ou pelo menos, nem sempre teve as respostas que nos satisfazem hoje.

Todos nós aprendemos desde o curso primário que a Terra, além de girar uma vez ao dia em torno de seu eixo polar, realiza uma translação anual em torno do Sol. Desta forma explicam-se tanto a alternância do dia e da noite, como o movimento aparente que o Sol, planetas e estrelas descrevem em torno do nosso planeta.

Porém, se pensarmos em termos da nossa experiência comum, vamos observar que o movimento da Terra não é tão óbvio assim, que mais facilmente aceitaríamos a imobilidade da Terra e o movimento dos astros ao seu redor.

Este é um simples exemplo que nos mostra que o conhecimento que hoje temos da Terra, dos planetas, do Universo, se afasta de um conhecimento baseado no senso comum. Realmente, foi um conhecimento acumulado durante séculos, nos quais os cientistas afastaram-se cada vez mais dos conhecimentos "óbvios". Relembrando as dificuldades que os cientistas enfrentaram neste caminho, deixa mesmo de parecer absurdo, para nós, que até o século XVI de nossa era o homem ainda acreditasse que a Terra estava parada, ocupando o centro de um Universo fechado.

No texto sobre gravitação, vocês aprenderam que tanto o movimento de queda dos corpos como o movimento dos planetas em torno do Sol se devem à ação de uma mesma força: a força de gravitação universal, que existe entre duas massas quaisquer. Esta concepção, no entanto, é recente. Data de fins do século XVII. É o caminho que levou à Teoria da Gravitação Universal, formulada por Isaac Newton em 1.687, que vamos procurar seguir aqui.

1 – A CONCEPÇÃO DE ARISTÓTELES

Se bem que os papiros egípcios e as tabuinhas de argila da Mesopotâmia mostrem que já por volta de 4 mil a.C., o homem tivesse acumulado uma grande soma de observações sobre os astros, é só no último milênio antes da era cristã, com os gregos, que vamos encontrar especulações teóricas sobre os fenômenos naturais.

Para o estudo da evolução do conceito de gravidade, sobressai a obra de Aristóteles (384 a.C.–322 a.C.), que viveu e teve escola em Atenas.

Aristóteles concebeu a idéia de um universo finito, com a Terra parada em seu centro e no qual cada corpo ocupava um lugar a ele determinado. Os corpos terrestres eram intrinsicamente diferentes dos corpos celestes, que seriam formados de um outro tipo de matéria e que se moveriam naturalmente em círculos, em volta da Terra. Já os corpos terrestres teriam naturalmente movimento para cima e para baixo, como uma pedra que cai ou o fogo que sobe. O movimento de queda de uma pedra era explicado por Aristóteles como devido a uma tendência que este corpo (e outros corpos pesados) tinha de alcançar o seu "lugar natural", que era o centro da Terra.

Esta idéia de um Universo em que cada coisa ocupa um lugar que lhe é próprio, e em que o movimento é concebido como uma tendência dos corpos de alcançarem o seu lugar natural, permaneceu até o fim da Idade Média (período que vai aproximadamente de 400 a 1.400 d.C.).

2 – A ASTRONOMIA NA RENASCENÇA

Foi só na Renascença (aprox. de 1.400 a 1.600 d.C.), que ocorreu uma renovação das concepções astronômicas. Talvez esta renovação se deva a um incentivo que os estudos astronômicos tiveram nesta época, devido a uma necessidade social: em alto mar a orientação dos navios dependia essencialmente dos mapas celestes. As observações astronômicas se aprimoraram e surgiram novos modelos para explicar o movimento dos astros.

O modelo astronômico de Nicolau Copérnico (1473-1543) colocava o Sol no centro do Universo, a Terra e os demais planetas movendo-se ao seu redor, em órbitas circulares. Copérnico mantinha assim a idéia aristotélica de que os astros moviam em órbitas circulares, se bem que seu sistema abalasse completamente a idéia de um cosmo hierarquizado.

Se bem que o sistema heliocêntrico de Copérnico fosse bem mais simples que o geocêntrico de Ptolomeu (astrônomo que viveu em Alexandria, no séc. II de nossa era), o que dificultava a sua aceitação era o fato de colocar que a Terra estava em movimento. Como explicar que não sentimos este movimento? Como explicar que corpos jogados para cima caissem exatamente no mesmo lugar de que foram lançados, se enquanto o corpo subia e descia, a Terra havia se deslocado? Estes problemas só seriam resolvidos com o desenvolvimento de uma nova Mecânica, no século XVII; porém, o sistema coperniciano desde o início seduzia os astrônomos pela sua simplicidade.

Por outro lado, a utilização, por Ticho Brahe (1546-1601), de instrumentos astronômicos mais elaborados, tornou possível a Johann Kepler (1571-1630) deduzir que na verdade as órbitas dos planetas não eram circulares, mas elíticas. Esta lei é a primeira de três leis conhecidas pelo nome de Leis de Kepler e que descrevem completamente o movimento dos planetas em torno do Sol.

Se as observações de Ticho Brahe foram as mais precisas feitas a olho nú, a introdução do telescópio trouxe elementos novos: Galileo Galilei (1564-1642) observou que a Lua tinha montanhas, que o Sol tinha manchas, que o Júpiter tinha 4 satélites, fatos que punham por terra a concepção aristotélica de que os astros seriam de natureza distinta dos corpos terrestres.

3 – O ESTUDO DO MOVIMENTO DOS CORPOS NA RENASCENÇA

Um outro campo da Física que se desenvolveu bastante no período renascentista foi o da Mecânica.

Neste campo sobressai o trabalho de Galileo, que pesquisou extensivamente sobre a queda dos corpos. De suas experiências em planos inclinados, Galileo concluiu que o movimento de queda livre era uniformemente acelerado e que este fato se devia à ação de uma força constante, a gravidade.

Transparecia já nas experiências de Galileo o princípio de inércia (que só foi formulado por René Descartes, filósofo francês que viveu de 1596 a 1650), segundo o qual um corpo que não sofra a ação de forças tem movimento retilíneo e uniforme, ou então permanece parado.

A aceitação deste princípio veio trazer elementos novos para o estudo do movimento dos astros: se para Aristóteles os corpos celestes moviam-se naturalmente em órbitas circulares, tornava-se agora necessária a determinação da força que fazia com que os planetas tivessem o movimento elítico observado.

4 – A SÍNTESE NEWTONIANA

A resolução desta questão foi apresentada por Isaac Newton (1642-1727) em seu livro "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" (Os princípios Matemáticos da Filosofia da Natureza), editado em 1687.

Para Newton e para outros físicos como Hooke, Huygens, Halley, a questão formulava-se do seguinte modo: a partir das leis de Kepler e da necessidade da existência de uma força centrípeta responsável pelo movimento elítico dos planetas, chegar à expressão matemática desta força.

De experiências com pêndulos, Huygens deduzira a lei da força centrípeta: $F = \frac{mv^2}{R}$, para um corpo em movimento circular de raio R e velocidade v.

Esta lei, associada à 3ª lei de Kepler sobre o movimento dos planetas levava diretamente a que a força de gravitação seria do tipo:

$F \sim \frac{1}{R^2}$ (força proporcional ao inverso do quadrado da distância).

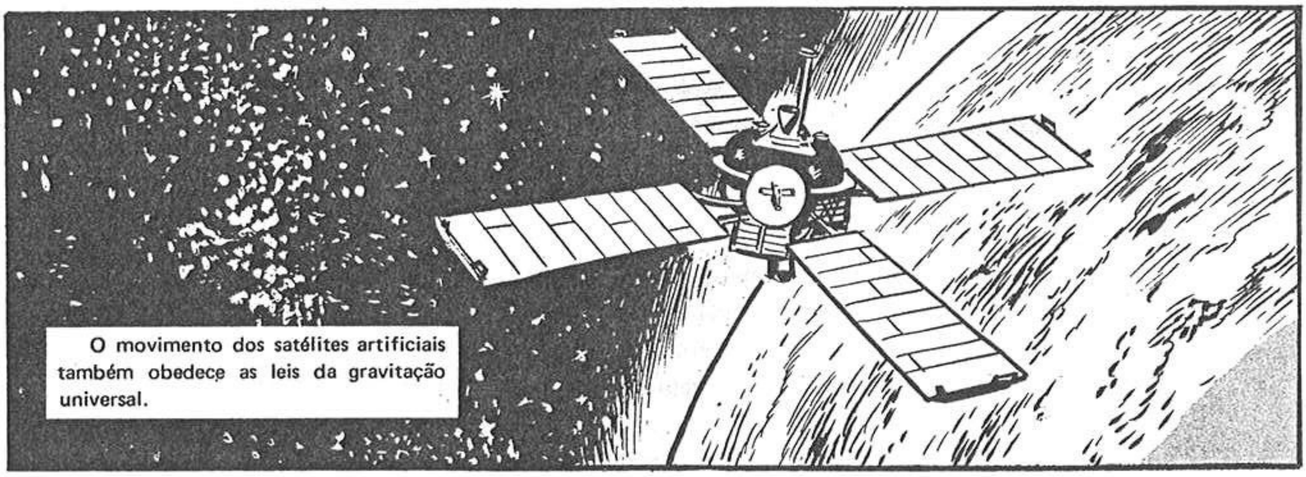
Diz a lenda que foi observando a queda de uma maçã, que ocorreu a Newton que uma mesma força seria responsável tanto pela queda dos corpos como pelo movimento dos planetas. Seria uma força à distância e que existiria entre duas massas quaisquer.

A partir desta hipótese arrojada, foi possível a Newton comprovar a validade da lei do inverso do quadrado de distância. Para isso, calculou a força gravitacional da Terra sobre a Lua, utilizando a lei do inverso do quadrado e o valor da força da gravidade na superfície da Terra (este valor era conhecido a partir das experiências com queda de corpos).

Por outro lado, sendo conhecida a órbita da Lua e a velocidade deste corpo, era possível calcular a força centrípeta do movimento da Lua em torno da Terra.

Se estivesse correta a hipótese de uma gravitação universal do tipo $F \sim \frac{1}{R^2}$ estes dois cálculos paralelos deveriam levar um mesmo valor numérico. Foi realmente isso que Newton encontrou: uma comparação de que a gravitação é universal e atua entre duas massas quaisquer, sejam elas corpos celestes ou terrestres. Por fim, era suplantada a idéia aristotélica de uma destinção essencial entre corpos celestes e terrestres.

Numa fase final de sua pesquisa em gravitação, Newton resolveu o problema inverso: como provar que uma força do tipo $\frac{1}{R^2}$ era responsável por movimentos elíticos? Para este passo, Newton contou com um novo instrumento, o cálculo diferencial. Foi assim possível provar que corpos submetidos à força de gravitação teriam movimento elítico: os planetas em suas órbitas observadas; os cometas em órbitas elíticas extremamente alongadas, tornando-se visíveis apenas quando se aproximam do sistema solar.



O movimento dos satélites artificiais também obedece as leis da gravitação universal.

CAPÍTULO X

Equilíbrio estático de líquidos e termologia (temperatura e calor)

Estudaremos neste capítulo tópicos de fundamental importância para conhecermos mais intimamente a Natureza que nos rodeia. Conhecer a natureza e colocá-la a serviço do homem tem sido uma preocupação constante da Ciência. Os fenômenos térmicos são de vital importância para a sobrevivência do próprio homem. Deparamo-nos na vida diária com fatos corriqueiros que se processam graças a utilização sistemática quer direta, quer indiretamente, das fontes de calor: cozer alimentos, obter aquecimentos domésticos, fazer funcionar poderosas máquinas térmicas, mover veículos através de motores a explosão, etc... Os próprios processos biológicos (nascimento e desenvolvimento celulares) dependem da forma como ocorrem as trocas de calor entre as células e o ambiente, e também da forma de sua utilização. Nas indústrias, de modo geral, a utilização dos fenômenos térmicos é vital: utilização de combustíveis diversos, produção de metais a partir de minérios, produção de ligas metálicas, soldas, produção de gelo, liquefação de gases a baixas temperaturas, construção de estufas, fornos, etc..., além dos inúmeros fenômenos meteorológicos que se processam através das mudanças de temperatura.

Iniciaremos nosso estudo introduzindo, na 1ª PARTE, conceitos de empuxo e de pressão em um meio viscoso (líquido), já que através da analogia hidrostática podemos compreender fenômenos ligados ao comportamento térmico dos gases, bem como aqueles relacionados com equilíbrio térmico em termos de calor. Esta pequena parte nos servirá de pré-requisito para o estudo que a seguir desenvolveremos.

Caracterizaremos na 2ª PARTE a noção de equilíbrio térmico, introduzindo o conceito de temperatura, e para medi-la, as definições das escalas e unidades mais usadas. Serão estudados os fenômenos de dilatação ou expansão dos sólidos e líquidos devidos à variação de temperatura que os mesmos experimentam, bem como o comportamento térmico dos gases.

Analisaremos o calor como forma de energia e estabeleceremos quantitativamente as relações acerca das trocas de calor acompanhadas ou não por mudanças de temperatura.

1ª PARTE - Equilíbrio estático de líquidos (hidrostática)

Nesta primeira parte iremos estudar alguns aspectos importantes da mecânica dos líquidos em repouso, normalmente denominada de **Hidrostática**.

Nesta parte será desenvolvido o conceito de pressão, de pressão exercida por líquidos e a pressão atmosférica; e estudaremos o problema do empuxo que os líquidos exercem em todos os corpos imersos.

Após vencer com sucesso esta 1ª PARTE, você deverá ser capaz de:

a. definir e calcular a densidade de uma substância.
b. definir pressão de uma força e calculá-la.
c. determinar pressão de coluna h de um líquido.
d. definir pressão atmosférica.
e. descrever o Princípio de Pascal e descrever uma experiência ilustrativa.
f. resolver problemas sobre prensa hidráulica e explicar o princípio físico de seu funcionamento.
g. determinar a pressão total em um ponto de um líquido.
h. calcular a pressão de gás contido num recipiente por meio de tubos em forma de U.
i. definir empuxo.
j. calcular o empuxo exercido por um fluido sobre um corpo.

SEÇÃO 1 – DENSIDADE, PRESSÃO E PRESSÃO DE LÍQUIDO

Nesta seção estudaremos a densidade de substância de maneira bem sucinta, pois trata-se de um pré-requisito para a compreensão da pressão exercida por líquidos; definiremos a pressão e determinaremos a pressão de líquidos a uma profundidade h. Para maior facilidade de estudo, esta seção está subdividida em 3 partes: A, B e C. Em cada parte é desenvolvido o conceito básico e no final, problemas referentes ao conteúdo são propostos. Após o estudo destas partes você deverá responder as questões de estudo.

A – DENSIDADE

1 ■ Um dos conceitos fundamentais da Física é o da **densidade**. A densidade de uma substância é definida como sendo igual à massa por unidade de volume da substância. Matematicamente ela é expressa por $d = \frac{m}{V}$. Nesta expressão, m representa a______________ e V o______________ da substância.

* * * * * * * * * * * *

massa; volume.

2 ■ $d = \frac{m}{V}$. Se a massa for expressa em g e o volume em cm^3, então a densidade é expressa em ______________. No SI a massa é expressa em __________ e o volume em __________ e portanto a densidade em ______________.

* * * * * * * * * * * *

g/cm^3; kg; m^3; kg/m^3

3 ■ Por exemplo, 1,0 g de água a 4,0°C ocupa um volume de 1,0 cm^3. Logo, nesta temperatura, a densidade da água é d = ______________. No SI, esta densidade é expressa por d = ______________.

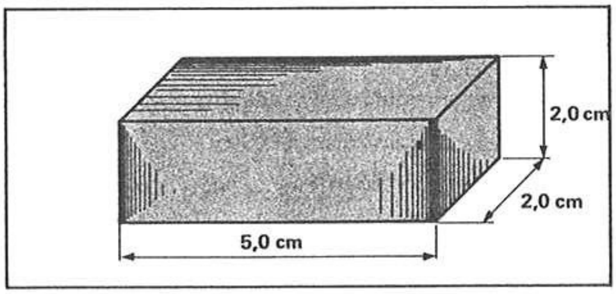
* * * * * * * * * * * *

1,0 g/cm^3; $1{,}0 \times 10^3$ kg/m^3 (pois 1 $cm^3 = 10^{-6}$ m^3 e 1 g = 10^{-3} kg)

4 ■ Sabe-se que 1,0 cm^3 de Hg (mercúrio) possui massa 13,6 g. A densidade do mercúrio é d = __________ g/cm^3 ou ______________ (SI).

* * * * * * * * * * * *

13,6; $13{,}6 \times 10^3$ kg/m^3



5 ■ Um bloco homogêneo de alumínio possui dimensões especificadas na fig. ao lado. Sendo m = 54 g a sua massa, então a densidade do alumínio é d = __________ (SI).

* * * * * * * * * * * *

$V = 20 \times 10^{-6}$ m^3; $m = 54 \times 10^{-3}$ kg; $d = 2{,}7 \times 10^3$ kg/m^3

6 ■ $d = \frac{m}{V}$. A partir desta expressão (podemos; não podemos) determinar a massa em função do volume e da densidade; então m = ______________.

* * * * * * * * * * * *

podemos; $d \cdot V$

7 ■ Sendo $d = 0{,}91 \times 10^3$ kg/m^3 a densidade do gelo, um bloco de 2,0 m^3 de gelo terá massa m = ______________.

* * * * * * * * * * * *

$\cong 1{,}8 \times 10^3$ kg (cerca de 1,8 toneladas)

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ A massa da Terra é $m = 6{,}0 \times 10^{27}$ g. Sendo $V = 1{,}09 \times 10^{27}$ cm^3 o seu volume, qual a densidade média da Terra?

2 ■ 10,0 cm^3 de glicerina tem massa $m = 12{,}6$ g. Qual a densidade?

3 ■ A densidade de certo óleo é $d = 0{,}90$ g/cm^3. Em 1,0 m^3 de óleo, qual a massa correspondente?

4 ■ A densidade do álcool etílico é $d = 0{,}789$ g/cm^3. Que volume corresponderá a 1,20 kg deste álcool?

5 ■ A densidade do chumbo é $d = 11{,}3$ g/cm^3. Qual o volume ocupado por 2,26 g de chumbo?

RESPOSTAS

1 ■ $d \cong 5{,}5$ g/cm^3 $\cong 5{,}5 \times 10^3$ kg/m^3

2 ■ $d = 1{,}26 \times 10^3$ kg/m^3

3 ■ $m = 9{,}0 \times 10^2$ kg

4 ■ $V = 1{,}52 \times 10^3$ cm^3 $= 1{,}52 \times 10^{-3}$ m^3 = 1,52 litros

5 ■ $V = 0{,}20$ cm^3

B – PRESSÃO

1 ■ A pressão é definida como sendo a intensidade da força que atua em uma área unitária. Seja então uma força $\vec{F}$ atuando em uma área A. A pressão $P = \frac{|\vec{F}|}{A}$ ou $P = \frac{F}{A}$. No SI a força é expressa em____________ e a área em____________; portanto, a pressão será expressa em____________.

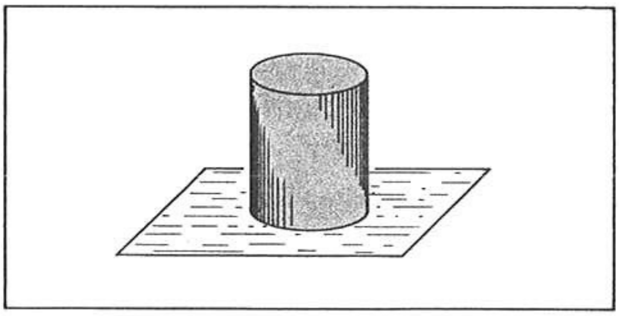
****

N; m^2; N/m^2

2 ■ A unidade N/m^2 é denominada **Pascal**. Uma pressão de 1,0 N/m^2 ou 1,0 pascal corresponderá então a uma força de intensidade F = ____________ atuando em uma área A = 1,0 m^2. Para que a pressão seja de 2,0 N/m^2 uma força de 10 N deve atuar em uma área de____________m^2

****

1,0 N; 5,0 m^2



3 ■ Suponha um cilindro de peso $p = 0{,}50$ N apoiado na mesa. Se a área de contacto é $A = 2{,}0$ cm^2, então a pressão exercida pelo cilindro sobre a mesa será P = ____________ (SI).

****

$2{,}5 \times 10^3$ N/m^2

4 ■ Considere um outro cilindro de peso $p = 0{,}50$ N apoiado na mesa, porém com área de contacto duas vezes menor ($A = 1{,}0$ cm^2). Agora a pressão será P = ____________ (SI). A pressão agora é maior porque a área (aumentou; diminuiu).

****

$5{,}0 \times 10^3$ N/m^2; diminuiu

5 ■ $P = \frac{F}{A}$. Para a mesma força F a pressão será tanto maior quanto (menor; maior) for a área de atuação da força. Por outro lado, analisando a expressão, para uma mesma área a pressão será tanto maior quanto (maior; menor) for a intensidade da força.

****

menor; maior

6 ■ Considere, para um mesmo carro, pneus de tala fina e tala larga. Quando o carro estiver com os pneus de tala larga a pressão exercida sobre a pista será (maior; menor) do que com tala fina, porque ________________________

________________________.

* * * * * * * * * * * *

menor; a superfície de atuação da força é maior.

7 ■ $P = \frac{F}{A}$. Conhecendo-se a pressão P e a área A (podemos; não podemos) determinar a força F. Logo, F = ________.

* * * * * * * * * * * *

podemos; $P \cdot A$

8 ■ Sendo $P = 20 \times 10^3\ N/m^2$ e a área $A = 2,0\ cm^2$, qual a intensidade da força que produz esta pressão?

* * * * * * * * * * * *

$F = 4,0\ N$

9 ■ Um bloco de ferro com volume $V = 1,0 \times 10^{-2}\ m^3$ e densidade $d = 7,6 \cdot 10^3\ kg/m^3$ encontra-se apoiado no solo por área de contacto $A = 20\ cm^2$. A gravidade é $g = 10\ N/kg$. A massa do bloco é m = ________ kg; logo, o seu peso é p = ________ N. Portanto, a força que o bloco exerce na área A é F = ________ N e então a pressão exercida é P = ________ (SI).

* * * * * * * * * * * *

76; 760; 760; $38 \times 10^4\ N/m^2$

10 ■ Qual seria a pressão exercida pelo bloco de ferro mencionado no item 9 se a área de contacto fosse $A = 40\ cm^2$?

* * * * * * * * * * * *

$P = 19 \times 10^4\ N/m^2$

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Uma força de intensidade $F = 10\ N$ atua numa área $A = 2,0 \times 10^{-3}\ m^2$. Qual a pressão da força F nesta área?

2 ■ Um bloco de alumínio ($d = 2,7\ g/cm^3$) de volume $V = 100\ cm^3$ está apoiado sobre uma tábua. Sendo a área de contacto igual a $10\ cm^2$ e $g = 10\ N/kg$, qual a pressão exercida pelo bloco sobre a tábua?

3 ■ Um livro de massa 1,5 kg está sobre uma mesa. Sendo a área de contacto $200\ cm^2$ e $g = 10\ N/kg$, qual a pressão (SI) exercida pelo livro?

4 ■ Se o livro da questão 3 fosse apoiado pela área menor, de $80\ cm^2$, qual seria a pressão?

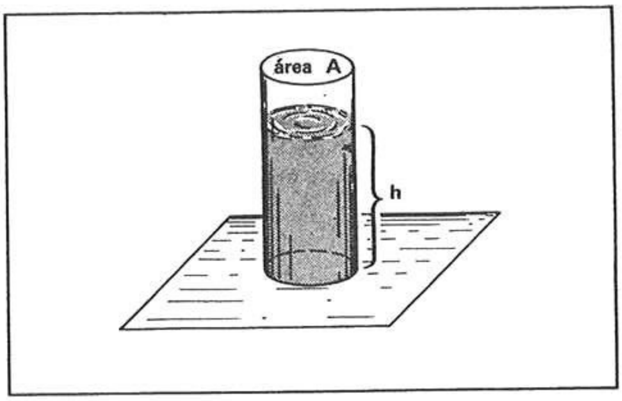
5 ■ Um corpo de densidade d_0 e volume V_0 apoia-se sobre uma mesa por área de contacto S_0 em local de gravidade g. Em função de d_0, V_0, S_0 e g, determine a expressão da pressão exercida pelo corpo sobre a mesa.

RESPOSTAS

1 ■ $P = 5,0 \times 10^3\ N/m^2$
2 ■ $P = 2,7 \times 10^3\ N/m^2$
3 ■ $P = 7,5 \times 10^2\ N/m^2$
4 ■ $P = 18,75 \times 10^2\ N/m^2 \cong 19 \times 10^2\ N/m^2$
5 ■ $P = d_0 V_0 g / S_0$

C – PRESSÃO DE UM LÍQUIDO EM UM PONTO ABAIXO DE SUA SUPERFÍCIE

1 ■ Considere um líquido de densidade d dentro de um cilindro cuja base tem área A (fig. ao lado). Qual é a pressão do líquido no fundo do cilindro? A pressão nó fundo do cilindro (é; não é) dada pela divisão do peso do líquido pela área da base do cilindro.



****

é

2 ■ O volume do líquido no interior do cilindro é V = ____________. Como a densidade é d, então a massa do líquido é m = ____________ ; portanto, o seu peso é p = ____________

****

$A \cdot h$; $d \cdot V = d \cdot A \cdot h$; $mg = d \cdot A \cdot h \cdot g$

3 ■ A força exercida pelo líquido, no fundo do cilindro, é então F = ____________. Sendo a área A, então a **pressão do líquido** é P_L = ____________.

****

$d \cdot A \cdot h \cdot g$; $d \cdot g \cdot h$

4 ■ $P_L = d \cdot g \cdot h$. Esta expressão nos permite calcular a ____________ de densidade ________ a uma profundidade ____________ num local de gravidade ____________. A pressão do líquido (depende; não depende) da área A.

****

pressão do líquido; d; h; g; não depende.

5 ■ No SI, d é expressa em ____________ ; h em ____________ e g em ____________. Portanto, no SI a pressão do líquido é expressa em ____________

****

kg/m^3; m; N/kg; N/m^2

6 ■ Qual é a pressão a uma profundidade 1,0 m da superfície da água de uma piscina? Considere $d = 1{,}0 \times 10^3$ kg/m³ e g = 10 N/kg.

****

$P_L = (1{,}0 \times 10^3\ kg/m^3)(10\ N/kg)(1{,}0\ m) = 10 \times 10^3\ N/m^2$

7 ■ Um recipiente contém mercúrio. Qual é a pressão exercida por esse líquido a uma distância de 76 cm abaixo de sua superfície? Considere g = 10 N/kg e $d = 13{,}6\ g/cm^3$.

****

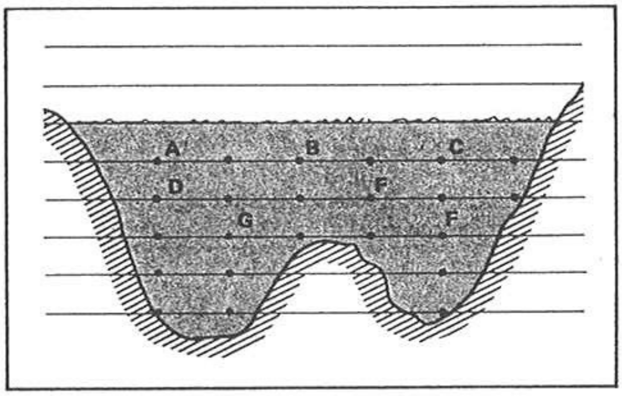
$P_L \cong 1{,}0 \times 10^5\ N/m^2$

8 ■ Que pressão a água exercerá sobre o seu corpo quando você mergulhar a profundidade de 0,50 m? Considerar $g = 10$ N/kg e $d = 1,0$ g/cm³.

****

$P_L = 5,0 \times 10^3$ N/m²

9 ■ A pressão do líquido em um ponto abaixo de sua superfície (depende; não depende) da área. Além da gravidade, a pressão do líquido depende da __________ __________ e da __________ . A figura ao lado representa o perfil de uma lagoa. Nos pontos A, B e C a pressão (é; não é) a mesma pois estão a uma mesma profundidade, isto é, num mesmo nível.



****

não depende; densidade; profundidade; é

10 ■ Na figura do item 9, se a pressão da água em G é $P_L = 1,2 \times 10^5$ N/m², então no ponto F a pressão será __________ , pois G e F estão a uma __________ , isto é, num mesmo nível.

****

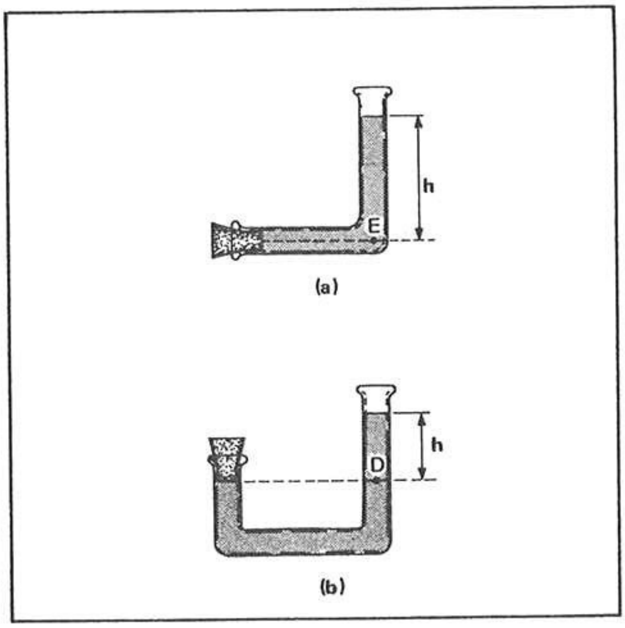
$1,2 \times 10^5$ N/m²; mesma profundidade

11 ■ Pontos de mesmo nível abaixo da superfície de um líquido (sofrem; não sofrem) mesma pressão. Quanto menor a profundidade (maior; menor) será a pressão. Na fig. do item 9, a pressão em D é (maior; menor) que a pressão em C, pois a profundidade de D é __________ que a de C.

****

sofrem; menor; maior; maior

12 ■ Na figura (a) ao lado temos um tubo contendo água. Numa das extremidades existe uma rolha. No ponto E a pressão é P_L = __________ (em função da densidade e da profundidade e da gravidade). O ponto E está no mesmo nível da rolha, portanto a pressão que a rolha suporta deve ser: __________ .



****

$d \cdot g \cdot h$; $P = d \cdot g \cdot h$

13 ■ Na figura (b) a pressão do líquido sobre a rolha (é; não é) igual à pressão do líquido no ponto D, pois tanto a rolha como o ponto D estão num mesmo nível de um mesmo líquido. Logo, a rolha suporta uma pressão P = __________ .

****

é; $d \cdot g \cdot h$

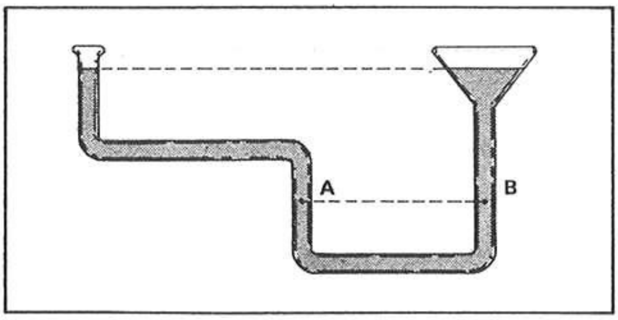
14 ■ Na fig. (b) acima se o líquido for mercúrio ($d = 13,6 \times 10^3$ kg/m³) e o desnível entre a rolha e a superfície do líquido for h = 30 cm, então a pressão na rolha será __________ N/m² (g = 10 N/kg).

****

$P \cong 4,1 \times 10^4$

15 ■ A pressão do líquido depende apenas de sua densidade e profundidade, além do campo gravitacional. Qualquer ponto do líquido, desde que à mesma profundidade, (terá; não terá) mesma pressão. Na figura ao lado a pressão no ponto A é X; então a pressão no ponto B é________ pois A e B ____________

______________________________________.



★★★★★★★★★★★★

terá; X; estão à mesma profundidade ou no mesmo nível.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Qual é a pressão da água em um ponto a 10 m abaixo de sua superfície? Considerar $g = 10$ N/kg e $d = 1{,}0 \times 10^3$ kg/m^3.

2 ■ Considere um tanque de ácido sulfúrico. Sendo $d = 1{,}3$ g/cm^3 densidade do ácido e $g = 10$ N/kg a gravidade, determine a pressão do ácido a 1,0 metro de profundidade.

3 ■ Um reservatório de água encontra-se no telhado de uma casa. Qual a pressão exercida pela água numa torneira que se encontra a 10 metros abaixo da superfície da água no reservatório? ($d = 1{,}0$ g/cm^3 e $g = 10$ N/kg).

4 ■ Qual é a pressão da água na torneira, se o nível da água no reservatório for igual ao nível da torneira?

5 ■ Uma represa está a 1 000 metros acima do nível do mar. Qual é pressão da água em um cano ao nível do mar?

RESPOSTAS

1 ■ $P = 1{,}0 \times 10^5$ N/m^2

2 ■ $P = 1{,}3 \times 10^4$ N/m^2

3 ■ $P = 1{,}0 \times 10^5$ N/m^2

4 ■ Zero

5 ■ $1{,}0 \times 10^7$ N/m^2

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Como é definida a densidade de uma substância?
2 ■ Como se determina a massa em função da densidade?
3 ■ Qual a unidade da densidade no SI?
4 ■ Defina pressão.
5 ■ De que depende a pressão que uma força exerce?
6 ■ Quando se aumenta a área de atuação de uma força, o que acontece com a pressão?
7 ■ Como você determina a pressão que um corpo exerce sobre uma superfície, em função da densidade, da gravidade, do volume e da área de contacto?
8 ■ Deduza a expressão da pressão exercida por um líquido a uma profundidade h.
9 ■ De que depende a pressão do líquido em um ponto abaixo de sua superfície?
10 ■ O que se pode afirmar acerca da pressão do líquido em pontos que se encontram em um mesmo nível dentro do líquido?

Após isso, você deve estar apto para:

a. definir densidade e calculá-la.
b. definir pressão de uma força e calculá-la.
c. definir a pressão de líquido em um ponto abaixo de sua superfície e calculá-la.
d. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

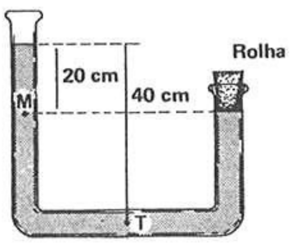
1 ▪ Admita que a área de uma agulha de vitrola seja $A = 0{,}8 \times 10^{-8}\ m^2$. Qual é a pressão da agulha sobre o disco se o cabeçote possuir massa de 100 g? Admitir gravidade $g = 10$ N/kg.

2 ▪ Sendo a densidade do óleo $d = 0{,}8 \times 10^3\ kg/m^3$, qual é a massa de óleo existente em 1 litro? (Litro = $10^3\ cm^3$).

3 ▪ Qual a pressão devida à água a uma profundidade de 10 metros? Considere $g = 10$ N/kg e densidade $d = 1{,}0 \times 10^3\ kg/m^3$.

4 ▪ Um tonel contém um líquido de densidade $d = 1{,}3 \times 10^3\ kg/m^3$. A 80 cm abaixo de sua superfície existe uma rolha que veda a saída do líquido. Qual a pressão do líquido na rolha?

5 ▪ No tubo ao lado existe mercúrio de densidade $d = 13{,}6\ g/cm^3$. Calcule a pressão do líquido nos pontos:
a) M b) T c) na rolha



RESPOSTAS

1 ▪ $P = 1{,}25 \times 10^8\ N/m^2$
2 ▪ $m = 0{,}8$ kg
3 ▪ $P_L = 1{,}0 \times 10^5\ N/m^2$
4 ▪ $P_L = 1{,}0 \times 10^4\ N/m^2$

5 ▪ a) $P_L = 2{,}72 \times 10^4\ N/m^2$
b) $P_L = 5{,}44 \times 10^4\ N/m^2$
c) $P_L = 2{,}72 \times 10^4\ N/m^2$

SEÇÃO 2 – PRESSÃO ATMOSFÉRICA
• PRINCÍPIO DE PASCAL
• PRESSÃO TOTAL EM UM PONTO DO LÍQUIDO.

O nosso planeta é envolvido por uma mistura de vários gases e vapores (nitrogênio; oxigênio; hélio; neônio; criptônio; xenônio; radônio; vapor d'água; ...) com predominância de nitrogênio e oxigênio. A essa mistura de gases e vapores dá-se o nome de atmosfera terrestre.

A atmosfera da Terra atua de maneira análoga aos líquidos, no que se refere à pressão. O peso da camada de ar que existe sobre nós exerce uma pressão que podemos medir de maneira simples. Esta pressão é denominada de **Pressão Atmosférica.**

Nesta seção veremos ainda como os líquidos podem transmitir pressão (Princípio de Pascal) e qual é a pressão total no interior de um líquido quando na sua superfície já atua a pressão atmosférica.

Para maior facilidade esta seção está subdividida em 3 partes.

A – PRESSÃO ATMOSFÉRICA = P_0

1 ▪ Um tubo de vidro em forma de U, com uma de suas extremidades vedada com rolha, é preenchido com mercúrio de modo que na parte com rolha não fique vestígios de ar atmosférico. Veja a figura ao lado. Passe ao item 2.

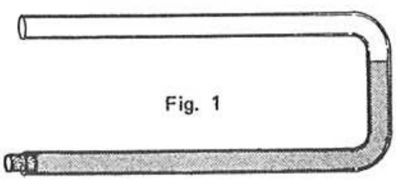


Fig. 1

2 ■ O tubo é colocado na vertical no local onde se quer determinar a pressão atmosférica. O mercúrio no interior do tubo atinge o equilíbrio na posição indicada. No ramo esquerdo, entre a rolha e a superfície do mercúrio, não existe ar atmosférico, isto é, existe **vácuo.** (Na realidade não é vácuo perfeito porque existe pequena quantidade de vapor de mercúrio). Sobre a superfície de mercúrio no ramo esquerdo a pressão é então praticamente zero, pois formou-se entre a rolha e o mercúrio um **vazio** ou **vácuo.** A superfície do mercúrio no tubo aberto (está; não está) em contacto com o ar atmosférico. O ar atmosférico exerce então uma pressão sobre esta superfície e é esta pressão que desejamos medir.

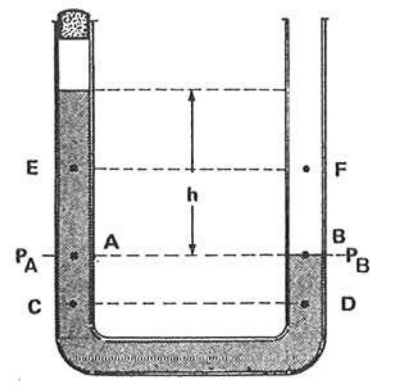


Fig. 2

****

está

3 ■ Considere o tubo do item 2. Os pontos C e D que pertencem ao líquido (possuem; não possuem) mesma pressão porque estão num mesmo nível. A pressão no ponto E (é; não é) igual à pressão no ponto F porque, apesar de estar no mesmo nível, F (petence; não pertence) ao líquido.

****

possuem; não é; não pertence

4 ■ O ponto B pertence à superfície livre do líquido, que está em contacto com o ar atmosférico, e o ponto A localiza-se no líquido no ramo esquerdo do tubo. A e B estão no mesmo nível; portanto, a pressão em A (é; não é) igual à pressão em B.

****

é

5 ■ A pressão em A (é; não é) devido à coluna h de mercúrio. A pressão em B é devido à pressão exercida pela atmosfera. No ramo esquerdo do tubo da fig. 2, acima do nível de mercúrio, (existe; não existe) ar atmosférico; então, aí (existe; não existe) pressão atmosférica.

****

é; não existe; não existe

6 ■ Dizemos então que a coluna h de mercúrio é equilibrada pela pressão atmosférica exercida no ramo direito do tubo, isto é, no ramo aberto. Determinando-se a pressão da coluna h de mercúrio, determinaremos a pressão __________________.

****

atmosférica

7 ■ Considere que realizando-se uma experiência para se determinar a pressão atmosférica, num deteminado local, observou-se que h = 72 cm. Sendo g = 9,8 N/kg, qual a pressão no ponto A?

****

$P_A = d \cdot g \cdot h = (13{,}6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9{,}8 \text{ N/kg})(0{,}72 \text{ m}) \cong 0{,}96 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

8 ■ Portanto, a pressão atmosférica no local, é P_0 =______________ e ela está sendo exercida sobre a superfície B do mercúrio.

★★★★★★★★★★★★

$0{,}96 \times 10^5$ N/m²

9 ■ O aparelho indicado na fig. 2 do item 2 é levado para uma outra localidade onde se quer determinar a pressão atmosférica. Observa-se que o desnível é agora h = 740 mm. Qual a pressão atmosférica no local, sendo a gravidade g = 9,8 N/kg?

★★★★★★★★★★★★

$P_0 = P_A \cong 0{,}99 \times 10^5\ N/m^2$

10 ■ A pressão atmosférica não é a mesma em todas as partes da Terra. Ela depende da altitude e da temperatura. Se efetuarmos a experiência no topo de uma montanha, observaremos que a pressão atmosférica é menor que ao nível do mar. À medida que alcançamos maiores altitudes o ar torna-se cada vez mais rarefeito e a pressão atmosférica torna-se cada vez (maior; menor). O aparelho que serve para medir a pressão atmosférica é denominado **barômetro**. A fig. 2 (ilustra; não ilustra) um barômetro.

★★★★★★★★★★★★

menor; ilustra

11 ■ Nós definimos a **pressão atmosférica normal** aquela que medimos **ao nível do mar**, à **temperatura de 0°C** e num local onde a gravidade é 9,8 N/kg. Nestas condições, o barômetro da fig. 2 indicaria um desnível h = = 76 cm e portanto, a pressão normal é P_0 = __________________.

★★★★★★★★★★★★

$1{,}01 \times 10^5$ N/m²

12 ■ Na prática, utilizamos unidades de pressão diferente da do SI. Por exemplo, a pressão normal que corresponde a um desnível de 76 cm de mercúrio, damos o nome de **1 atmosfera** (1 atm) ou pressão de 76 cm Hg (76 centímetros de mercúrio) ou 760 mm Hg. Para uma pressão de 2,0 atm teremos____________________cm Hg = =______________ mm Hg.

★★★★★★★★★★★★

2×76; 2×760

13 ■ 1,0 atm = ____________________N/m². Converta 2,5 atm em N/m².

★★★★★★★★★★★★

$1{,}01 \times 10^5\ N/m^2$; $2{,}5 \times (1{,}01 \times 10^5\ N/m^2) \cong 2{,}5 \times 10^5\ N/m^2$

14 ■ 76 cm Hg = ________________ N/m². Converter 70 cm Hg em N/m².

★★★★★★★★★★★★

$1{,}01 \times 10^5\ N/m^2$; $\dfrac{70 \times (1{,}01 \times 10^5\ N/m^2)}{76} \cong 0{,}93 \times 10^5\ N/m^2$

15 ■ O barômetro da fig. 2 do item 2 é levado para o alto de uma montanha e o desnível verificado é h = 650 mm. Considerando a gravidade g = 9,8 N/kg, determine a pressão atmosférica:
P_0 =_______________ mm Hg; P_0 =_______________ cm Hg; P_0 =_________________ atm e P_0 =______________ N/m².

★★★★★★★★★★★★

650: 65; $\cong 0{,}86$; $0{,}86 \times 10^5$ N/m²

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Qual a pressão que corresponde a um desnível de mercúrio de 80 cm? Resposta em N/m^2; cm Hg; mm Hg; e atm ($g = 9,8$ N/kg).

2 ■ A pressão no interior de um botijão de gás é cerca de 3,5 atm. A quantos cm Hg corresponderá esta pressão?

3 ■ Um barômetro é utilizado para medir a pressão atmosférica numa sala e observa-se que $h = 700$ mm. Qual é a pressão atmosférica reinante na sala em N/m^2 e em atmosferas?

4 ■ Qual é a pressão que equilibra uma coluna de mercúrio de altura $h = 20$ cm? Resposta em N/m^2; cm Hg e em atm.

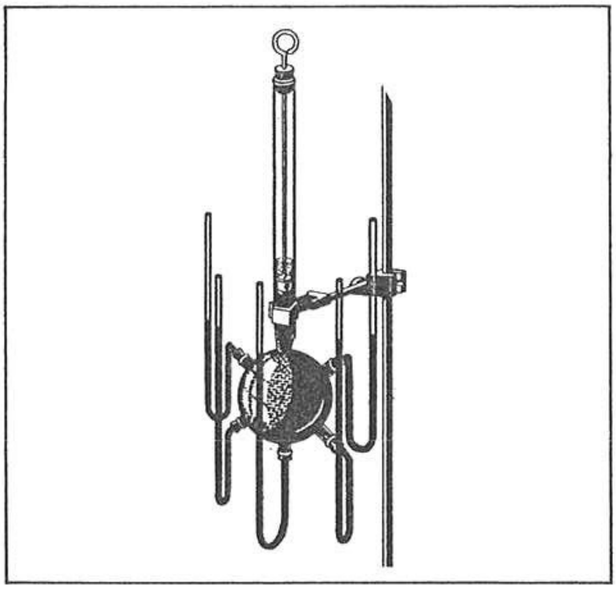
5 ■ Numa cidade o barômetro acusa num certo dia uma pressão que corresponde a 755 mm Hg. Converter em N/m^2 e em atm.

RESPOSTAS

1 ■ $P_0 = 1,07 \times 10^5\ N/m^2$; $P_0 = 80$ cm Hg; $P_0 = 800$ mm Hg; $P_0 = 1,05$ atm
2 ■ $P_0 = 266$ cm Hg (coluna de 2,66 m de mercúrio)
3 ■ $P_0 = 0,93 \times 10^5\ N/m^2 = 0,92$ atm
4 ■ $P = 0,27 \times 10^5\ N/m^2$; $P = 20$ cm Hg; $P = 0,26$ atm
5 ■ $P \cong 1,0 \times 10^5\ N/m^2 \cong 0,99$ atm

B – PRINCÍPIO DE PASCAL

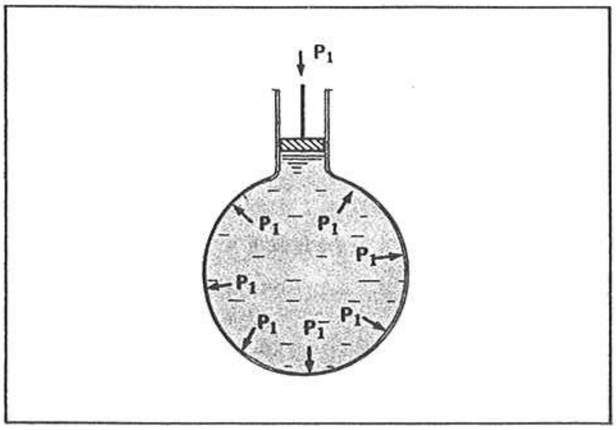
1 ■ Ao lado temos um balão de vidro cheio d'água com um êmbolo móvel e do balão saem tubos em forma de U. No início, o nível de água, tanto no balão como nos tubos, é o mesmo. Se empurrarmos o êmbolo para baixo, isto é, exercermos uma pressão adicional sobre a água, o nível de água nos tubos em U sobe igualmente e isto significa que todos eles indicam (um mesmo; diferente) acréscimo de pressão.



****

um mesmo

2 ■ Isto significa que a pressão adicional feita pelo êmbolo foi transmitida a todos os pontos do líquido, e, como o nível da água aumentou igualmente em todos os tubos em U que se acham ligados ao balão, esta pressão adicional foi transmitida (por igual; desigualmente) a todos os pontos do balão. Veja a figura ao lado.



****

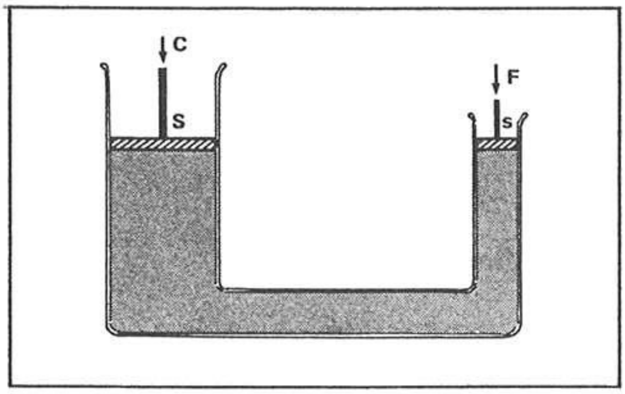
por igual

3 ■ Medindo-se a pressão em todos os pontos do líquido, numa experiência mais elaborada, verificamos que não só as paredes do balão recebem esta pressão adicional, mas também todos os pontos do líquido no interior do balão. Estes resultados correspondem ao **Princípio de Pascal** que pode ser enunciado da seguinte forma: "A pressão aplicada num líquido contido num recipiente é transmitida integralmente para todos os pontos do líquido e do recipiente que o contém". Se fizermos uma pressão de 1,0 atm numa garrafa de água, em todos os pontos da água, teremos uma pressão adicional de____________________.

****

1,0 atm

4 ■ Uma das aplicações do Princípio de Pascal é a da prensa hidráulica. A figura ao lado esquematiza tal prensa. Uma força F é exercida no pistão de área s para se erguer uma carga de peso C no pistão de área maior S. Quando exercemos uma força F no pistão de área s, a pressão correspondente exercida é P = ____________________. Segundo o Princípio de Pascal, esta pressão (é; não é) transmitida integralmente a toda porção do líquido e às paredes no interior da prensa.



****

$\frac{F}{s}$; é

5 ■ Portanto, a pressão exercida no êmbolo de área S (é; não é) igual a $P = \frac{F}{s}$. Por outro lado, este pistão de área S suporta um peso C, logo a pressão também pode ser expressa por______________________________.

****

é; $\frac{C}{S}$

6 ■ Logo, $\frac{F}{s} = \frac{C}{S}$. Desta relação temos que a carga C =________________________.

****

$C = \frac{S}{s} \cdot F$

7 ■ Como a área S é maior que s, teremos que a força F (é; não é) menor que a carga C. Portanto, podemos erguer uma carga C com uma força F bem menor. É o caso dos macacos hidráulicos de carros: apenas com uma das mão podemos erguer um automóvel.

****

é

8 ■ Uma prensa hidráulica apresenta pistões de áreas 10 cm² e 1,0 cm². Que força devemos exercer para erguer uma uma carga de 100 N?

****

$$\frac{F}{s} = \frac{C}{S} \quad \therefore \quad F = \frac{s}{S} C = \frac{1{,}0\ cm^2}{10\ cm^2} \cdot 100\ N = 10\ N$$

9 ■ Numa prensa hidráulica de pistões apresentando áreas $s = 2,0\ cm^2$ e $S = 10\ cm^2$, com uma força $F = 20\ N$ que carga máxima podemos erguer?

****

$C = 100\ N$

10 ■ Numa prensa hidráulica o pistão maior tem área $S = 20\ cm^2$. Exercendo-se uma pressão adicional $P = 2,0 \times 10^5\ N/m^2$ no pistão de área menor, qual é a carga máxima que podemos equilibrar?

****

$P = \frac{C}{S} \therefore C = P \cdot S = (2,0 \times 10^5\ N/m^2)(20 \times 10^{-4}\ m^2) = 400\ N$

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Numa prensa hidráulica é necessário exercer uma força $F = 4,0\ N$ para erguer uma carga de 100 N. Calcule a razão entre as áreas dos pistões.

2 ■ Uma carga de 500 N é suportada pelo pistão de área $S = 40\ cm^2$ de uma prensa hidráulica. Qual é a pressão aplicada no outro pistão?

3 ■ Num sistema de freios hidráulicos, o motorista ao pisar nos freios exerce uma força de 60 N. Sendo a área do pistão acoplado aos freios $s = 0,80\ cm^2$, qual é a pressão transmitida até as rodas?

4 ■ Numa prensa hidráulica o pistão maior tem área $S = 3\,000\ cm^2$ e o pistão menor $s = 15\ cm^2$. Para se erguer um carro de massa $m = 1\,500\ kg$ num local de gravidade $g = 10\ N/kg$, que força devemos exercer?

5 ■ A relação entre as áreas dos pistões maior e menor é 50. Para se erguer uma carga de 1 000 N que força devemos realizar?

RESPOSTAS

1 ■ $\frac{S}{s} = 25$ 2 ■ $P = 12,5 \times 10^4\ N/m^2$ 3 ■ $P = 75 \times 10^4\ N/m^2$ 4 ■ $F = 75\ N$ 5 ■ $F = 20\ N$

C – PRESSÃO TOTAL EM UM PONTO DE UM LÍQUIDO (PRINCÍPIO DE STEVIN)

1 ■ Já vimos que à profundidade h de um líquido de densidade d num local de gravidade g, a pressão do líquido é P_L = ____________________.

****

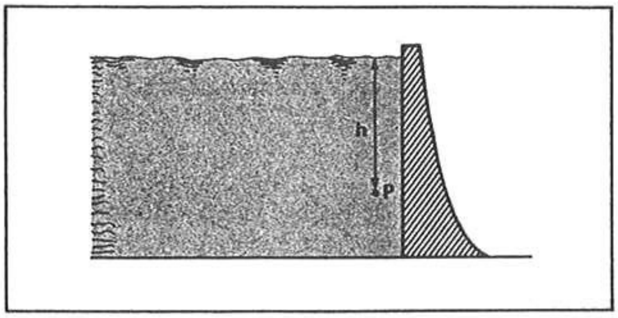
d.g.h

2 ■ O Princípio de Pascal diz que "A pressão adicional exercida no líquido ____.

****

se transmite integralmente para todos os pontos do líquido e para as paredes do recipiente que o contém

3 ■ A figura ao lado representa uma barragem numa represa de água. A pressão atmosférica é P_0. Qual é a **pressão total** sobre a barragem a uma profundidade h? A esta profundidade atua uma pressão do líquido P_L = ______________ e como na superfície da água atua uma pressão atmosférica adicional P_0, então a pressão total é P = ______________ .



****

$d \cdot g \cdot h$; $P_0 + P_L = P_0 + d \cdot g \cdot h$

4 ■ A pressão total é $P = P_0 + P_L$ porque, pelo princípio de Pascal, a pressão atmosférica adicional se transmite ______________________________ .

****

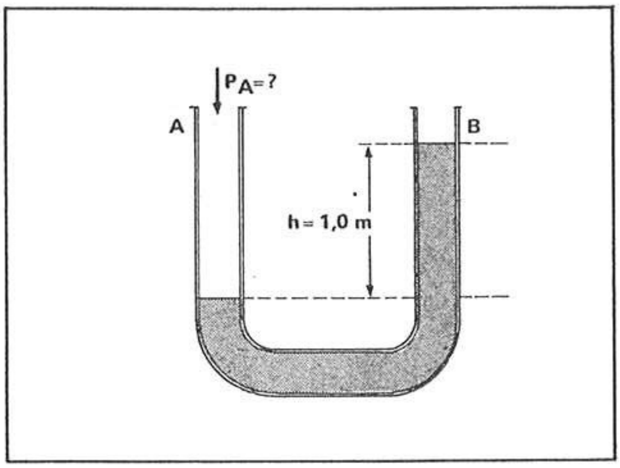
integralmente

5 ■ No caso da barragem, se $P_0 = 1{,}0 \times 10^5\ N/m^2$, qual a pressão total a uma profundidade de 10 m se a gravidade é 10 N/kg e a densidade da água é $1{,}0 \times 10^3\ kg/m^3$?

****

$P = 2{,}0 \times 10^5\ N/m^2$

6 ■ A figura ao lado ilustra um tubo em forma de U aberto. O tubo contém água e a pressão atmosférica é $P_0 = 1{,}0 \times 10^5\ N/m^2$. Que pressão adicional P_A devemos exercer no tubo A? Tanto em A como em B (atua; não atua) a pressão atmosférica P_0. A pressão total na superfície da água no tubo A (é; não é) igual à pressão total a uma profundidade h no tubo B.



****

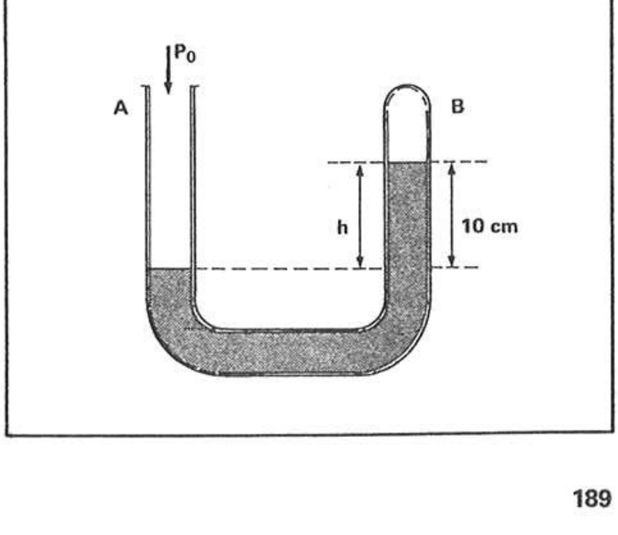
atua; é

7 ■ No tubo A, a pressão na superfície da água é $P = P_0 + P_A$. No tubo B, à profundide h, a pressão é $P = P_0 + d.g.h$; como elas são iguais ______________ = ______________. Então, P_A = ______________ , Substituindo-se os valores P_A = ______________ N/m^2.

****

$P_0 + P_A = P_0 + d \cdot g \cdot h$; $d \cdot g \cdot h$; $0{,}1 \times 10^5\ N/m^2$

8 ■ A figura ao lado ilustra um tubo de forma U fechado em um dos lados. Ele contém mercúrio e no ramo B, acima do nível do mercúrio, existe ar. Sendo a pressão atmosférica P_0 = 75 cm Hg, qual é a pressão do ar no tubo B? A pressão no nível de mercúrio do ramo A (é; não é) igual a pressão total à profundidade h no ramo B. No ramo A a pressão no nível é P = ______________ e no ramo B, à profundidade h, P = ______________; Logo P_0 = ______________



****

é; P_0; $P_{ar} + d \cdot g \cdot h$; $P_{ar} + d \cdot g \cdot h$

9 ■ A pressão do mercúrio corresponde à pressão de uma altura h = 10 cm, portanto, em termos cm Hg, esta pressão é_____________________.

****

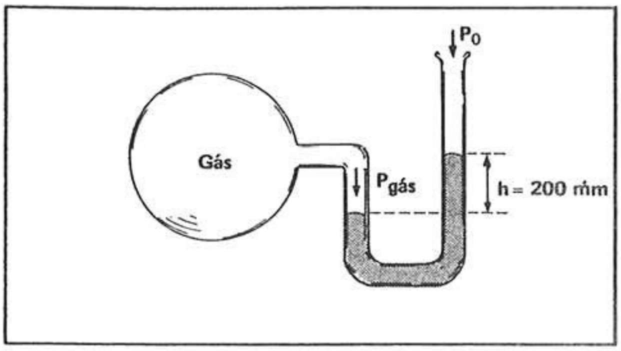
10 cm Hg

10 ■ Como $P_0 = 75$ cm Hg, e $d \cdot g \cdot h = 10$ cm Hg, então, P_{ar} =_____________________.

****

65 cm Hg

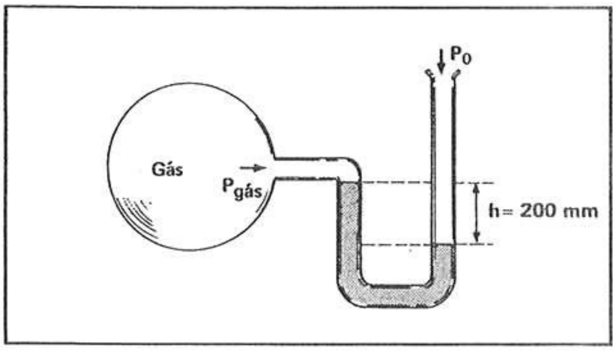
11 ■ A figura ao lado ilustra um tubo de vidro em forma de U onde um dos ramos é ligado a um recipiente contendo gás e outro exposto à pressão atmosférica $P_0 = 750$ mm Hg. O tubo contém mercúrio e o desnível é h = 200 mm, como mostra a fig. Determine a pressão do gás.



****

$P_{gás} = P_0 + d \cdot g \cdot h = 750$ mm Hg + 200 mm Hg = 950 mm Hg

12 ■ A figura ao lado representa uma situação análoga à do item 11. Somente que agora o desnível de 200 mm é oposto. Qual é agora a pressão do gás?

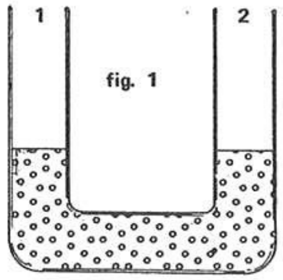


****

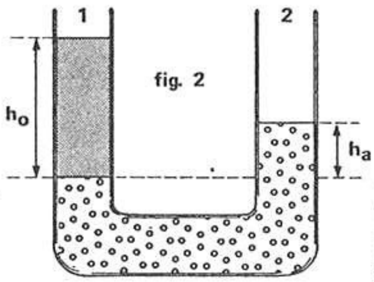
$P_{gás} + d \cdot g \cdot h = P_0 \quad \therefore \quad P_{gás} = P_0 - d \cdot g \cdot h = 500$ mm Hg

Leia e observe atentamente o Quadro I. Ele se refere aos itens 13 a 21.

QUADRO I



Um tubo em forma de U tem água no seu interior. As alturas nos ramos 1 e 2 são iguais.



Coloca-se óleo no ramo 1 e observa-se que as alturas nos dois ramos ficam diferentes. Os dois líquidos não são miscíveis.

13 ■ Na fig. 1 temos apenas água no tubo, enquanto que na fig. 2 temos água e_____________________. As alturas neste caso são (iguais; diferentes).

****

óleo; diferentes

14 ■ Quando colocamos água ou óleo no tubo, o líquido vai ter sua altura alterada até o instante em que as pressões nos dois ramos se equilibram. Quando a pressão for igual nos dois ramos, o líquido cessa de subir ou de descer. Na fig. 1 as pressões nos ramos 1 e 2 são (iguais; diferentes). Da mesma maneira, na fig. 2 as pressões nos ramos 1 e 2 são (iguais; diferentes).

★★★★★★★★★★★★

iguais; iguais

15 ■ Fig. 2.A coluna de água no ramo 2 exerce uma pressão dada por: $P_a = d_a \cdot g \cdot h_a$, onde h_a é a altura da coluna de água tomando-se como referência a linha pontilhada que separa os dois líquidos não miscíveis no ramo 1, d_a é a densidade da água e g o valor do ______________________.

★★★★★★★★★★★★

campo gravitacional

16 ■ A pressão exercida pela coluna de óleo vale $P_0 = d_0 \cdot g \cdot h_0$, onde h_0 é a altura da coluna de óleo tomando-se como referência a linha pontilhada, d_0 é a ______________________, e g o valor do campo gravitacional.

★★★★★★★★★★★★

densidade do óleo

17 ■ Para que o líquido não se desloque, devemos ter $P_a = P_0$, ou substituindo-se os valores das pressões pelas expressões já deduzidas, teremos: $P_a = d_a \cdot g \cdot h_a$ e $P_0 = d_0 \cdot g \cdot h_0$, logo: $d_a \cdot g \cdot h_a =$ ______________________ (em função da densidade do óleo, campo gravitacional e altura).

★★★★★★★★★★★★

$d_0 \cdot g \cdot h_0$

18 ■ $d_a \cdot g \cdot h_a = d_0 \cdot g \cdot h_0$. Cancele o termo comum e escreva a expressão resultante: ______________________ = = ______________________.

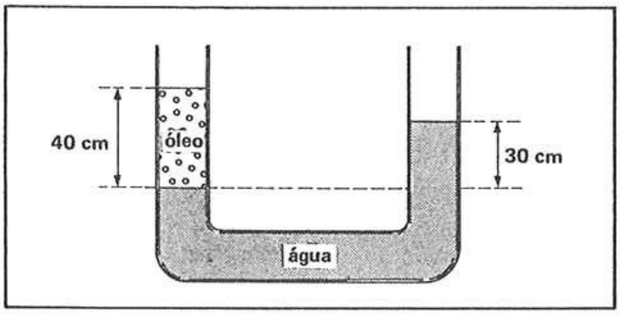
★★★★★★★★★★★★

$d_a \cdot h_a = d_0 \cdot h_0$

19 ■ $d_a \cdot h_a = d_0 \cdot h_0$. Esta é uma maneira de calcularmos a densidade do óleo (ou de outro líquido não miscível). No caso do óleo, temos: $d_0 =$ ______________________ (em função de d_a, h_0 e h_a).

★★★★★★★★★★★★

$\dfrac{d_a \cdot h_a}{h_0}$



20 ■ O tubo ao lado contém água no ramo direito e água e óleo no ramo esquerdo. As alturas dos ramos com relação à linha de separação valem 40 cm para o óleo e 30 cm para a água. Ou seja, tais alturas valem, respectivamente ____________ m e ____________ m.

★★★★★★★★★★★★

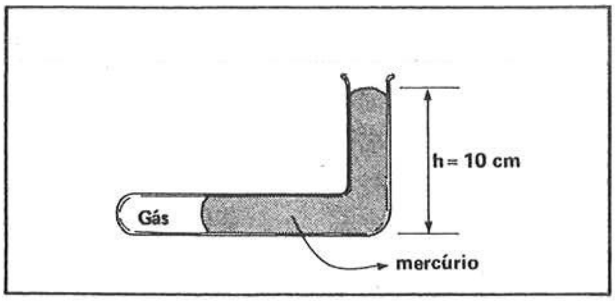
0,40; 0,30 m

21 ■ A densidade da água vale 1,0 g/cm³ ou, usando unidades do SI, $1{,}0 \times 10^3$ kg/m³. Então, a densidade do óleo no SI valerá $d_0 = \dfrac{d_a \cdot h_a}{h_0} =$ ____________ kg/m³.

★★★★★★★★★★★★

$7{,}5 \times 10^2$

PROBLEMAS A RESOLVER

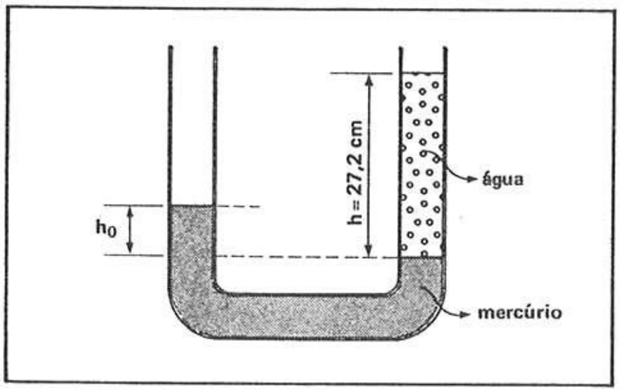


1 ■ Qual é a pressão total exercida no fundo de uma barragem à profundidade de 20 metros, sendo que a pressão atmosférica é de 750 mm Hg? ($d = 1,0 \times 10^3\ kg/m^3$ e $g = 10\ N/kg$).

2 ■ Na figura ao lado, qual é a pressão do gás, sabendo-se que a pressão atmosférica é 75 cm Hg?

3 ■ Um tubo disposto verticalmente contém 7,6 cm de mercúrio e sobre o mercúrio 1,0 m de água. A pressão no local é normal. Sendo $g = 10\ N/kg$, $d_{Hg} = 13,6\ g/cm^3$ e $d_{H_2O} = 1,0\ g/cm^3$, determine a pressão total:
a) no fundo do tubo;
b) sobre a superfície do mercúrio em contacto com a água.

4 ■ Um tubo em U contendo mercúrio é ligado a um balão contendo certo gás que não reage com o mercúrio. A superfície do mercúrio em contacto com o ar atmosférico encontra-se a 30 cm acima do nível do mercúrio no outro ramo em contacto com o gás. Sendo a pressão normal, determine a pressão do gás.



5 ■ Calcule a pressão do gás, se o nível do mercúrio no ramo em que o gás está em contacto com o mercúrio estivesse 30 cm acima do nível de mercúrio estivesse 30 cm acima do nível de mercúrio em contacto com a atmosfera (refere-se ao problema 4).

6 ■ O tubo em U ao lado contém mercúrio e água. Sendo $d_{Hg} = 13,6\ g/cm^3$ e $d_{H_2O} = 1,0\ g/cm^2$, determine a altura h_0 do mercúrio em relação ao nível inferior da coluna de água.

RESPOSTAS

1 ■ $P = 2,98 \times 10^5 \cong 3,0 \times 10^5\ N/m^2$
2 ■ $P_{gás} = 85$ cm Hg
3 ■ a) $P = 20\,336\ N/m^2 \cong 2,0 \times 10^4\ N/m^2$
b) $P = 1,0 \times 10^4\ N/m^2$
4 ■ $P_{gás} = 106$ cm Hg
5 ■ $P_{gás} = 46$ cm Hg
6 ■ $h_0 = 2,0$ cm

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Qual é a pressão no vácuo?
2 ■ O que é a pressão atmosférica? Qual o seu valor normal?
3 ■ Defina pressão atmosférica normal.
4 ■ Qual a unidade de pressão atmosférica no SI? Quais as outras unidades?
5 ■ Em cm de mercúrio, qual é a pressão correspondente a um desnível de mercúrio h = 20 cm?
6 ■ A quantos N/m^2 corresponde 1 atmosfera? e 76 cm Hg?
7 ■ Escreva o Princípio de Pascal e descreva uma experiência que ilustra este princípio.
8 ■ Em que se baseia a prensa hidráulica?
9 ■ Por que os pistões numa prensa hidráulica devem possuir áreas diferentes?

10 ■ Escreva a equação de funcionamento da prensa hidráulica, caracterizando cada elemento dessa equação.

11 ■ Qual é a pressão total a uma profundidade h de um líquido quando a pressão externa é P_0? E quando não existir pressão externa?

12 ■ Como devemos proceder para se determinar a pressão em tubo em U? A pressão na superfície do líquido em um dos ramos é igual a pressão do desnível h do outro ramo? Esta pressão é a total?

13 ■ Explique como se calcula a pressão do gás contido num reservatório, através de tubo em U, com um dos ramos exposto à atmosfera. Lembre-se, existem duas situações.

Após isso, você deve estar apto para:

a. definir pressão atmosférica normal.
b. descrever o processo pelo qual se determina a pressão atmosférica.
c. converter pressão em suas diversas unidades de medida.
d. descrever o Princípio de Pascal e ilustrá-lo.
e. descrever a prensa hidráulica e equacioná-la.
f. determinar a pressão total no interior de um líquido.
g. determinar a pressão de gás num recipiente, através de tubos em forma de U.
h. resolver problemas propostos.

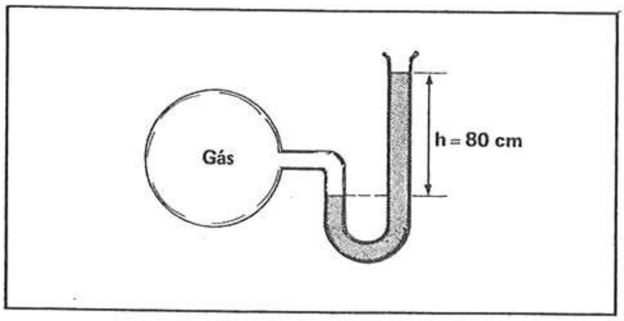
PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Num determinado local a pressão atmosférica equilibra uma coluna de mercúrio de 690 mm de altura. Qual o valor da pressão atmosférica em mm Hg; cm Hg; N/m^2 e em atmosferas?

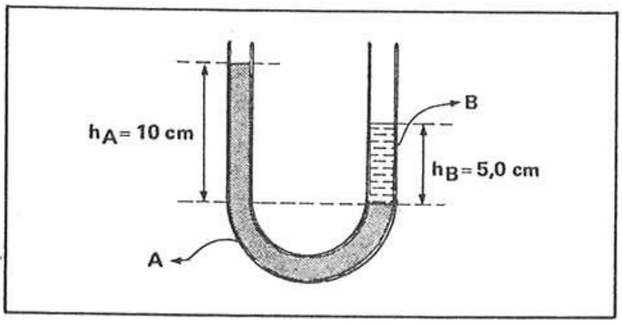
2 ■ Você exerce uma pressão de $2{,}0 \times 10^5\ N/m^2$ na superfície de um líquido estacionário. Qual a pressão total à profundidade de 10 m? Considere a densidade do líquido $2{,}0 \times 10^3\ kg/m^3$ e a gravidade $g = 10\ N/kg$.

3 ■ Numa prensa hidráulica o êmbolo maior possui área $S = 200\ cm^2$ e o menor área $s = 2{,}0\ cm^2$. Com força $F = 2{,}0\ N$, que carga podemos equilibrar nesta prensa?

4 ■ Considere o sistema ao lado. Determine a pressão do gás no interior do balão. O líquido no tubo em U é mercúrio e a pressão atmosférica normal.



5 ■ No tubo em U ao lado, os líquidos A e B não são miscíveis. Determine a densidade do líquido B, sendo que o líquido A tem densidade $d_A = 1{,}5\ g/cm^3$.



RESPOSTAS

1 ■ $P = 690$ mm Hg $= 69$ cm Hg $= 0{,}92 \times 10^5\ N/m^2 \cong 0{,}92$ atm
2 ■ $P = 4{,}0 \times 10^5\ N/m^2$
3 ■ $C = 200$ N
4 ■ $P_{gás} = 156$ cm Hg
5 ■ $d_B = 3{,}0\ g/cm^3$

SEÇÃO 3 — PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES
• EMPUXO
• CÁLCULO DO EMPUXO EXERCIDO POR UM FLUIDO SOBRE UM OBJETO

Os barcos singrando os mares, rios e lagos; submarinos de todos os tipos, balões atmosféricos, "flutuam" imersos nos fluidos (líquidos ou gases) sustentados por forças que iremos estudar nesta parte.

Leia e observe atentamente o Quadro II. Ele se refere aos itens 1 a 12.

QUADRO II

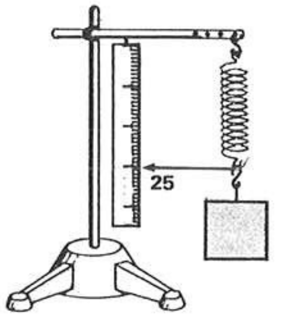


Fig. 1 Um corpo cujo volume é 1,0 ℓ é suspenso por uma mola calibrada em Newtons. Seu peso (25 N) é acusado pelo ponteiro.

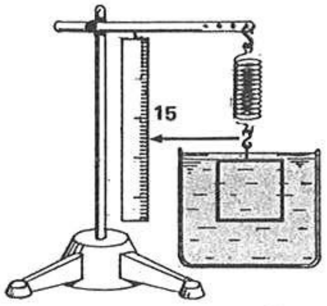


Fig. 2 O corpo é totalmente imerso em água. A mola assume uma forma menos distendida e o ponteiro acusa 15 N.

1 ■ Fig. 1. O peso do corpo faz com que a mola sofra uma distensão. A força peso tem direção (vertical; horizontal) e sentido para (baixo; cima).

****

vertical; baixo

2 ■ Fig. 1 e 2. O peso do corpo vale____________ N. Quando ele é imerso no líquido, a leitura na escala é _______ N. A diferença entre as leituras no caso das figuras 1 e 2 permite concluir que o líquido que envolve o corpo exerce sobre o mesmo uma força (horizontal; vertical) dirigida de (baixo para cima; cima para baixo).

****

25; 15; vertical; baixo para cima.

3 ■ O peso verdadeiro do corpo é 25 N. Quando imerso n'água, tem um peso aparente de __________________ N.

****

15

4 ■ Isso significa que a água exerce uma força de baixo para cima cujo valor é _________________ N.

****

10

5 ■ O volume do corpo é________________ litro, ou seja, 1 000 cm^3. Quando imerso totalmente no líquido, ele desloca uma quantidade de água igual ao seu volume. Então o volume de água deslocada pelo corpo é ______ cm^3.

****

1,0; 1 000

6 ■ A densidade da água é 1,0 g/cm^3. Logo, a massa de água deslocada é dada por $d_a = \frac{m}{V}$ ou seja $m = d_a \cdot V$. Substituindo-se os valores de densidade da água e o correspondente volume teremos o valor da massa: $m =$ __________________ g ou __________________ kg.

****

1 000; 1,0

7 ■ Se consideramos g = 10 N/kg, o peso da água deslocada pelo corpo valerá p = m • g que irá dar: p = ________N.

****

10

8 ■ Comparando-se a força exercida pelo líquido sobre o corpo com o peso da água deslocada, observamos que os dois valores são (iguais; diferentes).

****

iguais

9 ■ A força exercida por um fluido sobre um corpo chama-se **força de empuxo**, ou simplesmente **empuxo**. Então, podemos dizer que o valor do empuxo é igual ao peso do volume do fluido ________________ (completar).

****

deslocado

10 ■ O empuxo é uma força que age sobre um corpo quando este é imerso num fluido (líquido ou gás). O empuxo atua de (baixo para cima; cima para baixo).

****

baixo para cima

11 ■ Quadro II. O peso do corpo é (maior que; menor que; igual a) o empuxo.

****

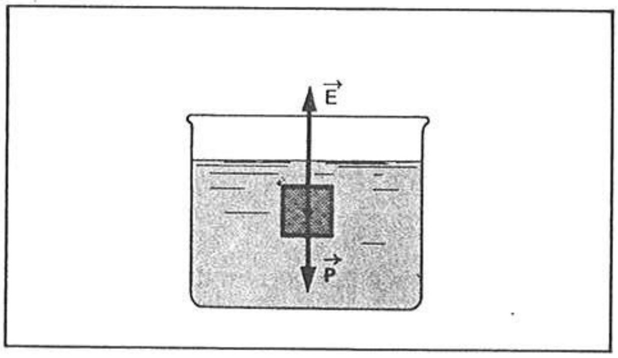
maior

12 ■ Então, se soltássemos a mola o corpo (afundaria; permaneceria na posição onde se encontrava; flutuaria), pois seus peso é ________________ que o empuxo.

****

afundaria; maior

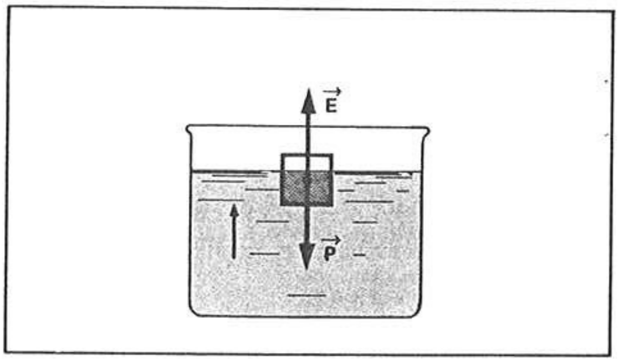
13 ■ No caso do empuxo ser maior que o peso — você provavelmente já tentou afundar uma bola de borracha na água — a resultante dessas duas forças terá direção vertical e sentido para (cima; baixo). Em tais casos o corpo se eleva no interior do líquido até atingir a superfície, para depois flutuar.



****

cima

14 ■ Vamos analisar um pouco mais detalhadamente a situação do item anterior. Quando o corpo está imerso no interior do líquido e o empuxo é maior que o peso, a resultante destas duas forças tem direção ________________ e é dirigida para cima. Tal força faz com que o corpo se desloque para ________________.



****

vertical; cima

15 ■ Item 14. Quando o corpo atinge o nível do líquido e começa a emergir, a parte do corpo que fica dentro da água vai diminuindo enquanto que a parte imersa vai aumentando. Neste caso, o volume de água deslocado pelo corpo vai ser (maior; menor; igual) que anteriormente e o empuxo sofrido pelo corpo vai ser (maior; menor; igual).

****

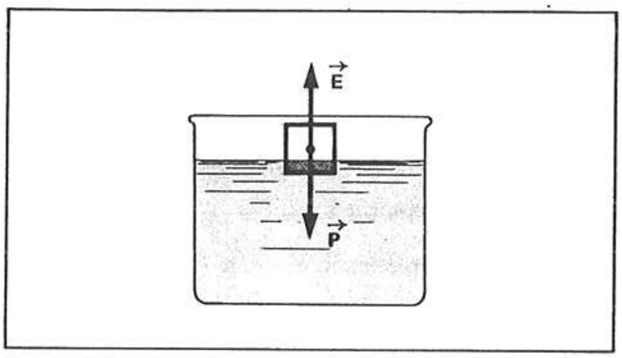
menor; menor

16 ■ Item 14. Então, à medida que o corpo vai emergindo da água, o empuxo por ele sofrido diminui até o corpo entrar em equilíbrio. Nesse instante, a força resultante é zero e o corpo fica flutuando parcialmente imerso no líquido. Nessas condições, o empuxo tem intensidade (maior que; menor que; igual a) o peso do corpo.

****

igual

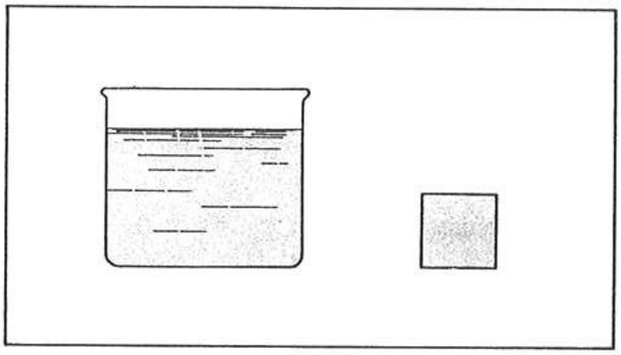
17 ■ O corpo indicado na fig. ao lado irá flutuar, conforme o esquema. Nesta situação, o empuxo e o peso do corpo têm módulos iguais. Em tal situação, a resultante das forças sobre o corpo vale__________ e o volume do corpo é (maior que; menor que; igual a) o volume do líquido deslocado.



****

zero; maior

18 ■ Suponha que tenhamos um cubo de madeira de 10 cm de lado. Seu volume vale__________ cm^3. Dispomos também de um recipiente contendo água.



****

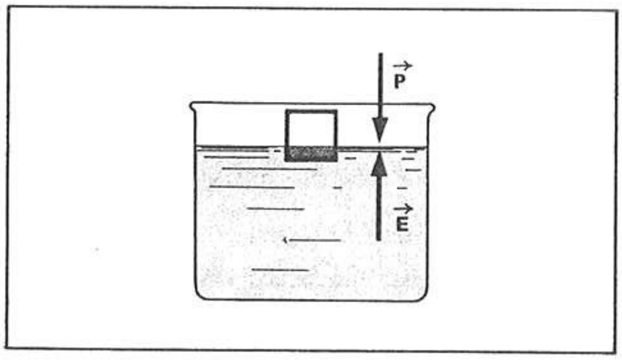
1 000

19 ■ A massa do cubo vale 800 g, logo seu peso será __________ N.

****

8,0 N

20 ■ Se colocarmos o cubo dentro d'água, esta começará a exercer uma força de empuxo sobre o mesmo. Quanto mais imerso estiver o cubo (maior; menor) vai ser o empuxo.



****

maior

21 ■ O cubo atingirá o equilíbrio quando o peso da água deslocada (empuxo) e o peso do corpo tiverem valores iguais ou seja: quando o empuxo tiver valor__________ N.

****

8,0

22 ■ O peso da água deslocada na situação de equilíbrio vale ________________ N. Tal peso corresponde a uma massa de água de ________________ g ou ______________ kg.

****

8,0; 800; 0,80

23 ■ Considerando que a densidade da água é 1,0 g/cm^3, 800 g de água ocupam um volume de ________________ cm^3.

****

800

24 ■ Tal volume d'água foi ocupado pelo cubo de madeira, então, na situação de equilíbrio, o bloco de madeira fica com __________________ cm^3 dentro da água e __________________ cm^3 fora.

****

800; 200

25 ■ Vamos agora exprimir o empuxo por meio de uma fórmula. Como o empuxo é o peso do volume do fluido deslocado pelo corpo, podemos escrever: $E = m_{\text{fluido desl.}} \times g$. A massa do líquido deslocado pode ser expressa em termos da densidade d do fluido e do volume V do fluido deslocado. Assim, $m_{\text{fluido desl.}} =$ __________________ (em função da densidade e volume).

****

$d \cdot V$

26 ■ $m_{\text{fluido desl.}} = d \cdot V$ (1) e $E = m_{\text{fl. desl}} \cdot g$ (2). Substituindo (1) em (2) obteremos:
E = ____________________________.

****

$d \cdot V \cdot g$

27 ■ $E = d \cdot V \cdot g$. Podemos concluir que o empuxo (depende; não depende) da profundidade. O empuxo recebido por um submarino a 10 m da superfície (é; não é) o mesmo que a 100 m da superfície.

****

não depende; é

28 ■ Um corpo desloca 500 cm^3 de óleo. O empuxo tem intensidade igual a ______________________________ N. Considere $d_{\text{óleo}} = 0{,}80\ g/cm^3$ e $g = 10\ N/kg$.

****

$E = d \cdot V \cdot g = (0{,}80 \times 10^3\ kg/m^3) \cdot (500 \times 10^{-6}\ m^3) \cdot (10\ N/kg) = 4{,}0$

29 ■ Um bloco de madeira de volume 120 cm^3 flutua na água com dois terços de seu volume submersos. Considere $g = 10\ N/kg$ e $d_a = 1{,}0 \times 10^3\ kg/m^3$. O valor do empuxo será E = ____________________.

****

0,8 N

30 ■ $E = d \cdot V \cdot g$. Um mesmo corpo é imerso totalmente em dois líquidos diferentes. O corpo sofrerá maior empuxo do líquido que tem densidade (maior; menor).

****

maior

31 ■ Que fração do volume total de um "iceberg" fica fora d'água? A densidade do gelo é $d_g = 0{,}90 \text{ g/cm}^3$ e a da água do mar é aproximadamente $d_a = 1{,}0 \text{ g/cm}^3$.

****

$E = P_i$. Logo, como $E = d_a \cdot V_a \cdot g$ e $P_i = d_g \cdot V_i \cdot g$ (P_i = peso do iceberg).

Então $d_a = V_a \cdot g = d_g \cdot V_i \cdot g$. Cancenlando o termo comum g e substituindo os valores das densidades, teremos:

$\frac{V_a}{V_i} = \frac{d_g}{d_a} = \frac{0{,}90}{1{,}0} = 90\%$. Portanto 10% do seu volume está acima do nível do mar.

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ O que é empuxo?

2 ■ De que depende o empuxo recebido por um corpo no interior de um fluido?

3 ■ Exprima matemáticamente o empuxo, em função da densidade e volume do fluido deslocado e da aceleração da gravidade local.

4 ■ Quando um submarino está submergindo, o valor do empuxo é (maior que; menor que; igual a) o peso do mesmo. Já quando ele está em equilíbrio no interior da água, o valor do empuxo é ________________ ao seu peso.

5 ■ O que acontece com um corpo quando ele é mergulhado num fluido e o empuxo recebido é maior que seu peso?

6 ■ Um corpo é mergulhado em água (densidade $d_a = 1{,}0 \text{ g/cm}^3$) e em óleo ($d_o = 0{,}80 \text{ g/cm}^3$). Em qual dos dois líquidos receberá maior empuxo?

7 ■ Uma nave espacial no espaço interplanetário (admita a inexistência de matéria) receberá algum empuxo?

8 ■ Um balão de borracha cheio de gás sobe até atingir determinada altura. Explique por quê.

9 ■ Se a densidade de um corpo é menor que a de determinada líquido, ele poderá afundar nessé líquido?

Após isso, você deve estar apto para:

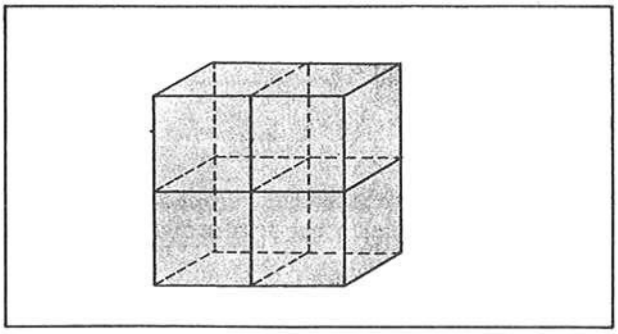
a. definir empuxo.

b. calcular o empuxo exercido por um fluido sobre um objeto.

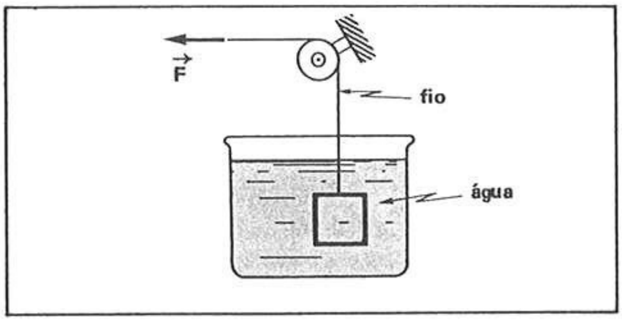
PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Um sólido flutua em água, tendo um quarto de volume fora da água. Sendo $1{,}0 \text{ g/cm}^3$ a densidade da água, calcular a densidade do sólido.

2 ■ Quatro cubos idênticos são colocados conforme ilustra a figura ao lado. Quando o conjunto é mergulhado em água cuja densidade é $1{,}0 \text{ g/cm}^3$, verifica-se que dois cubos ficam totalmente imersos enquanto que os outros ficam fora d'água. Qual a densidade de cada cubo?

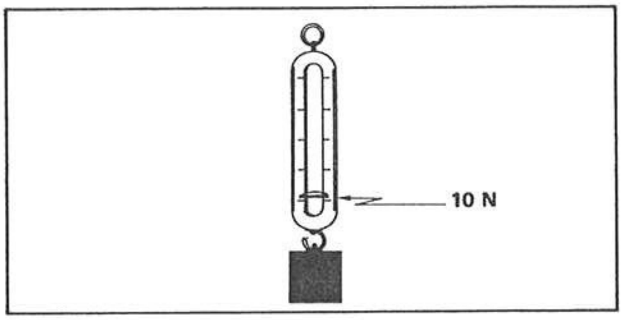


3 ▪ Na figura ao lado, o corpo mergulhado na água tem peso p Para fazê-lo subir com velocidade constante, aplica-se no fio uma força F constante. A intensidade dessa força deve ser maior, menor ou igual ao peso do corpo?



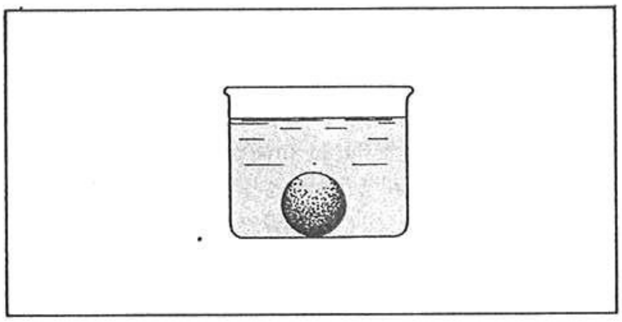
4 ▪ Duas esferas A e B idênticas encontram-se no fundo de dois reservatórios completamente cheios d'água. O reservatório que contém A tem 4,0 m de profundidade e o que contém B tem 1,0 m de profundidade. O que se pode concluir com respeito aos empuxos que agem em A e B?

5 ▪ Na figura ao lado, representamos um corpo de volume 1 000 cm^3 suspenso em uma balança de mola que registra 10 N. Se o corpo for totalmente mergulhado em água cuja densidade é 1,0 g/cm^3, qual será a nova indicação da balança? Considere g = = 10 N/kg.



6 ▪ Um corpo de volume 100 cm^3 e densidade 0,60 g/cm^3, flutua num líquido cuja densidade é 0,8 g/cm^3. Determine a intensidade da força vertical necessária para que o corpo fique totalmente mergulhado no líquido.

7 ▪ A esfera da fig. ao lado, tem volume igual a 20 cm^3. O líquido que a envolve tem densidade igual a 0,5 g/cm^3. Calcule a intensidade da força que a esfera recebe da base do recipiente.



8 ▪ Um corpo homogêneo de ferro cuja densidade é 7,8 g/cm^3 é abandonado na superfície da água contida num tanque. Desprezando o atrito e supondo g = 10 m/s^2, calcule:

a) a aceleração do movimento do corpo;

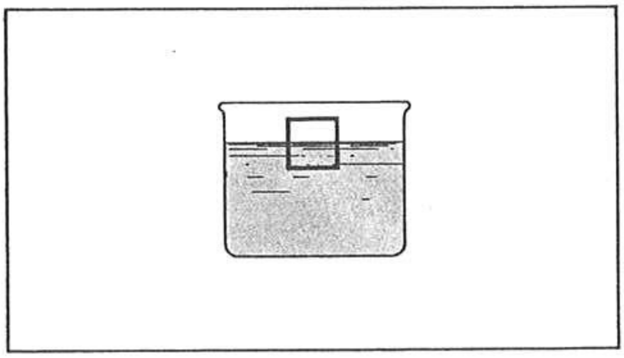
b) a velocidade do corpo, dois segundos após iniciado o movimento;

c) o deslocamento efetuado pelo corpo durante os dois primeiros segundos.

9 ▪ Um cubo de aresta 20 cm feito de ferro flutua em mercúrio conforme está indicado na figura ao lado. Sendo 7,8 g/cm^3 e 13,6 g/cm^3 respectivamente as densidades do ferro e do mercúrio, calcule:

a) a parte da aresta do cubo que fica imersa no líquido;

b) considerando agora a presença de água (densidade 1,0 g/cm^3) sobre o mercúrio até cobrir a face superior do cubo, qual deve ser a nova parte da aresta imersa em mercúrio?



RESPOSTAS

1 ▪ d = 0,75 g/cm^3 2 ▪ d = 0,50 g/cm^3 3 ▪ $F < P$ porque $F = P - E$

4 ▪ Como as esferas são idênticas e o empuxo independe da profundidade, podemos concluir que A e B recebem empuxos iguais. 5 ▪ zero 6 ▪ 0,2 N

7 ▪ 14 N 8 ▪ a) $\cong$ 8,7 m/s^2 b) 17,4 m/s c) 17,4 m 9 ▪ a) $\cong$ 11,5 cm b) $\cong$ 10,8 cm

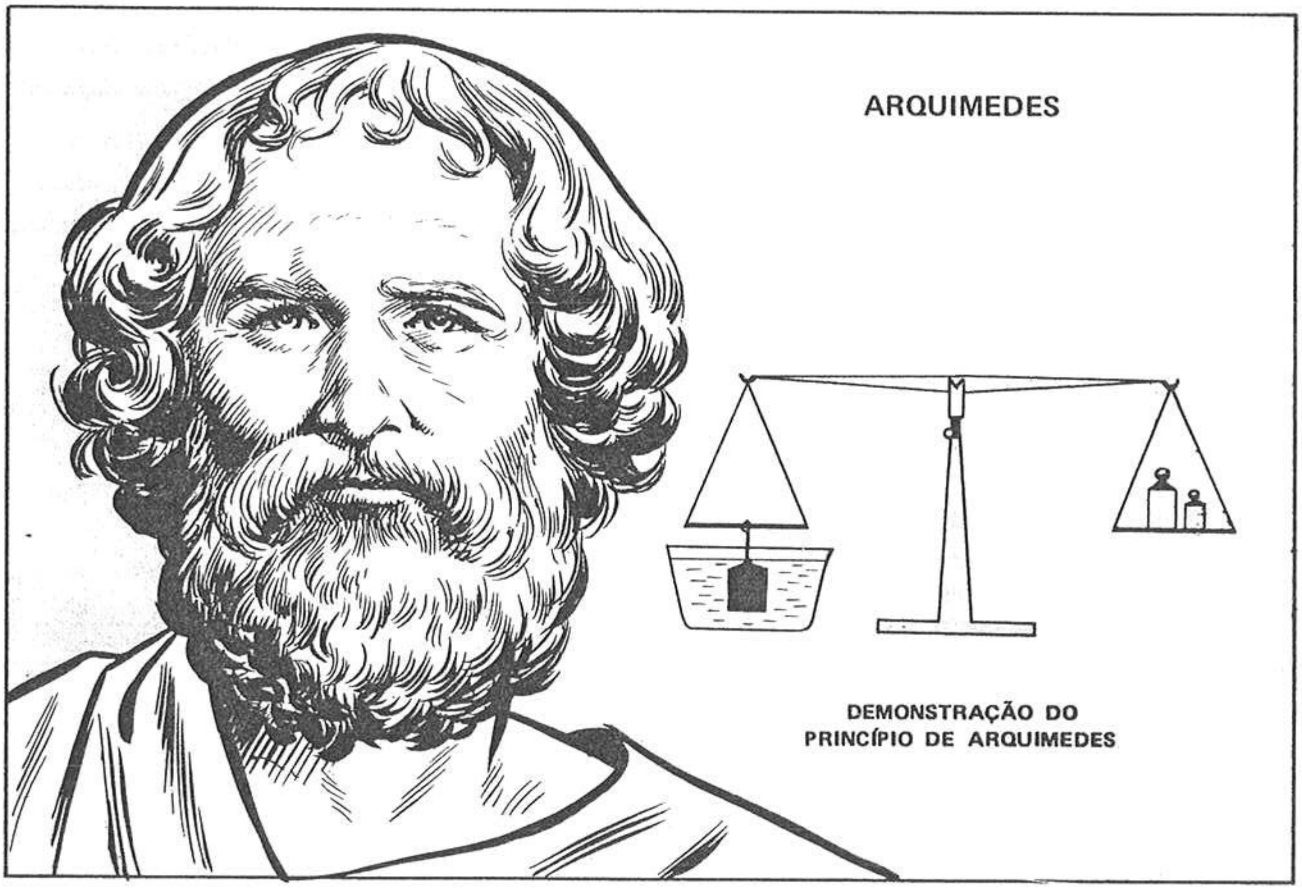
SEÇÃO 4 – EUREKA!!!

Arquimedes (287–212 a.C.), nascido em Siracusa, capital de uma colônia grega na Sicília, pode ser considerado o fundador da Mecânica. Dentre seus inúmeros trabalhos, destaca-se a lei relacionada com a perda aparente de peso pelos corpos imersos total ou parcialmente em um fluido. Esta lei estabelece que todo corpo quando imerso total ou parcialmente em um fluido em equilíbrio, recebe por parte deste uma força vertical dirigida para cima de intensidade igual ao peso do volume do fluido deslocado.

A descoberta de Arquimedes teve sua origem quando Hierão, o rei de Siracusa, entregou ao seu joalheiro uma quantidade bem determinada de ouro para que este confeccionasse uma coroa. Posteriormente à entrega da coroa, surgiu a desconfiança de que o joalheiro havia substituido parte do ouro por outro metal menos nobre. O problema de averiguar se a coroa continha ou não a quantidade de ouro correta foi entregue a Arquimedes. O sábio ficou durante algum tempo pensando em como poderia resolver a questão, até que num dia enquanto tomava banho numa tina, observou que quando submergia na água esta o empurrava para cima. Esse fato indicou a Arquimedes o caminho para a solução do problema, e, sem hesitar, saiu para a rua despido, gritando em voz alta: EUREKA! EUREKA! (palavra grega que significa ACHEI! ACHEI!).

SOLUÇÃO DO PROBLEMA

Arquimedes pesou a coroa e depois suspendeu-a mergulhada em água para verificar qual a perda aparente de peso devido ao empuxo. A seguir, ele repetiu a experiência com uma quantidade de ouro puro de peso igual ao da coroa. Se o empuxo sobre o corpo de ouro fosse igual ao que se verificou sobre a coroa significaria isso que as densidades eram iguais, logo a coroa seria de ouro puro. Registra a história que tal fato não se deu, ou seja, a coroa não era de ouro puro pois o joalheiro, que acabou confessando, misturara outro metal com o ouro.



2ª PARTE - Temperatura e comportamento térmico dos corpos

Nesta parte, iniciaremos o estudo introduzindo o conceito de temperatura através da noção de equilíbrio térmico. Em seguida definiremos as grandezas termométricas e métodos para medir temperaturas, estabelecendo relações entre as escalas de unidades mais usadas. Um dos fenômenos mais evidentes provenientes da variação de temperatura é a expansão que ocorre, geralmente, nas dimensões das substâncias. Este fenômeno é de grande interesse na tecnologia, desde o assentamento de tacos em pisos, pastilhas em paredes, passando pela engenharia de construção de diques, pontes, viadutos, etc, até os mais sofisticados instrumentos de engenharia de precisão e de cirurgia.

Analisaremos, portanto esse tipo de comportamento térmico de substâncias sólidas e líquidas. Em seguida, será desenvolvido o comportamento térmico dos gases, estabelecendo relações entre as variáveis pressão, volume e temperatura (P, V, T). Esta análise será de suma importância no desenvolvimento da termodinâmica, particularmente para a análise do comportamento das máquinas térmicas.

Assim, esta parte constará de quatro seções:

seção 1: temperatura e grandezas termométricas.
seção 2: equações termométricas e escalas.
seção 3: comportamento térmico das substâncias sólidas e líquidas.
seção 4: comportamento térmico dos gases.

Após vencer com sucesso essa 2ª PARTE do capítulo, você deverá ser capaz de:

a. caracterizar temperatura; definir escalas termométricas; medir temperaturas.
b. caracterizar expansão de sólidos e líquidos.
c. definir coeficientes de dilatação.
d. caracterizar variáveis de estado de um gás (P, V, T).
e. descrever transformações isotérmicas, isométricas e isobáricas.
f. definir equação de estado de um gás ideal.
g. resolver problemas propostos.

SEÇÃO 1 — TEMPERATURA, EQUILÍBRIO TÉRMICO E GRANDEZAS TERMOMÉTRICAS

É muito comum utilizarmos expressões como "este corpo está quente" ou "este corpo está frio ou morno", etc. Veremos que tais expressões são relativas, pois utilizamos nossos sentidos para aquilatá-las, e eles são bastante limitados. O equilíbrio térmico que definiremos nesta parte é de grande importância para o entendimento dos inúmeros fenômenos térmicos que se processam, bem como nos indicará a forma de estabelecermos métodos que permitam a introdução do conceito de temperatura e sua medição.

1 ■ O homem percebe o mundo físico que o rodeia através de seus órgãos sensoriais: visão, audição, olfato, gustação e tato. Quando nos utilizamos do tato, recebemos inúmeras informações. Por exemplo: áspero, liso, duro, mole, quente, frio, etc... Denominaremos estas últimas (quente e frio) de **sensações térmicas**. A noção de áspero (corresponde; não corresponde) a uma sensação térmica.

****

não corresponde

2 ■ Se tocarmos em um pedaço de gelo, este normalmente produzirá uma sensação térmica fria. Ao tomarmos uma chícara de café, teremos, normalmente, uma sensação térmica (quente; fria).

****

quente

3 ■ Existem várias outras graduações de sensações térmicas, como por exemplo: morno, gelado, etc. . . Um sorvete nos produz uma sensação térmica (quente; gelada; morna).

****

gelada

4 ■ Geralmente, através de nossos sentidos (podemos, não podemos) aquilatar se uma pessoa tem ou não febre. Todavia, nem sempre podemos dizer se um objeto é mais frio ou mais quente que outro.

****

podemos

5 ■ O homem tem, intuitivamente, a noção de temperatura e pode avaliar grosseiramente se num dia determinado a temperatura é alta ou baixa. Nos polos da Terra a temperatura é ____________, enquanto que na região equatorial a temperatura é mais____________ .

****

baixa; alta

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 6 a 10.

QUADRO I

Em 1690, John Locke mostrou que as avaliações de temperaturas feitas pelo homem eram imprecisas. Para isso fez o seguinte: colocou uma de suas mãos em água quente e a outra em água fria (fig. 1). Em seguida colocou ambas as mãos em água morna (fig. 2). Esta água parecia fria para a 1ª das mãos e quente para a 2ª.

6 ■ Inicialmente, John Locke colocou uma de suas mãos no recipiente que continha ____________________ e a outra no de____________________.

****

água fria; água quente

7 ■ Em seguida, colocou (uma de suas mãos; as duas mãos) em água morna. Na mão colocada inicialmente em água quente ele teve a sensação que a água morna estava ______________ e, na outra, teve a sensação que a água morna estava______________.

****

as duas mãos; fria; quente

8 ■ A água morna causou em Locke (uma sensação; duas sensações) térmicas. Então, um objeto (causa sempre; pode causar) uma única sensação térmica bem definida.

****

duas sensações; pode causar

9 ■ Ao levantarmos de manhã e pisarmos o chão, descalços, teremos sensações diversas se o chão for de ladrilho ou se houver um tapete sobre ele. Conforme veremos adiante, ambos estão a uma mesma temperatura mas o chão de ladrilho nos dará uma sensação de estar mais ________ que o tapete.

****

frio

10 ■ Do que foi visto, podemos concluir que o tato (é; não é) um meio suficientemente apurado para avaliar temperaturas.

****

não é

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 11 a 15.

QUADRO II

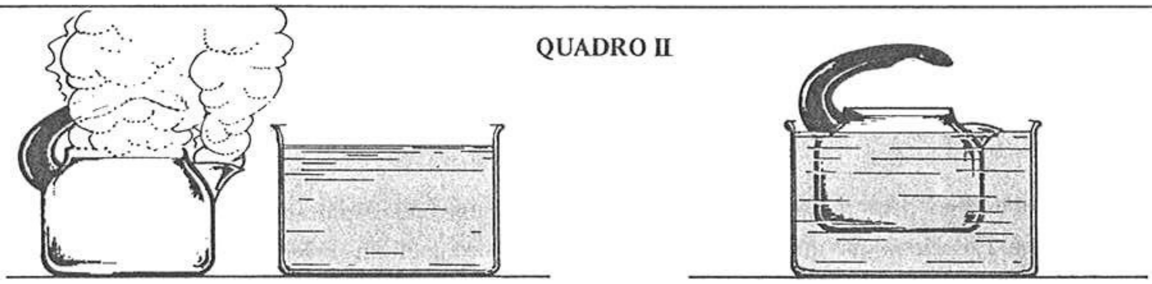


Fig. 1 – Temos uma chaleira contendo água quente e uma vasilha contendo água fria.

Fig. 2 – A chaleira é colocada na vasilha. Depois de certo tempo as águas dos dois recipientes estão mornas.

11 ■ Inicialmente, a água da chaleira está ________, enquanto a da vasilha está ________.

****

quente; fria

12 ■ Quando a chaleira é colocada dentro da vasilha e aguardado certo tempo, a água (da vasilha; dos dois recipientes) fica morna.

****

dos dois recipientes

13 ■ A água da chaleira, à medida que o tempo passa, vai se tornando mais (quente; fria) ao passo que ________ ________________.

****

fria; a água da vasilha vai se tornando mais quente

14 ■ Então, se introduzíssemos uma de nossas mãos na água da chaleira e depois na vasilha, teríamos praticamente (a mesma sensação térmica; sensações térmicas diferentes).

****

a mesma sensação térmica

15 ■ Quando chegarmos a este ponto, diremos que a água da chaleira está em **equilíbrio térmico** com a água da vasilha. Mais adiante você verá que nesta situação todo o sistema estará em equilíbrio térmico (recipientes e água), desde que o sistema seja isolado. Imediatamente após a colocação da chaleira na vasilha, seus conteúdos (estão; não estão) em equilíbrio térmico.

****

não estão

16 ■ Das situações descritas abaixo, identifique aquelas que correspondem a corpos em equilíbrio térmico:

a) pedaço de gelo no interior de um recipiente contendo água quente;

b) uma aliança no dedo;

c) relógio no pulso;

d) os vapores desprendidos de uma panela de pressão e o ar existente na cozinha;

e) café quente no interior de uma cafeteira e recipiente externo da mesma.

****

b; c;

17 ■ No item 16, você respondeu que tanto o anel como o relógio estão em equilíbrio térmico com o corpo (dedo e pulso). Logo, (podemos; não podemos) concluir que o relógio no pulso e o anel no dedo de uma pessoa, estão em equilíbrio térmico entre si.

****

podemos

18 ■ O resultado obtido no item 17, apesar de evidente, constitui um fato importanto na Física: é a **Lei Zero da Termodinâmica**. Ela afirma que dois corpos em equilíbrio térmico com um terceiro estão em equilíbrio térmico entre si. Se um corpo A está em equilíbrio térmico com um corpo B e B está em equilíbrio térmico com um corpo C, então A e C ________________________________ (complete).

****

estão em equilíbrio térmico entre si

19 ■ Como vimos, o homem através de seus sentidos não é um bom avaliador do estado térmico de um corpo. Introduziremos agora uma grandeza física que caracterizará bem esse estado térmico. Tal grandeza é a (massa; volume; temperatura; peso; aceleração) do corpo.

****

temperatura

20 ■ A temperatura é uma grandeza física associada ao estado térmico de um corpo. A cada estado térmico associaremos um número que corresponderá a uma dada temperatura. Mais adiante veremos como fazer essa associação. Quando dizemos que o dia está frio, (estamos; não estamos) associando um número a este estado térmico.

****

não estamos

21 ■ A noção frio-quente é, então, subjetiva, e dá uma idéia apenas qualitativa do estado térmico de um corpo. Se conseguirmos definir um número associado ao estado térmico teremos uma idéia (qualitativa; quantitativa) desse estado térmico.

****

quantitativa

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 22 a 33.

QUADRO III

Fig. 1 – A figura mostra um recipiente contendo um gás num determinado estado térmico e um dispositivo que mede a pressão desse gás. O recipiente encontra-se hermeticamente fechado.

Fig. 2 – O recipiente é aquecido e a pressão do gás varia.

Fig. 3 – Um recipiente contém um líquido.

Fig. 4 – O recipiente é aquecido e o volume do líquido varia.

Fig. 5 – Uma barra de metal.

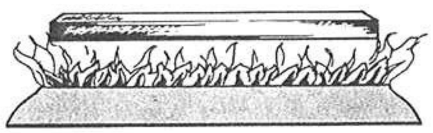


Fig. 6 – A barra é aquecida e seu comprimento varia.

22 ■ Nas figuras 1 e 2, o recipiente (está; não está) no mesmo estado térmico.

****

não está

23 ■ A pressão do gás nas duas situações (é; não é) a mesma.

****

não é

24 ■ Nas figuras 3 e 4, quando o estado térmico varia, o ________________ do líquido varia.

****

volume

25 ■ Nas figuras 5 a 6, temos uma variação do comprimento da barra, quando ______________________ ______________________(complete).

****

o estado térmico da barra varia

26 ■ Do que foi visto no quadro III, (somos; não somos) capazes de medir variações de grandezas físicas que variam quando o estado térmico de um corpo varia.

****

somos

27 ■ Nas figuras 3 e 4 a grandeza que variou foi o______________ e nas figuras 1 e 2 a grandeza física que variou foi a______________.

****

volume; pressão

28 ■ Nas figuras 5 e 6 a grandeza física variável foi____________________.

****

o comprimento

29 ■ Tais variáveis irão nos permitir associar um número a um dado estado térmico de um corpo. Atribuiremos um valor de temperatura a um valor determinado do volume do líquido, ou da pressão do gás ou ainda do ______________ da barra.

****

comprimento

30 ■ A temperatura pode então ser medida (diretamente; indiretamente) através da mensuração **direta** da variação de outra grandeza física (volume, comprimento, pressão, etc.).

****

indiretamente

31 ■ Grandezas que servem para medir temperaturas são chamadas **grandezas termométricas**. O volume de um líquido é uma ________________________.

****

grandeza termométrica

32 ■ Outros exemplos de grandezas termométricas são: ________________________.

****

comprimento; pressão

33 ■ No quadro III, as grandezas termométricas volume, pressão e comprimento sofrem alterações em virtude do aquecimento a que os corpos foram submetidos. De um modo geral, as grandezas anteriormente citadas sofrem aumento quando o corpo é aquecido; se o corpo for resfriado deveremos esperar (aumento; diminuição) das mesmas.

****

diminuição

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

1 ■ A sensação térmica é percebida pelo ____________________.

2 ■ A gradações de sensações térmicas são apenas de quente e frio? Explique.

3 ■ Nossos sentidos são suficientes para aquilatar o quanto um corpo é mais quente ou frio do que outro?

4 ■ Relate a experiência de John Locke?

5 ■ Qual a conclusão da experiência de Locke?

6 ■ Dê exemplos próprios de corpos em equilíbrio térmico entre si.

7 ■ Enuncie a Lei Zero da Termodinâmica.

8 ■ Dê um exemplo que ilustre a Lei Zero da Termodinâmica.

9 ■ Qual o nome da grandeza física que pode ser associada ao estado térmico de um corpo?

10 ■ Identifique as grandezas termométricas na relação seguinte: massa, volume, comprimento, peso, pressão, aceleração,. força, velocidade.

Após isso, você deve estar apto para:

a. identificar corpos que estão em equilíbrio térmico.
b. enunciar a Lei Zero da Termodinâmica, ilustrando-a.
c. descrever as grandezas termométricas cujas variações podem ser utilizadas para medir temperaturas.

SEÇÃO 2 – EQUAÇÕES TERMOMÉTRICAS E ESCALAS DE TEMPERATURA

Através da utilização dos conceitos de equilíbrio térmico e temperatura, apresentaremos a equação termométrica através da qual construiremos as inúmeras escalas termométricas: Escalas Celsius, Fahrenheit, Kelvin e Réaumur. Mostraremos como tais escalas são contruídas e as relações entre elas.

A – EQUAÇÕES TERMOMÉTRICAS

Veremos, em seguida, como atribuir valores de temperaturas a estados térmicos, utilizando-nos uma grandez termométrica.

Leia atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 1 a 32.

QUADRO IV

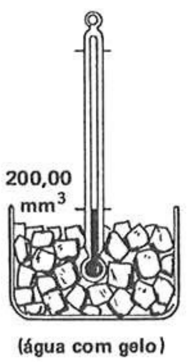


Fig. 1 – Um tubo contendo mercúrio é colocado num recipiente com mistura de gelo e água. Ao atingir o equilíbrio térmico, obtém-se o volume indicado.

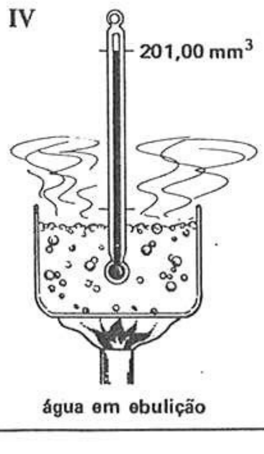


Fig. 2 – O mesmo tubo é em seguida colocado em contato com água em ebulição. Quando o equilíbrio térmico é atingido, obtém-se o volume indicado.

1 ■ O volume do mercúrio no tubo indicado na fig. 1 é de____________. Nesta situação, o recipiente contendo mercúrio encontra-se em________________ com a mistura de gelo e água.

****

200,00 mm^3; equilíbrio térmico.

2 ■ O mercúrio foi colocado em presença de (um; dois) estados térmicos.

****

dois

3 ■ As indicações do volume foram (iguais; diferentes) para os dois casos, uma vez que a grandeza termométrica – volume – (sofreu; não sofreu) variação.

****

diferentes; sofreu

4 ■ Agora, **imporemos** que esses dois estados possuem temperaturas definidas. Por exemplo, podemos impor que o 1º estado térmico tem um valor de temperatura 0° (zero graus) e o segundo, 100°. Quando procedemos dessa maneira estamos construindo uma escala de temperatura. A temperatura da água em ebulição, desta forma, vale________.

****

100°

5 ■ Na temperatura 100°, o valor do volume do mercúrio é____________, ao passo que na temperatura 0°, o valor do volume é____________.

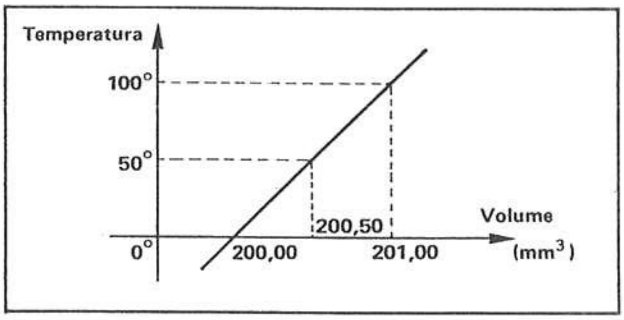
****

201,00 mm^3; 200,00 mm^3

6 ■ Simbolicamente, representando por t_g e V_g a temperatura e o volume para o estado térmico gelo + água, e por t_e e V_e a temperatura e o volume para o estado térmico da água em ebulição, teremos:
$t_g = 0°$; V_g = ____________ ; t_e = ________ e V_e = ____________.

****

200,00 mm^3; 100°; 201,00 mm^3



7 ■ Admitiremos que entre a grandeza termométrica e as temperaturas exista uma relação linear. O gráfico ao lado (é; não é) uma representação de uma relação linear.

****

é

8 ■ Entre 0° e 100° (gráfico acima), houve uma variação de volume de________ mm^3. Se a variação de temperatura fosse de 50°, a correspondente variação de volume seria ________ mm^3.

****

1,00; 0,50

9 ■ Uma variação de 0,20 cm^3 corresponde a uma variação de temperatura de______; ao passo que o **volume total** de mercúrio, quando a temperatura for 30°, será____________.

****

20°; 200,30 mm^3

10 ■ Uma função linear tem a forma $y = ax + b$. Na função construída no item 7 estamos usando como variáveis t (temperatura) e V (volume); então a função será dada por $t = a$ ____ $+ b$.

****

V

11 ■ O ponto ($V = 200{,}00$, $t = 0°$) (pertence; não pertence) à reta do gráfico. O outro ponto pelo qual a reta passa é (__________ ; ________).

****

pertence; 201,00; 100°

12 ■ Lembrando que a declividade a de uma reta é dada por $a = \dfrac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$, para o caso da reta construída no item 7 temos:

$$a = \frac{100° - 0°}{\_\_ - \_\_} = \_\_\_\_\_\_\_\_$$

****

201,00; 200,00; 100

13 ■ Conforme já sabemos, uma reta que passa por um ponto (x_1, y_1) com declividade a tem uma equação dada por $y - y_1 = a(x - x_1)$; para o caso da reta traçada no item 7, teremos:

$$t - 0° = 100(V - \_\_\_\_).$$

****

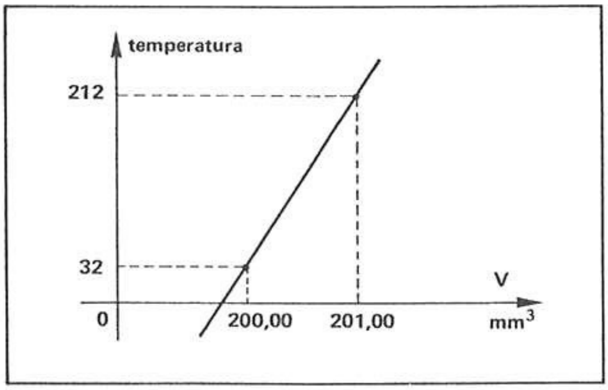
200,00

14 ■ A equação $t = 100(V - 200{,}00)$, nos permite calcular qual a temperatura quando soubermos o volume. Tal equação é chamada **equação termométrica**. Quando o volume de mercúrio for 200,14 mm^3, a temperatura será ______ ; ao passo que um volume de 199,96 mm^3 nos dará uma temperatura de ________.

****

14°; -4°

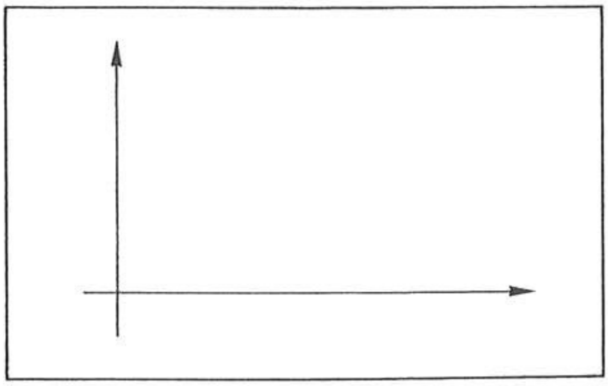
15 ■ Se atribuirmos o valor de 32° à temperatura do 1º estado térmico e 212° à do 2º estado térmico, o gráfico da temperatura em função do volume de mercúrio seria o ilustrado ao lado. A equação termométrica seria t = ____________________ .



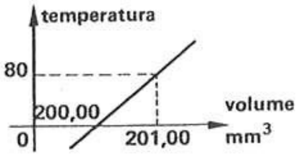
****

180(V - 200,00) + 32

16 ■ Qual seria o gráfico temperatura X volume, e a respectiva equação termométrica se tivéssemos atribuído o valor 0° para a temperatura do 1º estado térmico e 80° para o 2º estado térmico?

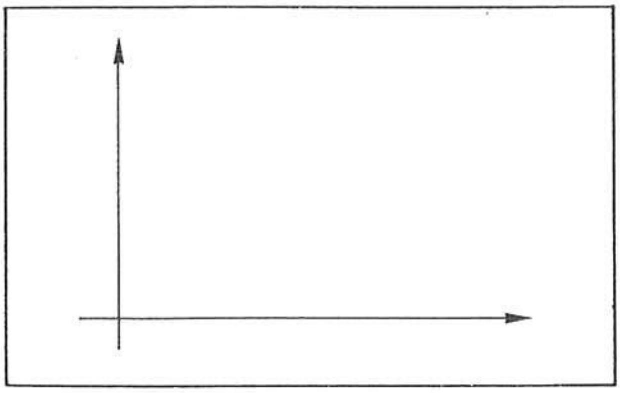


****

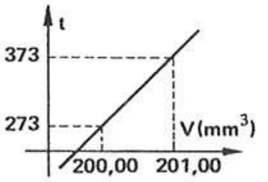


; $t = 80(V - 200{,}00)$

17 ■ Se tivéssemos atribuído o valor 273° para a temperatura do 1º estado térmico e 373° à do 2º, qual seria o gráfico temperatura X volume e a respectiva equação termométrica?

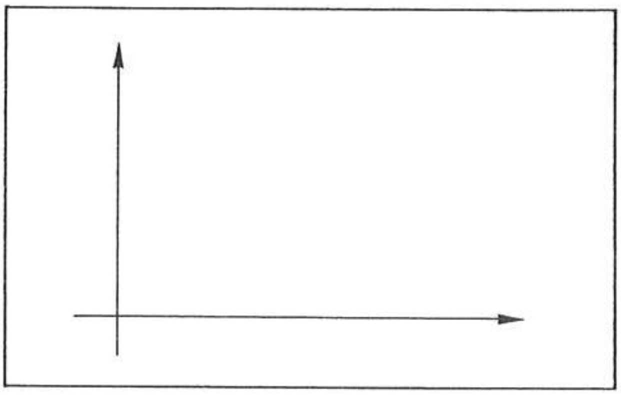


****

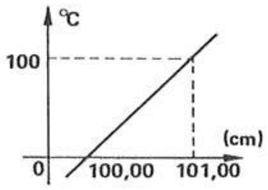


; $t = 100(V - 200{,}00) + 273$

18 ■ Uma barra de aço possui comprimento $L_0 = 100{,}00$ cm quando em equilíbrio térmico com gelo + água e $L = 101{,}00$ cm quando em equilíbrio com água em ebulição. Atribuindo-se os valores 0° e 100° às temperaturas dos respectivos estados térmicos, qual é o gráfico temperatura X comprimento, e a respectiva equação termométrica?



****



; $t = 100(L - 100{,}00)$

19 ■ Volte ao item 15. Qual seria o volume se a temperatura fosse 0°?

****

$V \cong 199{,}81 \text{ mm}^3$

20 ■ Volte ao item 16. Qual seria a temperatura se $V = 201{,}25 \text{ mm}^3$?

****

$t = 100°$

21 ■ No item 17, qual seria a temperatura se $V = 200{,}27 \text{ mm}^3$?

****

$t = 300°$

22 ■ No item 18, para $L = 100{,}08$ cm, qual é a temperatura?

****

$t = 8°$

B – ESCALAS TERMOMÉTRICAS

1 ■ A equação termométrica, como vimos na parte anterior, (depende; não depende) da escolha arbitrária de valores para as temperaturas dos dois estados térmicos descritos. Tais estados são chamados de **pontos fixos fundamentais**.

****

depende

2 ■ Cada escolha de valores para os chamados pontos fixos gera uma escala de temperaturas. A **escala de temperatura Celsius**, formalmente denominada de **escala centígrada**, foi estabelecida por **Anders Celsius**, astrônomo sueco que viveu entre 1701-1744. Ele atribuiu o valor 0°C (zero graus Celsius) para o ponto de fusão do gelo (mistura de gelo + água em equilíbrio térmico) e 100°C para o ponto de ebulição da água. Portanto, nesta escala de temperatura o intervalo entre os pontos fixos é dividido em ______ partes iguais. Cada parte corresponde a

****

100; 1°C

3 ■ As divisões feitas entre os pontos fixos são extrapoladas para valores acima de 100°C e também abaixo de 0°C. Estas divisões são feitas num tubo de vidro contendo mercúrio, que é um dispositivo que (apresenta; não apresenta) uma grandeza termométrica cuja variação podemos medir. Tais dispositivos são chamados **termômetros**.

****

apresenta

4 ■ No item 14 da parte A temos a equação termométrica para o termômetro de mercúrio em função do volume. Tal equação é t_C = ______________________. Quando o volume é V = 200,15 mm^3, a temperatura correspondente será t_C = __________ .

****

100(V - 200,00); 15°C

5 ■ Uma outra escala, muito utilizada nos países de língua inglesa, foi estabelecida por Gabriel Daniel Fahrenheit em 1724. Nesta escala, denominada **escala Fahrenheit**, ao ponto de fusão do gelo foi atribuído o valor 32°F e ao ponto de ebulição da água, o valor 212°F. O intervalo entre os dois pontos fixos fundamentais, nesta escala, é __________ .

****

180°F

6 ■ Na escala Fahrenheit de temperatura, o intervalo ou distância termométrica entre os dois pontos fixos fundamentais é dividido em ________ partes iguais. Cada parte é denominada de ________ . No item 15 da parte A, você estabeleceu a equação termométrica para esta escala. Esta equação é t_F = ______________________ .

****

180; 1°F; t_F = 180(V - 200,00) + 32

7 ■ Se o tubo descrito no quadro IV da pág. 207 indicasse um volume V = 200,50 mm^3, qual seria a leitura da temperatura em °C e °F?

****

t_C = 50°C; t_F = 122°F

8 ■ Observe que o volume $V = 200{,}50\ mm^3$ corresponde a (um; dois) estado(s) térmico(s). O valor numérico atribuído à temperatura deste estado térmico (depende; não depende) da escala termométrica.

****

um; depende

9 ■ Portanto, tanto 50°C como 122°F (correspondem; não correspondem) à temperatura de um mesmo estado térmico. Se a temperatura de um estado térmico fosse 50°F, por exemplo, qual seria a correspondente temperatura na escala Celsius? Vejamos como obter uma expressão matemática que nos permite fazer a conversão. Passe para o item seguinte.

****

correspondem

10 ■ Para o caso do quadro IV, vimos que a equação termométrica para a escala Celsius é $t_C = 100(V - 200{,}00)$ e para a escala Fahrenheit é $t_F = 180(V - 200{,}00) + 32$. Observe que, nestas duas equações, o termo comum é (________________). Tire o valor de $(V - 200{,}00)$ da 1ª equação e substitua na segunda. Desta forma teremos: t_F = ______________________, que é a equação que permite converter t_C graus Celsius no correspondente Fahrenheit.

****

$V - 200{,}00$; $\frac{180}{100} \cdot t_C + 32$ ou $t_F = \frac{9}{5} t_C + 32$

11 ■ Qual seria a equação que permite converter t_F graus Fahrenheit em graus Celsius? t_C = ________________.

****

$\frac{100}{180}(t_F - 32)$ ou $t_C = \frac{5}{9}(t_F - 32)$

12 ■ Volte agora ao item 10 e determine a temperatura Celsius que corresponde a $t_F = 50°F$.

****

$t_C = \frac{5}{9}(50 - 32) = 10°C$

13 ■ Se $t_F = 572°F$, a temperatura em °C será t_C = ____________.

****

300°C

14 ■ Se o termômetro graduado em escala Fahrenheit medir 0°F para um determinado estado térmico, quanto mediria um termômetro graduado em escala Celsius a temperatura deste mesmo estado térmico?

****

$t_C = \frac{5}{9}(0 - 32) \cong -17{,}8°C$

15 ■ Converta a temperatura de -40°C em graus Fahrenheit.

****

$t_F = \frac{9}{5}(-40) + 32 = -40°F$

16 ■ Uma outra escala existente, mas de pouco uso, é denominada de **escala Réaumur**. Seus valores para os correspondentes pontos fixos fundamentais são 0°R e 80°R. No item 16 da parte A foi estabelecida a equação termométrica para esta escala em relação ao volume do tubo de mercúrio mencionado no quadro IV. Tal equação é t_R = ________________ .

****

80(V - 200,00)

17 ■ Escreva uma equação que converta graus Réaumur em graus:

a) Celsius t_C = ____________________ .

b) Fahrenheit t_F = ____________________.

Proceda como no item 10.

****

$$t_C = \frac{100}{80} \cdot t_R \quad \text{ou} \quad t_C = \frac{5}{4}(t_R)$$

$$t_F = \frac{180}{80} \cdot t_R + 32 \quad \text{ou} \quad t_F = \frac{9}{4}(t_R) + 32$$

18 ■ Converter 40°R em graus Celsius e Fahrenheit.

****

t_C = 50°C; t_F = 122°F

19 ■ No meio científico utiliza-se a **escala de temperaturas absolutas** ou **escala Kelvin** de temperatura. Nesta escala, ao ponto de fusão do gelo é atribuído o valor 273 K e ao ponto de ebulição da água, o valor 373 K. Uma definição precisa desta escala será dada adiante. No Sistema Internacional de Unidades, a unidade padrão de medida de temperatura é 1 K. O intervalo entre os pontos fixos fundamentais, nesta escala, é dividido em ________ partes iguais. Cada parte é ________ .

****

100; 1 K

20 ■ Observe que tanto a escala Celsius como a Kelvin ou Absoluta apresentam 100 divisões iguais entre os dois pontos fixos. A única diferença é que à temperatura de fusão do gelo na escala Celsius é atribuído o valor ________ e na Kelvin, o valor ________ . Portanto, a escala Kelvin está deslocada, com relação à Celsius, de________ graus.

****

0°C; 273 K; 273

21 ■ No item 17 da parte A (pág. 210) foi estabelecida a equação termométrica nesta escala para o tubo de mercúrio mencionado no quadro IV. Tal equação é t_K = ________________________ .

****

t_K = 100(V - 200,00) + 273

22 ■ Escreva a equação de conversão de graus Celsius em K. Proceda como no item 10.

****

$t_K = t_C + 273$

23 ■ Para uma temperatura de 27°C, qual a correspondente na escala absoluta?

****

$t_K = 27 + 273 = 300$ K

24 ■ Para uma temperatura de 0 K, qual a temperatura Celsius correspondente?

****

$t_C = -273$°C

QUADRO V

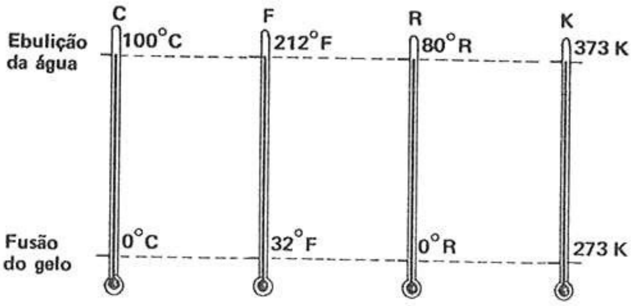


Fig. 1 – Ao lado temos 4 termômetros nas escalas de temperaturas já analisadas e as respectivas temperaturas dos dois pontos fixos fundamentais.

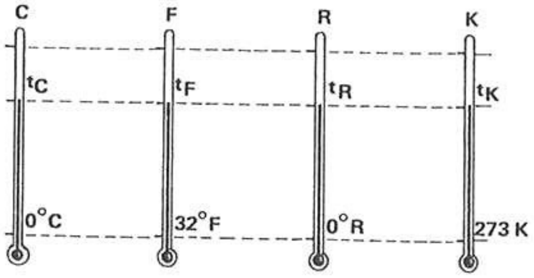


Fig. 2 – Os quatro termômetros acusam agora a temperatura de um mesmo estado térmico.

25 ■ Vamos utilizar do esquema do quadro V acima para desenvolvermos uma maneira prática de converter temperaturas de uma escala para a outra. Na figura 1 temos a temperatura dos dois pontos fixos fundamentais. Então, 0°C, 32°F, 0°R e 273 K (correspondem; não correspondem) às temperaturas de um mesmo estado térmico. O mesmo se pode dizer com relação a 100°C, 212°F, 80°R e 273 K. O intervalo de temperatura ou **distância termométrica** entre os dois pontos fixos, em cada escala, é respectivamente: ________ °C; ________ °F; ________ °R e ________ K.

****

correspondem; 100; 180; 80; 100

26 ■ Na figura 2, os termômetros (medem; não medem) a temperatura de um **mesmo estado térmico**. A distância termométrica ou o intervalo de temperatura entre o 1º ponto fixo e a temperatura do estado térmico é, respectivamente, $(t_C - 0)$°C; ____________ °F; ____________ °R e ____________ K.

****

medem; $(t_F - 32)$; $(t_R - 0)$; $(t_K - 273)$

27 ■ Como os termômetros medem a temperatura de um mesmo estado térmico, existe uma relação constante entre o intervalo de temperatura deste estado térmico com o intervalo de temperatura dos dois pontos fixos. Assim,

$$\frac{t_C - 0}{100} = \frac{t_F - 32}{180} = \_\_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_\_$$

★★★★★★★★★★★★

$\frac{t_R - 0}{80}$; $\frac{t_K - 273}{100}$

28 ■ Destas relações, se considerarmos duas a duas, teremos as equações de conversões respectivas. Por exemplo, $\frac{t_F - 32}{180} = \frac{t_K - 273}{100}$. Destas duas, teremos t_K = __________.

★★★★★★★★★★★★

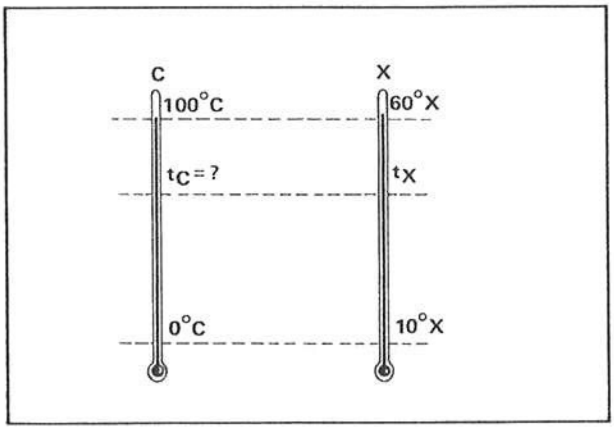
$\frac{5}{9}(t_F - 32) + 273$

29 ■ Escreva a equação de conversão entre graus Réaumur e graus Kelvin. t_R = __________.

★★★★★★★★★★★★

$t_R = \frac{4}{5}(t_K - 273)$

30 ■ Este tipo de raciocínio pode ser utilizado para converter uma escala hipotética qualquer. Por exemplo, admitamos que construímos um termômetro atribuindo o valor 10°X para o ponto de fusão do gelo e 60°X para o ponto de ebulição da água. Qual é a temperatura, em graus Celsius, quando este termômetro marcar 20°X? A figura ao lado compara as duas escalas. A relação entre as distâncias termométricas é:



$\frac{t_C - 0}{100}$ = ______

★★★★★★★★★★★★

$\frac{t_X - 10}{60 - 10} = \frac{t_X - 10}{50}$

31 ■ Portanto, a equação de conversão é t_C = ________ ; logo para t_X = 20°X, t_C = ______.

★★★★★★★★★★★★

$t_C = 2(t_X - 10)$; 20°C

32 ■ Suponha a seguinte questão: um termômetro calibrado na escala Celsius após certo tempo de uso apresenta um deslocamento nos pontos fixos; ao ser posto em equilíbrio térmico com água + gelo acusa 2°C e ao ser posto em equilíbrio térmico com os vapores da água em ebulição acusa 98°C. Qual é a temperatura real na escala Celsius quando este termômetro acusar 26°C?

★★★★★★★★★★★★

$\frac{t_C - 0}{100} = \frac{t'_C - 2}{96}$ (observe que o termômetro defeituoso está agora graduado numa escala diferente da escala Celsius).

$t_C = \frac{100\,(26 - 2)}{96} = 25°C$ ∴ a temperatura real na escala Celsius deve ser de 25°C

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ A grandeza termométrica utilizada para definir as escalas de temperatura da seção que você acaba de estudar foi (o comprimento; o volume; a pressão).

2 ■ Admitiu-se que entre a grandeza termométrica e as temperaturas exista uma relação matemática chamada ______________________________.

3 ■ Para a definição das escalas de temperatura Celsius, Fahrenheit e Réaumur utilizou-se de dois pontos fixos que correspondem a duas situações físicas distintas. Quais são elas?

4 ■ Nas escalas Celsius, Fahrenheit, Réaumur e Kelvin quais os valores que foram atribuídos ao equilíbrio térmico com gelo + água? E ao equilíbrio térmico entre o recipiente contendo mercúrio e os vapores de água em ebulição?

5 ■ Quando se constroem termômetros nas escalas Celsius, Réaumur, Fahrenheit e Kelvin, em quantas partes iguais são divididos os intervalos existentes entre os pontos fixos em cada caso? .

6 ■ A Equação Termométrica depende da imposição dos valores que é feita para os chamados pontos fixos?

7 ■ É possível converter a temperatura numa escala termométrica conhecida numa outra igualmente conhecida?

8 ■ Quais são as relações de conversão dos valores de temperatura nas três escalas definidas nesta seção?

9 ■ É possível utilizar-se de um termômetro, cujos pontos fixos foram deslocados, para se medir temperaturas? O que é necessário saber?

10 ■ Os termômetros clínicos que os médicos utilizam para tomar a temperatura de um paciente podem ser utilizados para verificar as temperaturas do ponto fixo inferior (gelo + água) e do ponto fixo superior (vapor da água em ebulição)?

Após isso, você deve estar apto para:

a. elaborar uma escala de temperatura.
b. estabelecer e utilizar uma equação termométrica.
c. definir termômetros.
d. definir escalas de temperatura, em particular as Celsius, Fahrenheit, Réaumur e Kelvin.
e. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ A equação $t = 100\,(V - 200{,}00)$, nos permite calcular qual a temperatura, quando soubermos o volume. Quando o volume for de $199{,}80\ cm^3$, qual é a temperatura correspondente?

2 ■ Uma barra de metal tem comprimento 100,00 cm quando colocada numa mistura de água e gelo. Seu comprimento é 100,01 cm quando colocada em presença de vapor de água em ebulição. Estabeleça as equações termométricas para este caso:
a) na escala Celsius;
b) na escala Fahrenheit.

3 ■ Com relação ao problema do item anterior, qual o tamanho da barra quando $t = 20°C$?

4 ■ Uma pessoa, em estado normal, apresenta a temperatura de 36,6°C aproximadamente. Exprima estes valores em graus Fahrenheit e Réaumur.

5 ■ Como você classificaria a temperatura de um dia em que um termômetro acusasse 68°F, utilizando-se das noções que temos dos termos: quente, frio e agradável ou normal?

6 ■ Em que temperatura as escalas Celsius e Fahrenheit têm o mesmo valor?

7 ■ Construa uma escala de temperaturas com as seguintes características: ao ponto fixo inferior atribua o valor 20°X e ao ponto fixo superior atribua o valor 420°X. Com um termômetro graduado nesta escala você verifica que a temperatura de um corpo vale 120°X. Converta este valor em graus Celsius, Fahrenheit e Réaumur.

8 ■ Após ser utilizado durante certo tempo, um termômetro graduado na escala Celsius teve seus pontos fixos deslocados: ao ponto de gelo + água passou a registrar -5°C e ao ponto fixo superior (equilíbrio térmico com os vapores d'água), passou a acusar 105°C. Ao ser utilizado para determinar a temperatura de um corpo este termômetro registrou 22,5°C. Qual é o valor real da temperatura na escala Celsius?

9 ■ Converta 720°R em graus Celsius e Fahrenheit.

10 ■ Converta 140°F em graus Celsius e Réaumur.

RESPOSTAS

1 ■ t = -20°C

2 ■ a) $t = 100 \times 10^2(L - 100{,}00)$

b) $t = 180 \times 10^2(L - 100{,}00) + 32$

3 ■ L = 100,002 cm

4 ■ t = 97,9°F; t = 29,3°R

5 ■ agradável ou normal

6 ■ t = -40°C ou -40°F

7 ■ t = 25°C; t = 77°F; t = 80°R

8 ■ t = 25°C

9 ■ t = 900°C; t = 1652°F

10 ■ t = 60°C; t = 48°R

SEÇÃO 3 — COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS SÓLIDOS E LÍQUIDOS

A — DILATAÇÃO LINEAR E COEFICIENTE DE DILATAÇÃO LINEAR

O efeito mais comum que uma variação de temperatura de um corpo acarreta é a variação das dimensões desse corpo. Quando uma tampa metálica de um frasco de vidro está firmemente presa ao mesmo de tal modo que a sua remoção é dificultosa, costuma-se colocar esse frasco em um líquido quente. Assim, o vidro e a tampa se dilatam; como porém a dilatação da tampa metálica é maior que a dilatação do vidro, ela pode ser removida. Os trilhos das estradas de ferro são colocados com um pequeno afastamento entre si para impedir que suas dilatações os entortem num dia mais quente, ou devido ao aquecimento dos mesmos pelo efeito do atrito através da passagem de uma composição ferroviária sobre eles.

Analisaremos, nesta seção, o efeito da variação de temperatura no comprimento de um objeto, bem como uma relação entre ambos.

1 ■ A variação nas dimensões de um corpo é efeito da variação de ____________________. O aumento da temperatura, com raras excessões, acarreta aumento nas dimensões do corpo. Ao contrário, a diminuição da temperatura (acarreta; não acarreta) contração ou diminuição nas dimensões do corpo.

****

temperatura; acarreta

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 2 a 5.

QUADRO VI

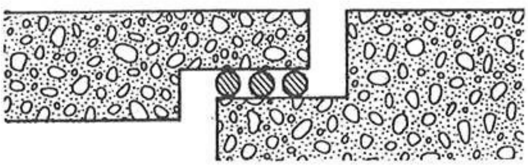


Fig. 1 — A figura mostra a junção de duas porções de uma ponte.

Fig. 2 – A fig. (a) mostra uma roda de carroça sem a parte metálica exterior. Aquece-se a cinta metálica – fig. (b). A cinta é colocada na roda e ao esfriar fixa-se solidamente na mesma – fig. (c).

2 ■ As pontes, em geral, têm emendas suportadas por roletes para evitar que a ____________________ cause danos em sua estrutura.

****

dilatação

3 ■ Fig. 2. Nesta figura, a parte que foi aquecida foi (a roda; a cinta; a roda e a cinta).

****

a cinta

4 ■ Fig. 2. Quando a cinta é aquecida, ela (dilata-se; contrai-se; permanece inalterada). Depois de encaixada na roda e resfriada, a cinta (dila-se; contrai-se; permanece inalterada).

****

dilata-se; contrai-se

5 ■ As substâncias, de um modo geral, ao serem aquecidas ____________________ e ao serem resfriadas ____________________ .

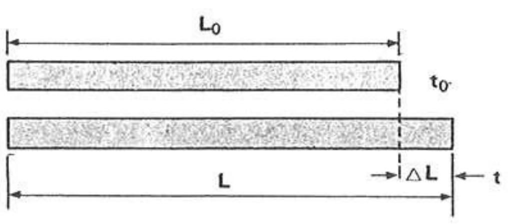
****

dilatam-se; contraem-se

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 6 a 14.

QUADRO VII

A figura ao lado mostra duas configurações de uma mesma barra em temperaturas diferentes. Seus comprimentos são L_0 e L, respectivamente nas temperaturas t_0°C e t°C. Ao ser aquecida a barra sofre uma dilatação $\Delta L = L - L_0$, pois passa da temperatura t_0°C para t°C sofrendo uma variação de temperatura $\Delta t = t - t_0$.



6 ■ Para estudarmos como as dimensões de um corpo variam, precisamos medir essas dimensões em temperaturas diferentes. Estudaremos inicialmente através de uma experiência simples, utilizando-nos de uma barra onde a dimensão crítica é o seu comprimento.
No Quadro VII está esquematizada a variação de (uma barra; duas barras).

****

uma barra

7 ■ À temperatura de t_0°C, o comprimento da barra é __________, enquanto que ela tem o comprimento L na temperatura __________.

****

L_0; t°C

8 ■ A barra sofreu uma variação de comprimento $\Delta L = L - L_0$ quando passou da temperatura t_0°C para __________. Essa variação de comprimento (seria; não seria) a mesma para duas situações em que a barra tivesse 10 cm e 10 m.

****

t°C; não seria

9 ■ A variação de comprimento de uma barra, portanto, (depende; não depende) do seu comprimento inicial. Se houvessemos resfriado a barra (colocando-a sobre uma barra de gelo, por exemplo) seu comprimento deveria (aumentar; diminuir; permanecer inalterado).

****

depende; diminuir

10 ■ ΔL é tanto maior quanto (maior; menor) for L_0, ou seja, ΔL é (proporcional; inversamente proporcional) a L_0.

****

maior; proporcional

11 ■ A variação de comprimento ΔL (seria; não seria) a mesma se a variação de temperatura fosse diferente, por exemplo, 5°C e 50°C.

****

não seria

12 ■ Isso significa que a variação de comprimento de uma barra (depende; não depende) da variação de temperatura Δt.

****

depende

13 ■ Verifica-se experimentalmente que a variação de comprimento ΔL de uma barra é sensivelmente proporcional à variação de temperatura. Ou seja, quanto maior for Δt, __________(complete).

****

maior será ΔL

14 ■ Do que já foi visto, pode-se concluir que a variação do comprimento de uma barra depende do seu __________ e da variação de sua __________.

****

comprimento inicial; temperatura

15 ■ Estudando-se várias barras, de mesmo comprimento inicial e submetidas às mesmas variações de temperatura, porém constituídas de materiais diferentes (cobre, alumínio, ferro, aço, latão, zinco) constata-se que elas apresentam variações de comprimento diferentes. Isso significa que $L - L_0$ (depende; não depende) do material de que é feito a barra.

****

depende

16 ■ Em resumo, ΔL depende do comprimento __________ da barra, da sua __________ de temperatura e da natureza __________.

****

inicial; variação; do material que constitui a barra

17 ■ Os resultados obtidos anteriormente podem ser traduzidos através de uma relação matemática: $\Delta L = \alpha L_0 \cdot \Delta t$ Nesta relação, $\Delta L = L - L_0$; L_0 representa o __________; L representa o comprimento da barra na temperatura t; Δt = __________ representa a variação de temperatura; e finalmente, α é uma constante que caracteriza o material que constitui a barra e representa uma de suas propriedades físicas.

****

comprimento inicial da barra à temperatura t_0; $t - t_0$

18 ■ Uma barra de aço de 5,0000 m, quando submetida a uma variação de temperatura de 100°C sofre uma variação de comprimento de 6,0 mm. Se a barra tiver 10,0000 m, a variação será de __________ mm.

****

12,0

19 ■ Se a mesma barra de aço com 5,0000 m for submetida a uma variação de 200°C a variação de comprimento será __________ mm.

****

12,0

20 ■ O alumínio dilata-se duas vezes mais que o aço, ou seja podemos dizer que $\alpha_{Al} = 2 \cdot \alpha_{aço}$; então uma barra de alumínio com 5,0000 m submetida a uma variação de 50°C sofre uma dilatação de __________ mm. α é chamado de **coeficiente de dilatação linear** do material.

****

12,0

21 ■ $\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$. Desta relação, podemos isolar α, isto é, α = __________

****

$$\frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta t}$$

22 ■ Através da relação $\alpha = \dfrac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta t}$, podemos determinar a unidade de medida de α, ou seja:

$$(\text{unidade de } \alpha) = \frac{\text{unidade de } \Delta L}{(\text{unid. de } L_0) \cdot (\text{unid. de } \Delta t)} = \frac{\text{metro}}{\_\_\_\_ \cdot \_\_\_\_}$$

****

metro; °C

23 ■ Logo, (unidade de α) = $\frac{1}{°C}$ ou, (unidade de α) = $°C^{-1}$. Se, em lugar de metros, utilizarmos centímetros para medir comprimentos a unidade de α (será; não será) a mesma.

****

será

24 ■ $\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$. Se quisermos saber qual o comprimento que terá uma determinada barra numa dada temperatura, devemos desmembrar ΔL em $L - L_0$ e Δt em ____________________.

****

$t - t_0$

25 ■ $L - L_0 = \alpha L_0(t - t_0)$. Isolando-se L, teremos: L = ____________________.

****

$L_0 + L_0\alpha(t - t_0)$

26 ■ $L = L_0 + L_0\alpha(t - t_0)$. Colocando-se L_0 em evidência no 2º membro, L = L_0(____________________).

****

$1 + \alpha(t - t_0)$

27 ■ $L = L_0[1 + \alpha(t - t_0)]$. Esta expressão nos permite determinar o comprimento final de uma barra L, quando conhecemos seu comprimento inicial L_0, seu ____________________, e, finalmente, suas temperaturas inicial e ____________________.

****

coeficiente de dilatação linear; final

28 ■ $L = L_0(1 + \alpha\Delta t)$. Dados: $L_0 = 5{,}0000$ m; $\alpha = 24 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$ (coeficiente de dilatação linear do alumínio); $t_0 = 110°C$ e $t = 10°C$. Determine o comprimento final da barra.

****

$L = L_0(1 + \alpha \cdot \Delta t)$. Como $L_0 = 5{,}0000$ m; $t_0 = 110°C$ e $t = 10°C$ temos que $\Delta t = -100°$ (houve um resfriamento da barra).

$L = L_0(1 + \alpha\Delta t) = 5{,}0000\,(1 + 24 \times 10^{-6}(10 - 110) = 5{,}0000\,(1 - 24 \times 10^{-6} \cdot 10^2)$

$L = 5{,}000\,(1 - 24 \times 10^{-4}) = 4{,}9880$ m

A tabela abaixo apresenta alguns coeficientes médios de dilatação linear.

QUADRO VII

Substância	*Coeficiente de dilatação linear (α)*	*Substância*	*Coeficiente de dilatação linear (α)*
Alumínio	$24 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$	Prata	$19 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$
Cobre	$17 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$	Tungstênio	$4{,}6 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$
Zinco	$26 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$	Vidro comum	$7{,}0 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$
Aço	$12 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$	Mercúrio	$41 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$
Chumbo	$29 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$	Vidro Pirex	$3{,}2 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$
Latão	$18 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$	Invar (liga de ferro e níquel)	$0{,}7 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$
Níquel	$13 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$	Gelo	$51 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$
Ouro	$14 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$	Platina	$9 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$

29 ■ Uma barra de latão de 10,0000 m está com 20°C. Qual será o seu comprimento a 120°C? Pela tabela, $\alpha_{latão}$ = ______________, logo L = ______________.

****

18×10^{-6} °C^{-1}; 10,0180 m

30 ■ Uma barra de aço tem comprimento de 2,0000 m a 20°C. Aquece-se essa barra e seu comprimento passa a ser 2,0012 m. Qual a temperatura atingida? Temos: $\alpha_{aço}$ = ______________ (tabela); L = ______________ ; L_0 = ______________ e t_0 = ______________. Logo, substituindo na expressão e resolvendo, teremos t = ______________.

****

12×10^{-6} °C^{-1}; 2,0012 m; 2,0000 m; 20°C; t = 70°C

31 ■ Tem-se duas barras, uma de alumínio e a outra de cobre, ambas de mesmo comprimento a uma determinada temperatura. Aquecidas, a barra de (cobre; alumínio) apresentará maior variação de comprimento porque apresenta ______________ (complete).

****

alumínio; coeficiente de dilatação linear maior

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você mesmo verifique a sua fluência do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

1 ■ Normalmente, uma substância sólida ao ser aquecida (contrai-se; dilata-se; permanece inalterada).

2 ■ Por que os trilhos das estradas de ferro são colocados com uma pequena folga um do outro?

3 ■ Duas barras de mesmo comprimento a uma determinada temperatura, uma de aço e outra de níquel, são aquecidas até atingirem uma mesma temperatura. Qual das duas barras sofrerá um aumento de comprimento maior? (Sugestão: verifique a tabela constante no quadro VII).

4 ■ Como seria o gráfico do comprimento de uma barra em função da sua temperatura?

5 ■ O coeficiente de dilatação linear depende da unidade de comprimento utilizada?

6 ■ Expresse matematicamente a relação entre o comprimento final, de uma barra, com o inicial e as respectivas variações de temperaturas.

7 ■ Qual a unidade que utilizamos para o coeficiente de dilatação linear?

8 ■ O que é coeficiente de dilatação linear?

Após isso, você deve estar apto para:

a. definir dilatação linear.
b. definir coeficiente de dilatação linear.
c. calcular o aumento ou diminuição de comprimento de uma barra quando esta sofrer uma variação de temperatura.
d. determinar o coeficiente de dilatação linear de substâncias, conhecendo-se seu comprimento inicial e final e as correspondentes variações de temperatura.
e. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ▪ Uma barra de níquel tem comprimento 8,0000 m à temperatura de 30°C. Qual será seu comprimento a 330°C?

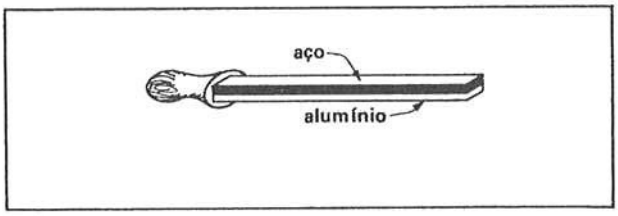
2 ▪ Qual será a variação de comprimento sofrida por um fio de chumbo de 100,0000 m quando passa da temperatura de 10°C para 60°C?

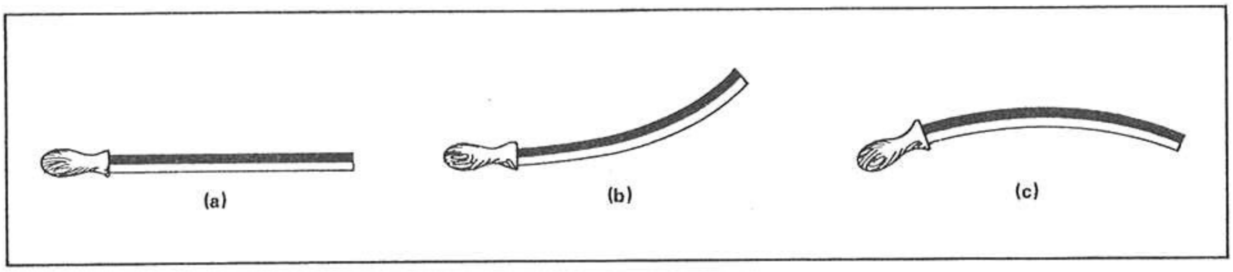
3 ▪ O comprimento de um bastão de vidro comum a 80°C é 10,0000 cm. Qual será seu comprimento a 10°C?

4 ▪ Um fio de platina tem 20,0000 m de comprimento a 0°C. Qual será seu comprimento a 392°F?

5 ▪ Uma barra de aço tem comprimento de 2,0000 m a 0°C e uma de alumínio tem 1,9900 m na mesma temperatura. Aquece-se ambas até que as duas tenham o mesmo comprimento. Qual a temperatura para que isso ocorra?

6 ▪ A figura ao lado mostra o que chamamos de par bimetálico: duas lâminas de mesmo comprimento a uma determinada temperatura são soldadas rigidamente uma à outra. Sendo aquecidas, qual das figuras melhor representa o fenômeno: As lâminas são uma de alumínio e a outra de aço.



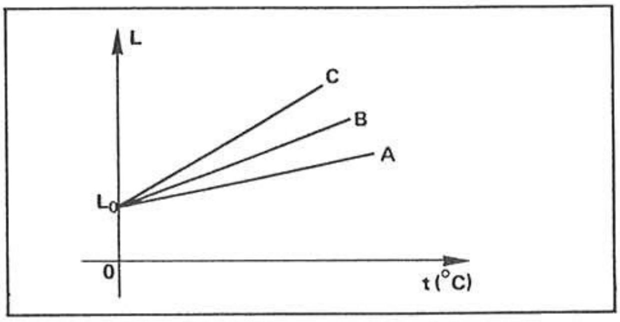


7 ▪ Uma barra de determinada substância é aquecida passando de 20°C para 220°C. Seu comprimento à temperatura de 20° é de 5,0000 cm e à temperatura de 220° é de 5,0020 cm. Determine seu coeficiente de dilatação linear.

8 ▪ Calcular o comprimento de uma barra a 10°C, sabendo-se que seu comprimento a 0°C vale 50,0000 cm. O coeficiente de dilatação linear do material vale $2{,}0 \times 10^{-5}$ $(°C)^{-1}$.

9 ▪ Coloca-se no interior de um forno uma barra de 4,414 m que se encontra inicialmente a 0°C e o seu comprimento passa a ter 4,432 m. Determine a temperatura do forno sabendo-se que o coeficiente de dilatação linear da barra vale $1{,}2 \times 10^{-5}$ $°C^{-1}$.

10 ▪ O gráfico ao lado ilustra 3 barras metálicas de materiais diferentes e que se encontram inicialmente a 0°C e nesta temperatura seus comprimentos são iguais. Ao serem aquecidas, observamos que seus comprimentos variam. Qual das 3 barras possui maior coeficiente de dilatação linear?



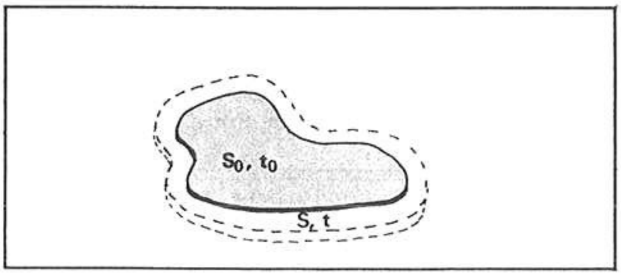
RESPOSTAS

1 ▪ $L \cong 8{,}031$ m
2 ▪ $\Delta L = 0{,}145$ m
3 ▪ $L = 9{,}9951$ cm
4 ▪ $L = 20{,}036$ m
5 ▪ $t = 421°C$ aprox.
6 ▪ (b)
7 ▪ $\alpha = 2{,}0 \times 10^{-6}$ $°C^{-1}$
8 ▪ $L = 50{,}01$ cm
9 ▪ $t \cong 340°C$
10 ▪ C

B — DILATAÇÃO SUPERFICIAL E DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA

Na seção anterior tratamos da dilatação linear, ou seja, apenas nos preocupamos com uma dimensão do material em estudo: seu comprimento. Isto é possível quando tratamos de objetos tais como fios ou barras, nos quais as variações de dimensões que não o comprimento são desprezíveis. Assim, quando estudamos um fio de cobre que sofre uma variação de temperatura, geralmente, nossa atenção se concentra na variação de comprimento, negligenciando desta forma a variação de espessura que é muito pequena, a não ser evidentemente que se produzam grandes variações de temperaturas. Já ao estudarmos uma chapa metálica (o teto de um veículo, por exemplo) estamos mais preocupados com as variações de sua área, uma vez que a espessura das mesmas pode ser desprezada (uma chapa normal pode ter comprimento de 1 m de largura por 2 de comprimento e espessuras variáveis, mas é normal situar-se entre 1 a 3 mm). Já com os sólidos de formas variadas, como é o caso de uma esfera, não nos interessa apenas sua área; estaremos interessados na variação de seu volume. Nesta seção nos preocuparemos com as variações de áreas e volumes que ocorrem com as substâncias quando estas sofrem uma variação de temperatura.

1 ■ Consideremos uma placa metálica S_0 à temperatura inicial t_0. Ao ser aquecida, a área da placa (aumenta; diminui; permanece constante). A temperatura final da placa é t.



****

aumenta

2 ■ Sendo S a superfície da placa do item 1, à temperatura t, podemos dizer que a variação da área foi de $\Delta S = S - S_0$, enquanto que a variação de temperatura foi $\Delta t =$ ________________________.

****

$t - t_0$

3 ■ $\Delta S = S - S_0$ e $\Delta t = t - t_0$. Podemos definir o coeficiente de dilatação superficial, chamado de β, da mesma forma que definimos o coeficiente de dilatação linear de uma substância, ou seja:

$$\beta = \frac{\Delta S}{S_0 \Delta t} \quad \text{ou seja } \Delta S = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ .$$

****

$\beta S_0 \Delta t$

4 ■ $\Delta S = \beta S_0 \Delta t$. Como $\Delta S = S - S_0$, podemos escrever a área final como: $S =$ ____________________.

****

$S_0 + S_0 \beta \Delta t$

5 ■ $S = S_0 + S_0 \beta \Delta t$. Colocando S_0 em evidência, obtemos finalmente a expressão que liga a área final de uma placa, com a área inicial S_0, o coeficiente de dilatação superficial β e a variação de temperatura Δt, ou seja:

$$S = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ .$$

****

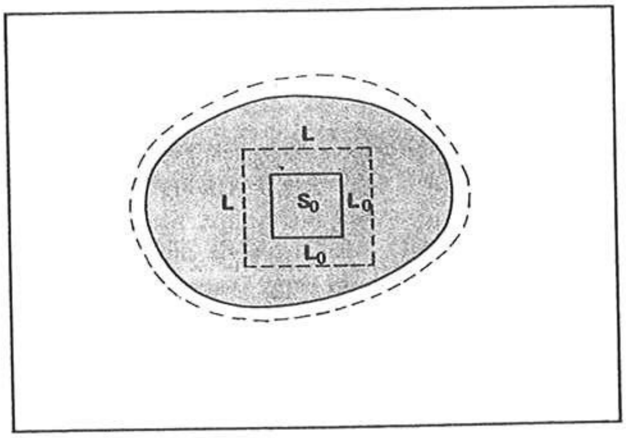
$S_0(1 + \beta \Delta t)$

6 ■ $S = S_0(1 + \beta \Delta t)$. Esta expressão (é; não é) semelhante à já calculada para a dilatação linear. O termo β é chamado de ______________________________.

****

é; coeficiente de dilatação superficial

7 ■ Vamos determinar a relação existente entre o coeficiente de dilatação linear α e o coeficiente de dilatação superficial β. Considere a placa indicada na figura ao lado e à temperatura t_0. Ao ser aquecida até atingir a temperatura t sua área ____________ ________________. Vamos destacar um pequeno quadrado da placa ao lado. À temperatura t_0, sua área vale $S_0 = L_0^2$. Quando a placa é aquecida, sua área varia e a do pequeno quadrado também. Sua área à temperatura t vale S = ________________.



****

aumentará; L^2

8 ■ Sendo L o comprimento final do quadro à temperatura t, podemos exprimí-lo em termos de dilatação linear, ou seja, chamando de α o coeficiente de dilatação linear da placa: L = ________________.

****

$L_0(1 + \alpha\Delta t)$

9 ■ $L = L_0(1 + \alpha\Delta t)$. Como $S_0 = L_0^2$ e $S = L^2$, podemos elevar a relação $L = L_0(1 + \alpha\Delta t)$ ao quadrado: ou seja: L^2 = ________________.

****

$L_0^2(1 + \alpha\Delta t)^2$

10 ■ $L^2 = L_0^2(1 + \alpha\Delta t)^2$. Vamos desenvolver o termo $(1 + \alpha\Delta t)^2$, ou seja: $(1 + \alpha\Delta t)^2$ = ________________.

****

$1 + 2\alpha\Delta t + \alpha^2\Delta t^2$

11 ■ $L^2 = L_0^2(1 + 2\alpha\Delta t + \alpha^2\Delta t^2)$. Como α é pequeno, cerca de 10^{-6} $(°C)^{-1}$, α^2 é pequeníssimo ou seja é quase nulo; desta forma (podemos; não podemos) desprezar o termo $\alpha^2\Delta t^2$ na expressão acima.

****

podemos

12 ■ Desta forma, podemos escrever: $L^2 = L_0^2(1 + 2\alpha\Delta t)$ (1) e a expressão para a dilatação superficial: $S = S_0(1 + \beta\Delta t)$ (2). Comparando a expressão (1) e (2), podemos concluir que:

β = ________________.

****

$2 \cdot \alpha$

13 ■ $\beta = 2 \cdot \alpha$. Desta forma, podemos substituir o coeficiente de dilatação superficial de uma substância pelo coeficiente de ________________ da mesma substância, ou seja:

S = ________________ (em termos de S_0, α e Δt).

****

dilatação linear; $S_0(1 + 2\alpha\Delta t)$

14 ■ Uma chapa de aço de 500 cm^2 é levada da temperatura de 10°C até atingir a temperatura de 60°C. Qual é sua área nesta temperatura? S = ________________.

****

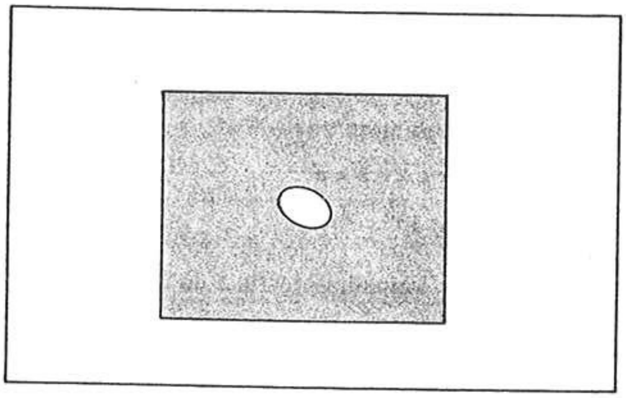
$S = S_0(1 + 2\alpha\Delta t)$. Como $\alpha_{aço} = 12 \times 10^{-6}\ °C^{-1} = 500(1 + 2 \cdot 12 \times 10^{-6} \cdot 50) = 500{,}6\ cm^2$

15 ■ Um disco de alumínio de raio 10 cm encontra-se inicialmente à temperatura de 20°C. É aquecido até atingir a temperatura de 270°C. Determine a variação de área do referido disco. ΔS = ______________________ .

****

A área de um disco é dada pela expressão πR^2, logo $S_0 = \pi R_0^2$ ou $S_0 = 3{,}14 \times 10^2 = 314\ cm^2$. Desta forma: $S = S_0(1 + 2 \cdot \alpha_{Al} \cdot \Delta t) \cong 318\ cm^2$; donde $\Delta S \cong 4\ cm^2$

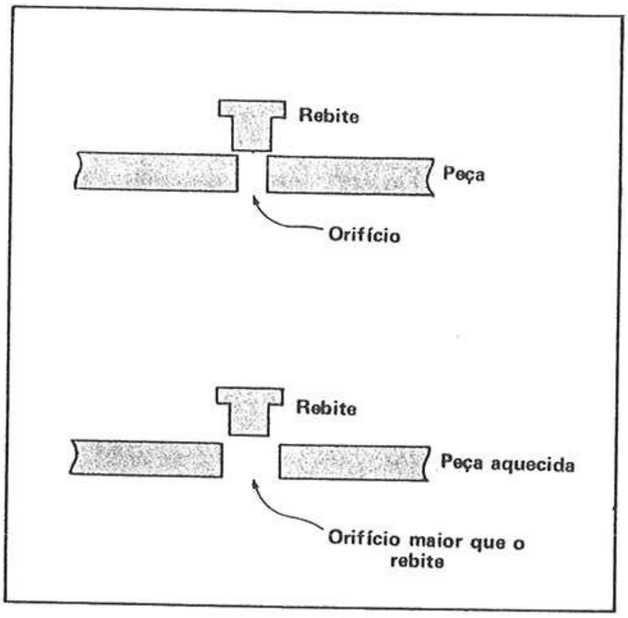
16 ■ Uma aplicação interessante da dilatação superficial é o fato que quando numa chapa existir um orifício, a dilatação superficial ocorrerá como se o orifício não existisse, ou seja, como se nele houvesse o mesmo material existente no resto da chapa. Desta forma, ao aquecermos uma chapa em que existe um orifício (podemos; não podemos) prever as novas dimensões do mesmo se conhecermos o material de que é feito a chapa, a variação de temperatura e a área do orifício à temperatura inicial.



****

podemos

17 ■ Uma aplicação industrial interessante do fenômeno descrito no item 16 é a que é freqüentemente utilizada quando se quer rebitar peças que não podem ser soldadas. Descreveremos uma das técnicas utilizadas. Quer se introduzir um pino (rebite) num orifício. À temperatura ambiente, o diâmetro do pino é maior que o do orifício. Aquece-se o orifício (ou congela-se o pino) até que ele possa penetrar no orifício. Desta forma, quando a temperatura voltar ao normal ele ficará rigidamente preso ao orifício. Este fato ilustra o fenômeno já descrito segundo o qual o orifício numa chapa dilata-se da mesma forma que o material de que a mesma é feita (sim; não).



****

sim

18 ■ Vamos considerar agora a dilatação volumétrica. Nesta caso (deveremos; não deveremos) considerar as três dimensões do objeto.

****

deveremos

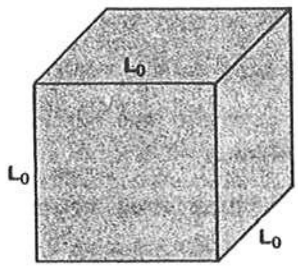
19 ■ Na dilatação linear, preocupavamo-nos com o ______________________ do objeto; na dilatação superficial, nossa preocupação foi com a ______________ , e com a dilatação volumétrica, conforme o próprio nome indica estaremos interessados na variação de ______________ de um objeto quando sua temperatura varia.

****

comprimento; área; volume

20 ■ Afim de estudarmos a dilatação volumétrica de um objeto qualquer, vamos supo-lo dividido ou formado por uma quantidade enorme de pequenos cubos de arestas L_0, à temperatura inicial t_0. Ao ser aquecido, o corpo sofrerá variação de volume, o mesmo ocorrendo com esses cubos elementares. Chamando de γ o coeficiente de dilatação volumétrica do objeto, podemos, por analogia com a dilatação linear e superficial, escrever:

V = ______________ (em função de V_0, γ, e Δt).



****

$V_0(1 + \gamma \Delta t)$

21 ■ $V = V_0(1 + \gamma \Delta t)$. Esta fórmula nos mostra a dependência do volume de uma substância com γ e a temperatura. Vamos determinar a relação entre γ e α. Como $V_0 = L_0^3$ e V = ______________. Podemos substituir estes valores na expressão: $V = V_0(1 + \gamma \Delta)$; ou seja:

L^3 = ______________________.

****

L^3; $L_0^3(1 + \gamma \Delta t)$

22 ■ $L^3 = L_0^3(1 + \gamma \Delta t)$. Como $L = L_0(1 + \alpha \Delta t)$, podemos escrever:

$L_0^3(1 + \alpha \Delta t)^3$ = ______________________.

****

$L_0^3(1 + \gamma \Delta t)$

23 ■ $L_0^3(1 + \alpha \Delta t)^3 = L_0^3(1 + \gamma \Delta t)$. Cancelando o termo comum L_0^3, vem: $(1 + \alpha \Delta t)^3 = (1 + \gamma \Delta t)$. Desenvolvendo o termo à direita, temos:

$1 + 3\alpha \Delta t + 3\alpha^2 \Delta t^2 + \alpha^3 \Delta t^3$ = ______________________.

****

$1 + \gamma \Delta t$

24 ■ Comos os termos $3\alpha^2 \Delta t^2$ e $\alpha^3 \Delta t^3$ são praticamente desprezíveis, devido ao fato de α ser (grande; pequeno), podemos finalmente escrever: γ = ______________.

****

pequeno; $3 \cdot \alpha$

25 ■ $\gamma = 3 \cdot \alpha$. Desta forma, podemos escrever a expressão anteriormente escrita $V = V_0(1 + \gamma \Delta t)$ como: V = ______________________ (em função de V_0, α e Δt).

****

$V_0(1 + 3\alpha \Delta t)$

26 ■ Uma esfera apresenta a 0°C o volume de 100 cm^3. Que volume passará a ocupar, quando a temperatura for de 500°C?

Considere a esfera de aço: V = ______________________

****

$V = V_0(1 + 3\alpha \Delta t) = V = 100(1 + 3 \times 12 \times 10^{-6} \times 500) = 101{,}8\ cm^3$

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Qual é a relação entre o coeficiente de dilatação superficial e o coeficiente de dilatação linear?

2 ■ Qual é a relação entre o coeficiente de dilatação volumétrica e o coeficiente de dilatação linear?

3 ■ Exprima a expressão que relaciona a área em função da temperatura e o coeficiente de dilatação linear. Idem para volume.

4 ■ Quando uma chapa possui um orifício e ela é resfriada, o que acontece com o orifício?

5 ■ Por que quando deduzimos as fórmulas para dilatação superficial e volumétrica os termos que possuem α com expoente maior que 1 foram desprezados?

6 ■ Um pino de aço é colocado em um orifício de uma chapa de cobre. Que efeito se observa na folga entre o pino e a chapa nos seguintes casos:
a) apenas o pino é aquecido;
b) apenas a chapa é aquecida;
c) ambos são igualmente aquecidos.
Sugestão: Consulte a tabela do quadro VII

7 ■ Por que quando estudamos o comportamento de uma chapa sendo aquecida não consideramos sua espessura?

Após isso, você deve estar apto para:
a. definir dilatação superficial.
b. definir coeficiente de dilatação superficial.
c. definir dilatação volumétrica.
d. definir coeficiente de dilatação volumétrica.
e. estabelecer as relações entre os coeficientes.
f. estabelecer as relações entre áreas, temperaturas e coeficientes de dilatação.
g. estabelecer as relações entre volumes, temperaturas e coeficientes de dilatação.
h. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Na fabricação de lâmpadas e válvulas há necessidade de soldar filamentos metálicos ao vidro. Nas condições normais de funcionamento, as lâmpadas e válvulas trabalham com temperaturas elevadas. Qualquer metal pode ser utilizado como filamento? Por quê?

2 ■ Se o vidro de que é feito um termômetro de mercúrio tiver o mesmo coeficiente de dilatação cúbica que o mercúrio, pode-se dizer o quê?

3 ■ Qual a relação entre γ e β?

4 ■ A que temperatura devemos aquecer uma chapa de aço de 200 cm^2 que se encontra a 0°C de forma que ela atinja a área de 202,4 cm^2?

5 ■ Tem-se um disco de cobre de raio 10 cm, à temperatura de 100°C. Qual será a área do disco à temperatura de 0°C?

6 ■ Qual o volume de uma esfera de 10 cm de raio a 0°C quando sua temperatura for de 100°C? Considere o aço o material de que é feita a esfera.

7 ■ Tem-se uma esfera de aço de raio 10,05 cm e um aro de alumínio de raio 10 cm. A que temperatura devemos aquecer o conjunto para que a esfera penetre no orifício? Temperatura inicial igual a 25°C.

8 ■ A 10°C um líquido ocupa o volume de 60 cm^3 e, a 50°C seu volume é de 70 cm^3. Determine o coeficiente de dilatação volumétrica do líquido.

9 ■ Tem-se uma panela de alumínio inteiramente cheia d'água à temperatura ambiente. O que acontecerá se aquecermos o conjunto? Sabe-se que $\alpha_{Al} > \alpha_{água}$.

10 ■ O coeficiente de dilatação cúbica do mercúrio é $1/550\ °C^{-1}$. Variando a temperatura de $10\ cm^3$ de mercúrio de 100°C, de quanto variará seu volume?

RESPOSTAS

1 ■ Não. Devemos utilizar metais cujos coeficientes de dilatação volumétrica sejam praticamente iguais. Porque se o coeficiente de dilatação do metal for maior ele romperá o vidro e caso contrário ele se soltará.

2 ■ Que o termômetro não funcionará.

3 ■ $\gamma = \frac{3}{2}\beta$

4 ■ t = 500°C;

5 ■ $S \cong 313\ cm^2$

6 ■ $V \cong 4\,201{,}8\ cm^3$

7 ■ $t \cong 444°C$

8 ■ $\gamma = \frac{1}{240}\ °C^{-1}$

9 ■ Transbordará.

10 ■ $\Delta V = 1{,}8\ cm^3$.

SEÇÃO 4 — COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS GASES

Na seção 4 estudamos o comportamento térmico de corpos sólidos e dos líquidos em termos da mudança em seus tamanhos como decorrência da variação de suas temperaturas. Vimos que, em geral, tanto os líquidos como os corpos sólidos aumentam de tamanho, isto é, dilatam-se quando sofrem aumento de temperatura. Contraem-se, isto é, diminuem de tamanho quando sofrem diminuição de temperatura. Tanto o aumento como a diminuição de tamanho dos objetos, como conseqüência da variação de temperatura, foram estudados como **dilatação** dos sólidos ou líquidos. Vimos que cada material apresenta uma dilatação específica e desta forma definimos o **coeficiente de dilatação** que é uma das propriedades térmicas do material.

Nesta seção analisaremos o comportamento térmico dos gases e, para facilitar o estudo, esta seção foi dividida em 7 partes. Na parte A caracterizaremos o que denominamos de **variáveis de estado** de um gás, e nas partes B, C, D e E estudaremos o comportamento térmico dos gases em função das variáveis de estado. Na parte C, veremos como a Escala de temperatura Kelvin ou Absoluta simplifica as leis dos gases. Na parte F, veremos a equação de estado de um gás, onde será relacionado o nº de moles de gás com suas variáveis de estado. Na parte G, será apresentada uma série de problemas a resolver.

A — VARIÁVEIS DE ESTADO

1 ■ Quando estudamos os sólidos e líquidos, vimos a dependência entre comprimento e temperatura; área e temperatura, e volume e temperatura. Por exemplo, se a temperatura de um fio sofre um aumento, o seu comprimento (aumentará; diminuirá). Analogamente, o volume de uma determinada massa líquida sofrerá um acréscimo se a sua temperatura ______________.

****

aumentará; aumentar

2 ■ Sob ponto de vista preciso o volume ocupado por 5,0 gramas de água pura a 4,0°C é de $5{,}0\ cm^3$. Se a temperatura aumentar, o volume será pouco maior que $5{,}0\ cm^3$, devido à dilatação sofrida pela água. Portanto, a afirmação: "o volume de determinada massa de líquido é $10{,}0\ cm^3$" (estará; não estará) precisamente especificada uma vez que a ________________ não foi mencionada.

****

não estará; temperatura

3 ▪ Da mesma forma, "o comprimento de uma barra metálica a 20°C é 2,00 m" (está; não está) precisamente especificada. A 30°C esta barra (terá; não terá) comprimento de 2,00 m em virtude de sua ______________.

****

está; não terá; dilatação

4 ▪ Em geral, tanto líquidos como corpos sólidos, não sofrem influência da pressão. O comprimento de uma barra ou o volume de um líquido não sofrerá alterações se, por exemplo, a pressão atmosférica aumentar ou diminuir. Entretanto, o tamanho de corpos sólidos ou líquidos (são; não são) suceptíveis a mudanças como conseqüência da variação de temperatura.

****

são

5 ▪ Um corpo sólido é caracterizado, com relação ao seu tamanho, pelo seu comprimento (no caso de barra, fios etc); pelo seu volume ou pela sua área (no caso de uma placa). Um líquido é caracterizado, com relação ao seu tamanho, pelo______________ que ele ocupa.

****

volume

6 ▪ No caso de gases (tem; não tem) sentido falar-se em sua "área" ou seu "comprimento". A dimensão física atribuída a um gás, da mesma forma que a dos líquidos, é o volume que ele ocupa. Uma das propriedades do gás é que ele ocupa todo o volume do recipiente que o contém.

****

não tem

7 ▪ Da mesma forma que os sólidos e os líquidos, os gases sofrem aumento ou diminuição no seu (volume; comprimento; área) como conseqüência do aumento ou diminuição da______________. Mas com relação aos gases, o volume também depende da pressão que é exercida sobre o gás.

****

volume; temperatura

8 ▪ A afirmação: "o volume ocupado por uma determinada massa de hidrogênio é de 0,50 m^3" é uma afirmação incompleta em virtude do fato de existir a omissão da pressão e da______________.

****

temperatura

9 ▪ Considere o gás (ar atmosférico) contido numa bomba de bicicleta ou numa seringa de injeção. Se vedarmos o orifício de saída e pressionarmos o êmbolo ou pistão, o volume do gás irá (diminuir ou aumentar). Se enchermos com água a seringa e pressionarmos o êmbolo tomando o cuidado de vedar o orifício de saída veremos que o volume da água não se alterará. Os gases, diferentemente dos sólidos e líquidos, (são; não são) suceptíveis de modificar o volume como decorrência da modificação da pressão.

****

diminuir; são

10 ▪ Portanto, para os gases, além do volume e da temperatura, é necessário especificar a pressão para a completa caracterização. A afirmação: "o volume ocupado por determinada massa de hidrogênio, a 30°C e sob pressão de 1 atmosfera é de 0,50 m^3" (caracteriza; não caracteriza) completamente o estado desta massa de gás.

****

caracteriza

11 ■ O estado de determinada massa de gás estará completamente especificada se for mencionado o _____________, a temperatura e a _____________.

****

volume; pressão

12 ■ O volume, a temperatura e a pressão são as variáveis que especificam o estado de determinada massa de gás. Estas variáveis são denominadas de **variáveis de estado.** A massa do gás (é; não é) uma variável de estado.

****

não (pois a massa é invariável)

13 ■ Admita que o gás no interior de um pneu ocupa volume V_1 à uma temperatura T_1 sob pressão P_1. O índice 1 caracteriza o estado 1 deste gás. As variáveis de estado do gás, no estado inicial 1, são: ________ ; __________ e __________. Se devido ao aumento de temperatura, que passou para T_2, a pressão aumentar para P_2 e mantido o mesmo volume inicial, então no estado 2, as variáveis de estado serão _________ ; _______ e _______.

****

P_1; T_1; V_1; P_2; $V_2 = V_1$; T_2

14 ■ Em geral, quando uma das variáveis de estado de uma determinada massa de gás apresentar alteração, pelo menos uma das outras variáveis apresentarão alterações. No caso do item 13, o gás contido no pneu sofreu aumento em sua temperatura e como conseqüência a _____________ se modificou. O volume não apresentou modificações porque estamos admitindo que o pneu seja rígido.

****

pressão

15 ■ O gás contido no pneu mencionado no item 13, devido ao aumento de temperatura, passou de um estado inicial 1 para um estado final 2. Nós dizemos então que o gás sofreu uma **transformação.** Sempre que um gás passa de um estado para o outro ele sofre uma ________________.

****

transformação

16 ■ Podemos identificar 4 tipos de transformações que uma determinada massa de gás pode manifestar:

a. Passar de um estado 1 para outro 2, mantendo constante o volume;
b. Passar de um estado 1 para outro 2, mantendo constante a temperatura;
c. Passar de um estado 1 para outro 2, mantendo constante a pressão;
d. Passar de um estado 1 para outro 2, apresentando variações em todas as variáveis de estado.

Em qualquer das transformações acima mencionadas, admite-se que a massa do gás seja a mesma no estado 1 como no estado 2. Na **transformação à temperatura constante**, as variáveis que se modificam são: ___________ e ___________. Na **transformação à pressão constante**, as variáveis que se alteram são: _______________ e; _____________. E na **transformação a volume constante** a _______________ e _______________ são as variáveis que se modificam. Em qualquer dos casos a massa inicial do gás (se mantém; não se mantém) inalterada.

****

pressão; volume; temperatura; volume; temperatura; pressão; se mantém.

17 ■ No caso da transformação citada no item 13, o gás contido no pneu apresentou uma transformação a _______ constante.

****

volume

18 ■ Admita uma massa m_1 de determinado gás num estado de volume V_1, temperatura T_1 e pressão P_1. Se esta massa de gás sofrer uma transformação a volume constante, no estado 2 terá volume ______________ ; temperatura __________ e pressão __________. A massa do gás (continua; não continua) sendo m_1. Este tipo de transformação é denominada de **isométrica** ou **isocórica** (**iso** = mesmo; **métrica** = volume).

****

$V_2 = V_1$; T_2; P_2; continua

19 ■ Simbolicamente, podemos expressar uma transformação isométrica da seguinte forma: $P_1, V_1, T_1 \rightarrow P_2, V_1, T_2$. Nesta transformação, a variável de estado que permanece fixa é o ______________.

****

volume

20 ■ Admita agora que você tenha uma seringa de injeção contendo uma determinada massa m de gás (ar). Tapando-se o orifício de saída, o volume ocupado pelo ar é V_1, a temperatura é T_1 e a pressão P_1. Pressionando o êmbolo da seringa, lentamente, podemos comprimir o ar até que ocupe um volume menor V_2. O fato de pressionarmos o êmbolo lentamente nos assegura que a temperatura do ar permaneça fixa. No estado 2, a massa m do ar pode ser caracterizada pelas variáveis de estado: P_2 __________ e __________. Nesta transformação, a variável que permaneceu constante foi a ______________.

****

V_2; $T_2 = T_1$; temperatura

21 ■ A transformação mencionada no item 20 foi a (volume; pressão; temperatura) constante. Ela é denominada de transformação **isotérmica**, isto é, mesma ______________.

****

temperatura; temperatura.

22 ■ Simbolicamente, uma transformação isotérmica efetuada por uma massa m de um gás, desde um estado 1 até outro estado 2, é expressa por $P_1, V_1, T_1 \rightarrow$ ________, ________, ________.

****

P_2; V_2; T_1

23 ■ Uma outra transformação é aquela que se processa com pressão constante. Tal transformação é denominada de **isobárica**, isto é, mesma pressão. Simbolicamente, se uma massa m de um determinado gás transformar-se isobaricamente desde um estado 1 até outro estado 2, a transformação é expressa por $P_1, V_1, T_1 \rightarrow$ _____; _____; _____.

****

P_1; V_2; T_2

24 ■ Na transformação isobárica a variável de estado que permanece constante é ______________.

****

a pressão

25 ■ A transformação geral que uma determinada massa de gás pode efetuar é aquela em que todas as variáveis de estado sofrem alterações. Simbolicamente, $P_1, V_1, T_1 \rightarrow$ ________, ________, ________.

****

P_2, V_2, T_2

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Os líquidos e sólidos sofrem influência da pressão?

2 ■ Os gases sofrem influência da pressão?

3 ■ Quais são as variáveis que especificam o estado de uma determinada massa de gás?

4 ■ O que se quer dizer com variáveis de estado?

5 ■ Quando um gás sofre uma **transformação?**

6 ■ Caracterize transformação isobárica; isométrica e isotérmica.

7 ■ No caso mais geral de transformação quais as variáveis de estado que se modificam?

8 ■ Expresse simbolicamente, em termos das variáveis de estado, as quatro transformações citadas no texto.

9 ■ Dar nomes às transformações abaixo:

$P_A, V_A, T_A \longrightarrow P_B, V_B, T_A$

$P_X, V_X, T_X \longrightarrow P_X, V_Z, T_Z$

$P_1, V_1, T_1 \longrightarrow P_2, V_1, T_2$

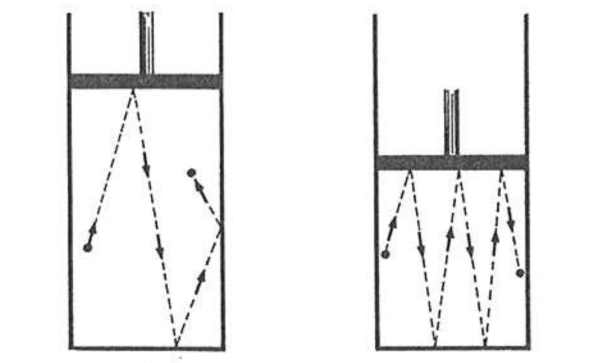
$P_A, V_A, T_A \longrightarrow P_B, V_B, T_B$

10 ■ Nas transformações mencionadas no texto, o que podemos afirmar com relação à massa do gás? Ela varia? Deve permanecer a mesma?

Após isso, você deve estar apto para:

a. caracterizar as variáveis de estado de um gás.
b. descrever uma transformação isotérmica em termos das variáveis de estado.
c. descrever uma transformação isobárica em termos das variáveis de estado.
d. descrever uma transformação isométrica em função das variáveis de estado.
e. descrever uma transformação geral em função das variáveis de estado.

B – TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA – LEI DE BOYLE-MARIOTTE



(a) (b)

1 ■ Os gases são constituídos de pequenas partículas denominadas moléculas. O gás hidrogênio compõe-se de moléculas de hidrogênio (H_2); o gás oxigênio é composto de moléculas de oxigênio (O_2); o gás carbônico é constituído de moléculas de dióxido de carbono (CO_2); etc. Estas partículas movimentam-se continuamente bombardeando as paredes do recipiente que as contém. A pressão exercida pelo gás nas paredes do recipiente é resultado desses bombardeamentos, isto é, dos choques das moléculas com a parede do recipiente. Quando o volume de uma determinada massa de gás é diminuído, conforme ilustram as figuras acima, as colisões de cada molécula com as paredes do recipiente sofrem um aumento. É algo semelhante a você comprimir uma bola de ping-pong contra a mesa enquanto ela estiver pulando: o número de colisões entre a raquete e a mesa irão aumentar de freqüência. No caso das figuras (a) e (b) acima, a pressão do gás é maior no caso (   ).

****

b

2 ■ Tanto no caso (a) como no (b) das figuras do item 1, o êmbolo ficará em equilíbrio quando a pressão interna do gás se igualar à pressão externa exercida pelo êmbolo. Se a pressão interna for maior que a exercida pelo êmbolo o volume ocupado pelo gás irá (aumentar; diminuir) até que as pressões se ________________.

****

aumentar; igualem

3 ■ Portanto, quando o volume de determinada massa de gás aumenta, a pressão (aumenta; diminui) e quando o volume diminui a pressão ______________.

****

diminui; aumenta

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 4 a 26.

QUADRO VIII

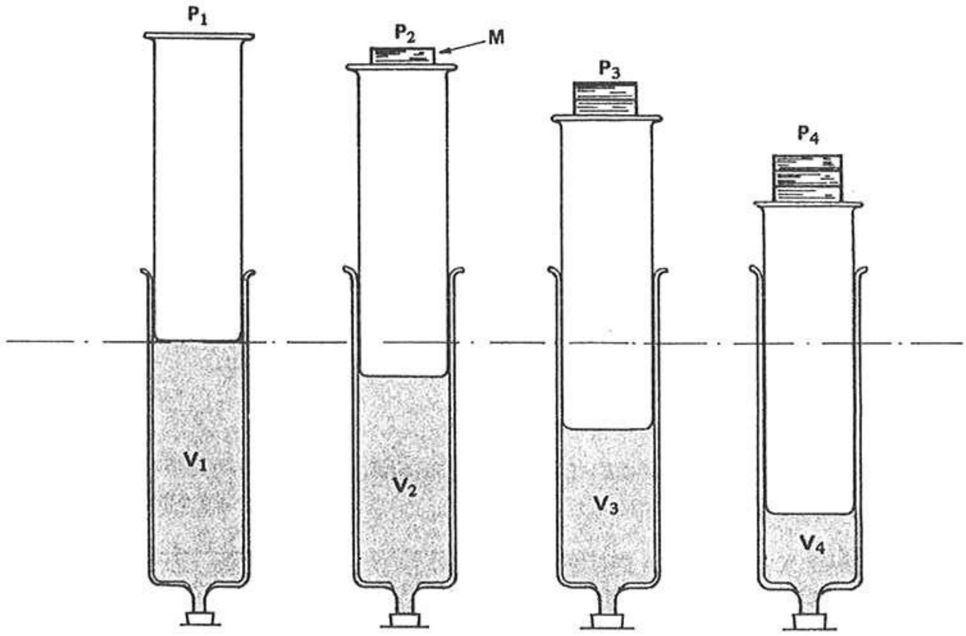


Fig. 1 – Uma seringa de injeção tem seu bico tapado por um pedaço de borracha. A seringa aprisiona certo volume de ar.

Fig. 2 – Colocando-se sobre o êmbolo da seringa uma massa M, seu peso exerce pressão sobre o gás e observa-se que o volume do gás diminui.

Figs. 3 e 4 – Colocando outras massas sobre o êmbolo, nota-se que o volume do gás diminui cada vez mais. A pressão exercida pelos pesos das massas aumenta cada vez mais.

OBS.: Dada a simplicidade do material que pode ser facilmente obtido recomendamos ao aluno reproduzir o experimento acima em sala de aula ou em casa.

4 ■ Fig. 1. Sobre o êmbolo da seringa (existe; não existe) uma massa M.

****

não existe

5 ■ Colocando-se uma massa M sobre o êmbolo, seu peso vai exercer uma força sobre o êmbolo e o mesmo vai (aumentar; diminuir; permanecer constante) a pressão sobre o gás, até atingir o equilíbrio.

****

aumentar

6 ■ Nota-se também, da fig. 1 para a fig. 2, que o volume do gás (aumenta; diminui; permanece constante) quando a pressão aumenta. Nesta situação de equilíbrio a pressão do gás (é; não é) igual à pressão exercida pelo êmbolo.

****

diminui; é

7 ■ Estamos influindo diretamente na pressão e volume do gás mas não na sua temperatura. Temos portanto uma transformação ____________________, já que a temperatura (permanece; não permanece) constante.

****

isotérmica; permanece

8 ■ Na realidade, existe uma pequena variação de temperatura quando comprimimos o gás; todavia podemos esperar que o mesmo volte a ter a temperatura anterior e então teremos efetivamente uma transformação (isobárica; isocórica; isotérmica).

9 ■ À medida que vamos colocando massas sobre o êmbolo, a pressão do gás vai (aumentando; diminuindo) e seu ____________________ diminuindo. A temperatura, nessa transformação permanece____________________.

****

aumentando; volume; constante

10 ■ Se quando a pressão do gás aumenta seu volume diminui, a pressão do gás (é; não é) diretamente proporcional ao volume do mesmo numa transformação isotérmica.

****

não é

11 ■ Se observarmos os valores da pressão e do volume das figuras 1, 2, 3 e 4 e analisarmos esses valores, veremos que $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = P_3 \cdot V_3 = P_4 \cdot V_4 = k$. Ou seja, os produtos das pressões pelos volumes são sempre constantes. Diremos então que a pressão e o volume são inversamente proporcionais numa transformação isotérmica. Assim, se o volume de uma dada massa gasosa sofre uma transformação isotérmica e aumenta de volume, isto significa que a pressão sobre o gás (aumentou; diminui).

****

diminuiu

12 ■ Suponha um recipiente contendo inicialmente 4,0 cm^3 de um determinado gás suportando uma pressão de 1 atmosfera. Se dobrarmos a pressão sobre o gás, mantendo a temperatura constante, qual será o novo volume ocupado pelo gás? V_2 = ____________________.

****

$$P_1V_1 = P_2V_2 \therefore V_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{P_2} \text{ (a)}$$

como: $P_1 = 1$ atm, $V_1 = 4{,}0\ cm^3$ e $P_2 = 2$ atm. Substituindo-se em (a) teremos: $V_2 = 2{,}0\ cm^3$

13 ■ O resultado que mencionamos: "numa transformação isotérmica os volumes de um gás são (diretamente; inversamente) proporcionais à pressão que suportam", é conhecido como a **Lei de Boyle-Mariotte.**

****

inversamente

14 ■ A Lei de Boyle-Mariotte relaciona pressão e ____________________ numa transformação____________________. Sua expressão matemática pode ser escrita como $P \cdot V$ = constante ou $P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3$ = constante.

****

volume; isotérmica

15 ■ Se o volume de um gás é 5 litros e sua pressão 1 atmosfera, quando a pressão for 10 atmosferas, seu volume será _______________ se a transformação for realizada à ____________________ constante.

* * * * * * * * * * * *

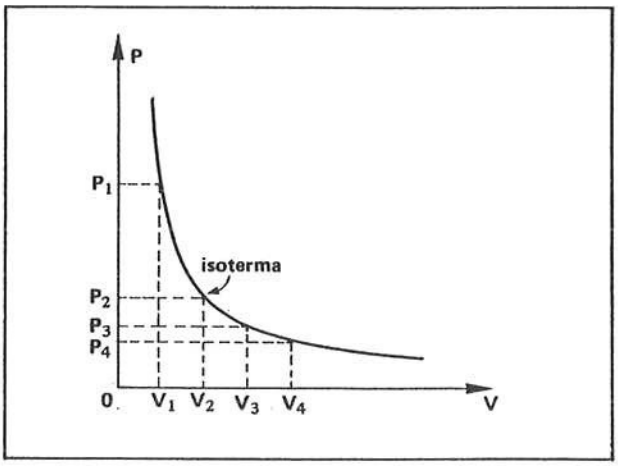
0,5 litros; temperatura

16 ■ A Lei de Boyle-Mariotte rege a transformação (isobárica; isotérmica; isométrica).

* * * * * * * * * * * *

isotérmica

17 ■ Se fizermos uma tabela dos valores da pressão em função do volume para uma transformação isotérmica e um gráfico com esses valores, obteremos uma figura como a que está ao lado. Matematicamente temos uma hipérbole mas chamaremos essa curva de **isoterma**, pois estamos tratando de uma transformação chamada ____________________.



* * * * * * * * * * * *

isotérmica

18 ■ O ponto (V_1, P_1) (pertence; não pertence) à isoterma traçada no item 17.

* * * * * * * * * * * *

pertence

19 ■ Se a experiência descrita no Quadro VIII fosse repetida, mantendo a mesma quantidade de gás, mas com temperatura maior, obteríamos outro conjunto de valores para P' e V', mas sempre teríamos: $P'_1 V'_1 = P'_2 V'_2 = \ldots =$ = constante. Isto significa que a lei de Boyle-Mariotte vale (para uma; para mais de uma) temperatura.

* * * * * * * * * * * *

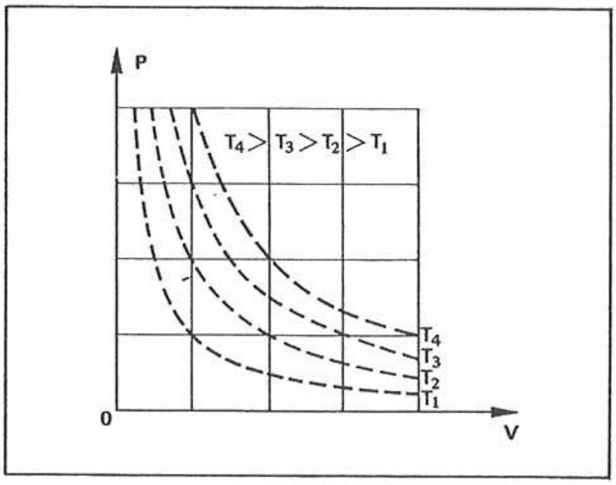
para mais de uma

20 ■ Se agora fizermos um novo gráfico com os valores da pressão e volume numa temperatura superior à descrita no Quadro VIII, obteremos uma nova hipérbole que é chamada ____________________.

* * * * * * * * * * * *

isoterma

21 ■ As isotermas se colocarão da maneira da figura ao lado ou seja, quanto mais alta for a temperatura mais (afastada; próxima) estará a isoterma da origem dos eixos.



* * * * * * * * * * * *

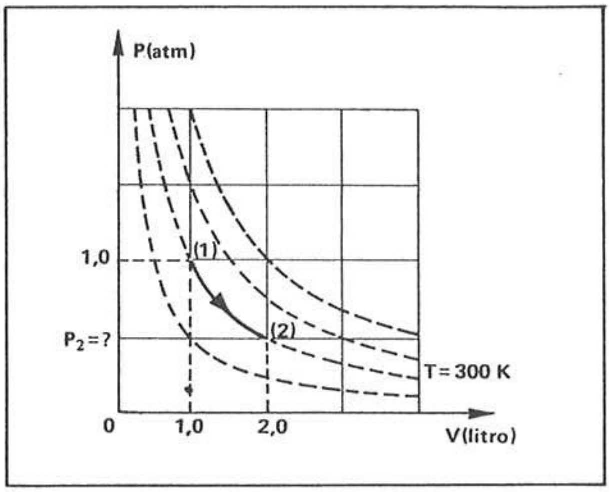
afastada

22 ■ As isotermas traçadas no item 21 obedecem a lei de ______________________.

****

Boyle-Mariotte

23 ■ Determinada massa m de gás acha-se no estado 1 e sofre uma expansão até atingir um estado 2 de volume 2,0 cm^3, conforme ilustra o diagrama ao lado. A seta na isoterma indica o sentido da transformação. A transformação foi isotérmica?



****

Sim

24 ■ No estado 1 no gráfico do item 23, as variáveis de estado são P_1 = ____________; V_1 = ____________ e T_1 = __________. Durante a transformação a temperatura do gás manteve-se sempre igual a __________.

****

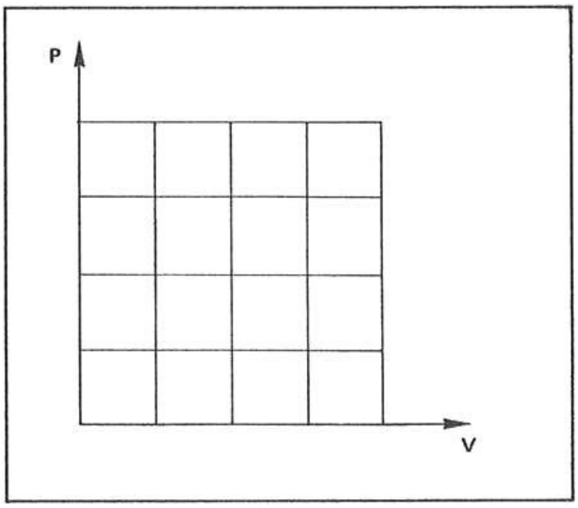
1,0 atm; 1,0 cm^3; 300 K (27°C); 300 K

25 ■ No estado 2 a pressão do gás é P_2 = ______________.

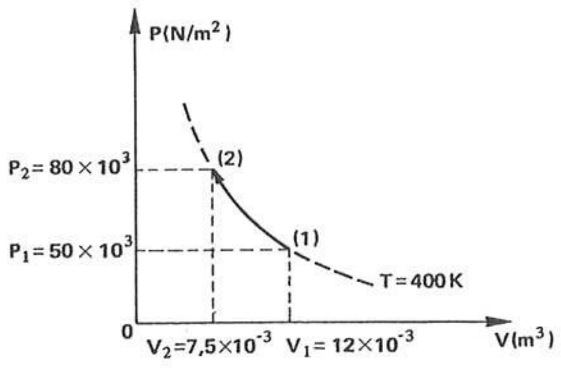
****

$P_1V_1 = P_2V_2 \therefore P_2 = 0{,}5$ atm

26 ■ Uma massa m de gás ocupa volume de 12×10^{-3} m^3 sob pressão de 50×10^3 N/m^2, à temperatura de 400 K. Essa massa de gás é comprimida isotermicamente até que o seu volume seja $7{,}5 \times 10^{-3}$ m^3. No gráfico P X V, indicar a transformação, utilizando-se dos dados acima.



****



QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Explique como surge a pressão exercida por um gás.

2 ■ Como varia a pressão de determinada massa de gás quando o volume diminui?

3 ■ Como se denomina a lei que corresponde a uma transformação isotérmica?

4 ■ Qual é a expressão matemática que define a Lei de Boyle-Mariotte?

5 ■ No diagrama P × V, qual o aspecto da curva correspondente a uma transformação isotérmica?

6 ■ Como se denomina a curva que corresponde à Lei de Boyle-Mariotte, no gráfico P × V?

7 ■ O que é uma isoterma?

8 ■ Quantas isotermas se pode traçar no diagrama P × V?

9 ■ Para cada temperatura, quantas isotermas correspondem?

10 ■ Desenhar no diagrama P × V uma:

a) compressão isotérmica;

b) expansão isotérmica.

Após isso, você deve estar apto para:

a. enunciar a Lei de Boyle-Mariotte.

b. exprimir matematicamente a lei que rege a transformação isotérmica.

c. construir no diagrama P × V uma transformação isotérmica.

d. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

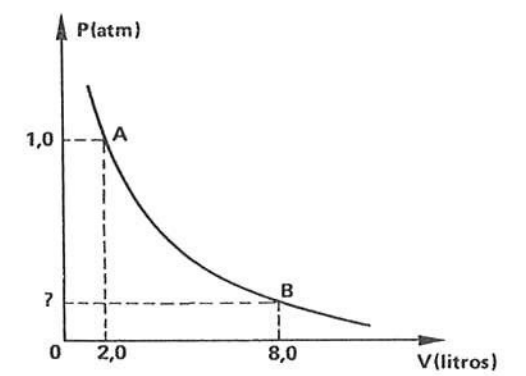
1 ■ Um recipiente contém 12 litros de ar e suporta uma pressão de 1,0 atmosfera. Determine o volume ocupado pelo ar quando a pressão passar a 0,20 atmosferas, mantida constante a temperatura.

2 ■ Tem-se uma bolha de ar no fundo de um lago, a 10 m da superfície, ocupando um volume de $4{,}0\ cm^3$. A bolha atinge a superfície do lago, onde a pressão atmosférica vale aproximadamente $1{,}0 \times 10^5\ N/m^2$.

a) Qual a pressão no fundo do lago? Considere $g = 10\ N/kg$ e $d_a = 1{,}0 \times 10^3\ kg/m^3$.

b) Qual o volume da bolha na superfície do lago?

3 ■ O gráfico ao lado ilustra uma isoterma de uma certa quantidade de gás que é levado do estado A para o B. Determine a pressão do gás em B.



4 ■ Um recipiente contém 5,0 litros de gás sob pressão de 2,0 atmosferas. Sem alterar a temperatura, qual o volume quando a pressão do gás for 0,40 atmosferas?

5 ■ Uma seringa de injeção encerra $20\ cm^3$ de ar à pressão normal (1 atmosfera). Qual será sua pressão quando seu volume diminuir de $\frac{1}{5}$ da original?

RESPOSTAS

1 ■ V = 60 litros

3 ■ P = 0,25 atm

2 ■ a) $2{,}0 \times 10^5\ N/m^2$

b) $8{,}0\ cm^3$

4 ■ V = 25 litros

5 ■ P = 5 atmosferas

C – TRANSFORMAÇÃO ISOBÁRICA – LEI DE CHARLES OU 1ª LEI DE GAY-LUSSAC

• TEMPERATURA ABSOLUTA OU KELVIN.

Leia e observe o quadro IX. Ele se refere aos itens 1 a 20.

QUADRO IX

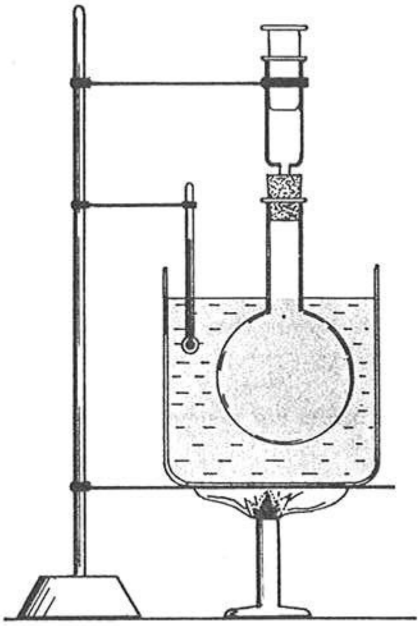


Fig. 1

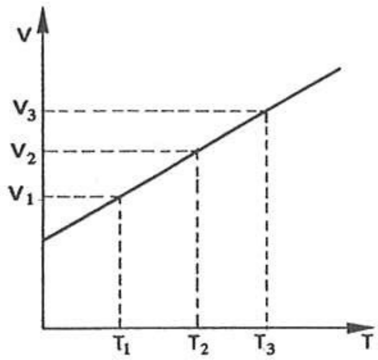


Fig. 2

A figura ao lado mostra um balão de vidro, tendo sido adaptado em sua rolha uma seringa. O conjunto está colocado dentro d'água. Um termômetro é colocado na água; enquanto que esta é aquecida. O ar dentro do balão se dilata e o êmbolo da seringa sobe. Sobre o êmbolo teremos sempre a pressão atmosférica agindo. Se anotarmos os valores da temperatura e do volume do gás e com esses valores construirmos um gráfico, ele terá o aspecto acima.

1 ■ Na experiência descrita acima, a água, na qual o balão está imerso, se aquece e desta forma aquece o ________ no interior do balão. O gás aquecido se (contrai; dilata; permanece inalterado).

* * * * * * * * * * * *

gás; dilata

2 ■ Com o aquecimento do gás, as moléculas passam a se movimentar com maior velocidade e desta forma aumentam o número de colisões com as paredes do recipiente. Como o êmbolo é móvel, este é empurrado para cima até atingir uma posição de equilíbrio. Na posição de equilíbrio a pressão do gás (é; não é) igual à exercida pelo êmbolo sobre o gás. Para cada temperatura teremos uma posição de equilíbrio e conseqüentemente um determinado valor do ________________ do gás.

* * * * * * * * * * * *

é; volume

3 ■ A pressão que o êmbolo exerce sobre o gás é devida à pressão atmosférica do local onde se encontra o aparato experimental, mais a pressão devida ao peso do próprio êmbolo. Se a pressão atmosférica não mudar e não for acrescido nenhum peso adicional sobre o êmbolo, podemos afirmar que em cada posição de equilíbrio a pressão do gás (será; não será) a mesma. Esta experiência ilustra então uma transformação à pressão (constante; variável), isto é, uma transformação ______________. As variáveis de estado que apresentarão alterações são ______________________________.

* * * * * * * * * * * *

será; constante; isobárica; o volume e a temperatura

4 ■ Veremos agora como o volume e a temperatura da massa de gás estão relacionados entre si numa transformação isobárica. Já vimos, quando estudamos a dilatação volumétrica dos sólidos e líquidos, que o coeficiente de dilatação volumétrica é expresso por:

$$\gamma = \frac{V - V_0}{V_0 \cdot t}$$

onde V_0 é o volume da massa de gás à temperatura de 0°C e V o volume à temperatura t°C. O gráfico da fig. 2 no quadro IX admite, então, uma expressão da forma:

V = ______________________ (desenvolva a expressão acima).

****

$V_0 + V_0 \cdot \gamma \cdot t = V_0(1 + \gamma \cdot t)$

5 ■ Os resultados experimentais mostram que, **para todos os gases**, o coeficiente de expansão volumétrica vale $\gamma = \frac{1}{273}$ $(°C)^{-1}$. Portanto, a equação da expansão volumétrica torna-se: $V = V_0(1 +$ ________ $) =$ __________ (desenvolva os termos entre parênteses colocando num mesmo denominador).

****

$\frac{t}{273}$; $V_0(\frac{273 + t}{273})$

6 ■ $V = V_0(\frac{273 + t}{273})$. Qual será o volume de uma massa de gás, que a 0°C ocupasse um volume de 10 litros, quando a temperatura aumentar para 136,5°C, mantida constante a pressão?

****

15 litros

7 ■ Qual será o volume ocupado pelo gás mencionado no item 6 quando, à pressão constante, a temperatura abaixar para t = -273°C? O volume será V = ______________.

****

zero

8 ■ Dizer que o volume do gás é zero é o mesmo que dizer que ele deixou de existir. Então, à temperatura de -273°C o gás desaparece completamente? Na realidade, a esta temperatura todos os gases já se encontram no estado líquido ou sólido e não tem sentido, sob o ponto de vista físico, falarmos em gás a esta temperatura. Acredita-se que t = -273°C seja o limite mínimo de temperatura e é exatamente neste ponto que inicia a escala **absoluta de temperatura** ou escala **Kelvin de temperatura**. A temperatura t = -273°C corresponde, nesta nova escala, ao **zero absoluto** ou **zero graus Kelvin**. Como já vimos no estudo das escalas termométricas, a equação de conversão entre a escala Kelvin ou Absoluta e a escala Celsius é T = ________________.

****

273 + t (t em graus Celsius)

9 ■ $V = V_0(\frac{273 + t}{273})$. Se, nesta equação, substituirmos a temperatura expressa em graus Celsius para graus Kelvin, poderemos simplificar a equação. Vejamos como: 273 + t = ____________ ; logo, $V = V_0(\frac{\quad}{273})$.

****

T; T

10 ■ A temperatura de 0°C corresponde a uma temperatura T_0 = ________ K; logo, a equação $V = V_0 \frac{T}{273}$ pode ser escrita: V = ______________ (substitua $273 = T_0$).

****

273; $V_0 \frac{T}{T_0}$

11 ■ Reagrupando os termos de mesmo índice, teremos $\frac{V}{T}$ = ____________.

****

$\frac{V_0}{T_0}$

12 ■ $\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0}$. Nesta expressão, V é o volume da massa de gás à temperatura T, e V_0 é o ____________________ ____________________. T e T_0 são temperaturas expressas em graus____________________.

****

volume à temperatura T_0; Kelvin ou Absoluta

13 ■ A razão $\frac{V_0}{T_0}$ adquire determinado valor para determinada massa de gás, mas desde que a massa seja mantida constante durante a transformação esta razão (permanece; não permanece) constante. Então, podemos escrever que a razão entre o volume V e a temperatura absoluta correspondente T, (é; não é) constante. Simbolicamente, $\frac{V}{T}$ = cte. Este resultado exprime a **Lei de Charles** ou **1ª Lei de Gay-Lussac** para a transformação isobárica. Para um novo valor de volume V_1 à temperatura T_1, teremos $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_0}{T_0}$; para outro estado, V_2, T_2, $\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_0}{T_0}$ e assim sucessivamente. Como $\frac{V_0}{T_0}$ é uma constante, então podemos escrever que para uma transformação isobárica, desde um estado (1) até outro estado (2), a Lei de Charles pode ser escrita da seguinte forma: $\frac{V_1}{T_1}$ = ____________.

****

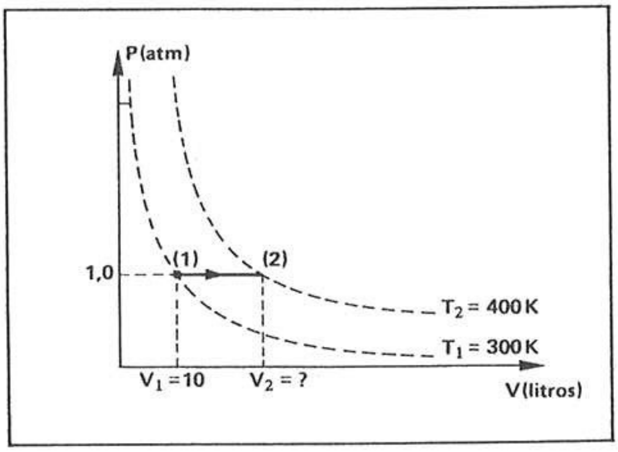
permanece; é; $\frac{V_2}{T_2}$

14 ■ Portanto, quando uma massa m de determinado gás evoluir desde um estado (1) até outro estado (2), mantendo constante a pressão, a lei que rege esta transformação é denominada de ____________________ e matematicamente é expressa por ________________onde a temperatura é expressa em ____________ ____________________.

****

Lei de Charles ou **1ª Lei de Gay-Lussac**; $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$; graus Kelvin ou Absoluta.

15 ■ Seja uma massa m de determinado gás em um estado (1) com volume V_1 = 10 litros; pressão P_1 = = 1,0 atm; e temperatura t = 27°C ou T =______ K. Este gás sofre uma transformação isobárica até um estado (2) de temperatura t = 127°C ou T_2 =______K. No diagrama P × V ao lado esta transformação é representada por uma linha perpendicular ao eixo das pressões porque a pressão se____________________ ____



****

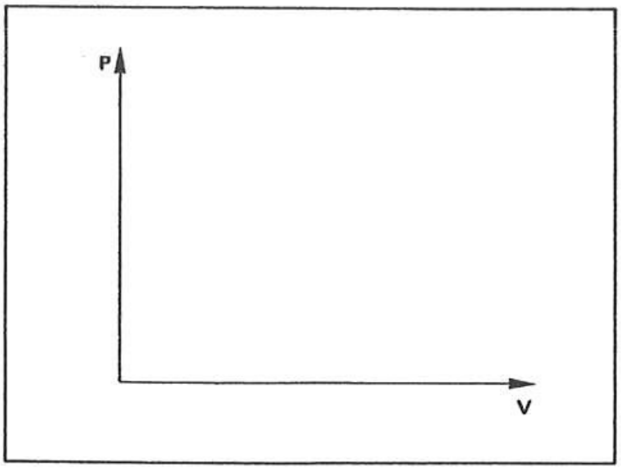
300; 400; mantém constante

16 ■ Na transformação indicada no diagrama P × V do item 15, no estado (2) a temperatura é T_2 =____________; a pressão é P_2 =____________ e o volume é V_2 = ________________(aplique a lei de Charles).

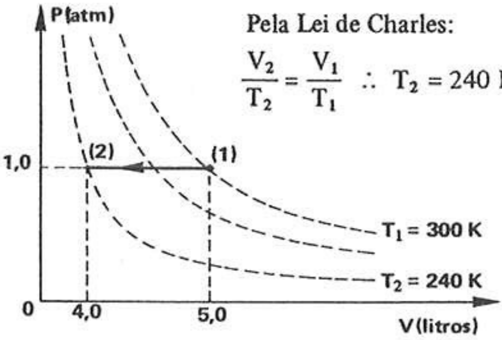
****

400 K; 1,0 atm; $\frac{V_2}{T_1} = \frac{V_1}{T_1}$ donde $V_2 \cong 13$ litros

17 ■ Determinada massa m de oxigênio ocupa, no interior de um cilindro de êmbolo móvel, um volume inicial de 5,0 litros à pressão de 1,0 atm e temperatura 27°C. Mantendo-se constante a pressão, a temperatura é abaixada até que o volume seja de 4,0 litros. No diagrama P X V, indique esta transformação cotando os valores.



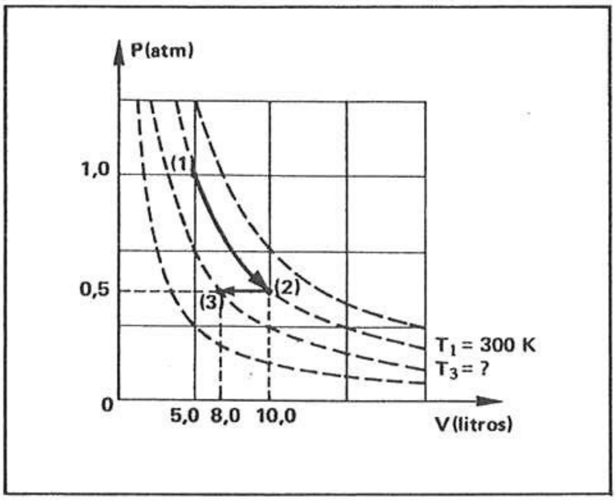
****



Pela Lei de Charles:

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_1}{T_1} \therefore T_2 = 240 \text{ K}$$

18 ■ Determinada massa de gás Hélio possui no estado (1) $V_1 = 5{,}0$ litros, $T_1 = 300$ K e $P_1 = 1{,}0$ atm. O gás é expandido isotermicamente até que num estado (2) tenha volume $V_2 = 10$ litros. Em seguida o gás é comprimido isobaricamente até que no estado (3) tenha volume $V_3 = 8{,}0$ litros. No diagrama P X V ao lado, a transformação isotérmica é representada pela linha que acompanha a isoterma $T_1 = 300$ K desde (1) até (2). Qual é a pressão no estado (2)? Para tal, devemos aplicar a Lei de_______________.



****

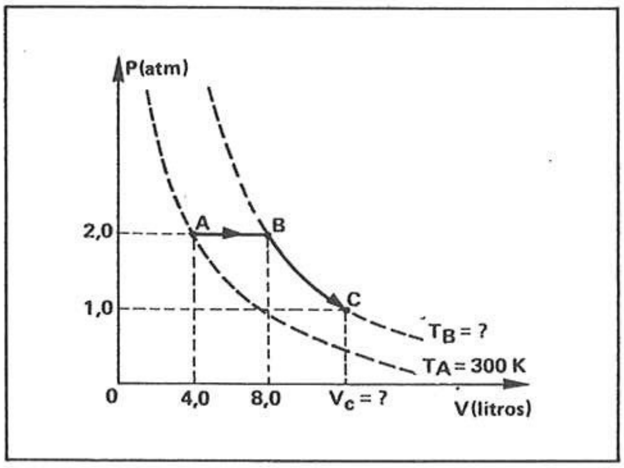
Boyle; a pressão é $P_2 = \dfrac{P_1 V_1}{V_2} = 0{,}50$ atm

19 ■ No diagrama do item 18, a linha que une o estado (2) ao estado (3) representa uma transformação__________. Qual é a temperatura no estado (3)? Para determiná-la devemos aplicar a Lei de________________.

****

isobárica; Charles; a temperatura é $T_3 = 240$ K

20 ■ Determinada massa de gás está num estado inicial (A) e sofre as transformações indicadas no diagrama P X V ao lado. A transformação (A) → (B) é _______________e de (B) até (C) a transformação é________________. A temperatura $T_B = T_C$ = =________________e o volume V_C =_______ ℓ.



****

isobárica; isotérmica; 600 K; 16 litros

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Por que a transformação descrita no quadro IX é à pressão constante?

2 ■ Em cada posição de equilíbrio do êmbolo, isto é, para cada temperatura do gás dentro da seringa, qual é a relação entre a pressão do gás e a pressão exercida pelo êmbolo?

3 ■ Qual é a expressão que define o coeficiente de dilatação volumétrica dos gases? Identifique os elementos desta expressão.

4 ■ Quanto vale esse coeficiente? Ele é igual para todos os gases?

5 ■ Teoricamente, qual é o volume do gás à temperatura $t = -273°C$?

6 ■ Qual é a temperatura, em graus Celsius, do zero absoluto?

7 ■ Como foi estabelecida a escala Absoluta ou Kelvin de temperatura? Qual é a expressão de conversão entre graus Kelvin e graus Celsius?

8 ■ Descreva a Lei de Charles.

9 ■ Desenhe no gráfico $P \times V$ uma expansão isobárica.

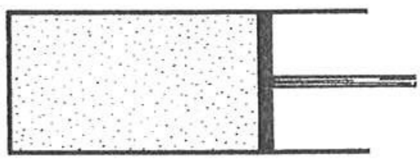
10 ■ Desenhe no gráfico $P \times V$ uma "compressão" isobárica.

Após isso, você deve estar apto para:

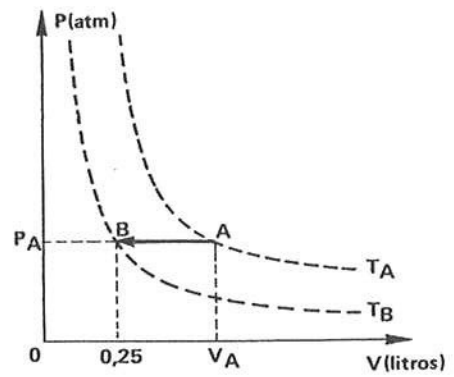
a. descrever uma transformação isobárica e expressá-la matematicamente.
b. descrever a Lei de Charles.
c. escrever como surgiu a escala de Temperatura Absoluta.
d. representar no diagrama $P \times V$ uma transformação isobárica.
e. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Um cilindro de paredes rígidas e êmbolo móvel sem atrito, contém em seu interior gás oxigênio. Quando a temperatura do gás é de 27°C, o volume ocupado pelo gás é 10 litros. Qual deve ser a temperatura para que o gás, à pressão constante de 1,0 atm sofra uma expansão $\Delta V = 2,5$ litros?



2 ■ Determinada massa de gás encontra-se em um estado A de temperatura $T_A = 200$ K, pressão $P_A = 2,0$ atm, e volume $V_A = 0,5$ litros. Se a massa de gás for comprimida, conforme ilustra o diagrama ao lado, no estado B, quais os valores das variáveis de estado do gás?

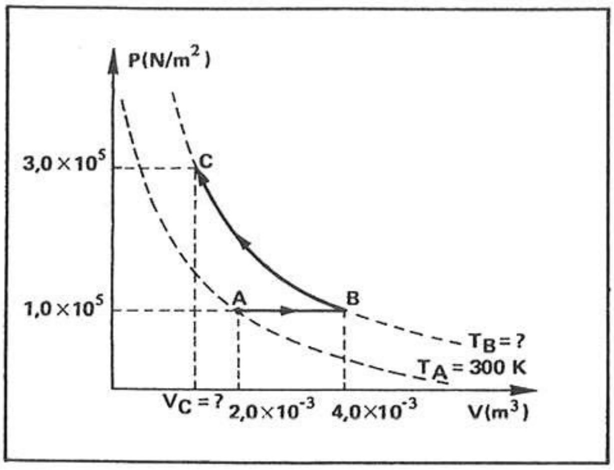


3 ■ Considere uma massa de gás à temperatura de 0°C, pressão de 2,0 atm e volume 12 litros. A massa de gás é comprimida isotermicamente até que a pressão seja $P = 1,0$ atm. Em seguida, a temperatura do gás é aumentada até 27°C.

a) Qual o volume final ocupado pela massa de gás?

b) Esquematize as transformações no diagrama $P \times V$.

4 ■ Uma massa m de certo gás encontra-se num estado A e é levada, por transformações sucessivas, até um estado C, conforme esquematiza o diagrama ao lado. Determine os valores de T_B e T_C e o valor de V_C.



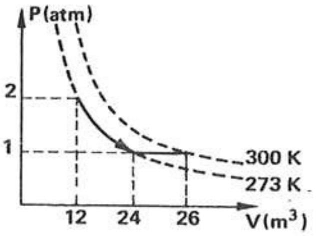
5 ■ Uma seringa de êmbolo móvel e sem atrito contém 20,0 cm^3 de ar à temperatura de 20°C. O conjunto é aquecido à pressão constante, até que a temperatura seja de 88,5°. Calcule o aumento de volume da massa de ar.

RESPOSTAS

1 ■ T = 375 K ou t = 102°C

2 ■ P_B = 2,0 atm; V_B = 0,25 litros; T_B = 100 K

3 ■



4 ■ $T_B = T_C = 600$ K; $V_C = \frac{4}{3} \times 10^{-3}$ m^3

5 ■ ΔV = 5 cm^3

D – TRANSFORMAÇÃO ISOMÉTRICA – 2ª LEI DE GAY-LUSSAC

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 1 a 15.

QUADRO X

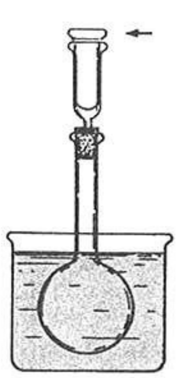


Fig. 1 – Um balão de vidro é colocado dentro d'água.

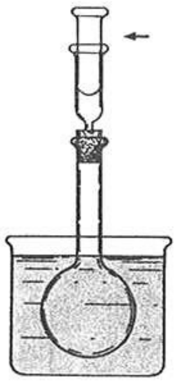


Fig. 2 – O conjunto é aquecido e o êmbolo sobe, aumentando o volume do gás.

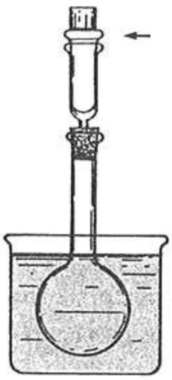


Fig. 3 – Aumenta-se a pressão do êmbolo até que o volume do gás seja o inicial

1 ■ Da figura 1 para 2, a transformação (é; não é) isométrica, pois quando o êmbolo se desloca, o volume do gás (aumenta; diminui).

****

não é; aumenta

2 ■ Da fig. 1 para 3, o volume (é; não é) o mesmo. A pressão e a ______________________ variaram, então a transformação é ______________________ .

****

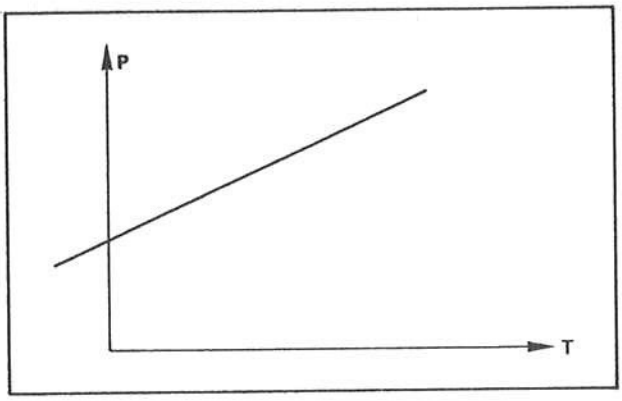
é; temperatura; isométrica ou isocórica

3 ■ A pressão do êmbolo (aumentou; diminuiu) pois foram colocadas massas sobre o mesmo. Se medirmos os valores da pressão e da temperatura para cada vez que realizarmos a operação descrita no quadro X, podemos organizar uma tabela.

****

aumentou

4 ■ Os valores de uma tal tabela, colocados num gráfico cartesiano, terão o aspecto do diagrama ao lado. Isso nos leva a concluir que a dependência entre pressão e o volume de um gás quando o volume é constante (é; não é) uma relação linear.



****

é

5 ■ Ainda mais uma vez teremos uma relação similar às usadas na expansão de sólidos, líquidos e gases. Sendo P_0 a pressão do gás a $t_0 = 0°C$ e P a pressão a uma temperatura t, então a expressão matemática é:

$$P = P_0(1 + \gamma_v t)$$

sendo que $\gamma_v = \gamma = \frac{1}{273}\,(°C)^{-1}$. O índice v no coeficiente γ indica que se trata de coeficiente de dilatação a volume constante, mas por felicidade da física, é igual ao coeficiente de dilatação à pressão constante vista na parte anterior. Analogamente ao que foi feito na parte anterior, para simplificar, podemos introduzir a temperatura Absoluta e desta forma a expressão acima tomará a seguinte forma e constituirá a 2ª Lei de Gay-Lussac:

$$P = \_\_\_\_\_\_\_\_.$$

****

$$P = \frac{P_0 \cdot T}{T_0}$$

6 ■ Reagrupando-se os elementos de mesmo índice teremos:

$$\frac{P}{T} = \_\_\_\_\_\_.$$

****

$$\frac{P_0}{T_0}$$

7 ■ Analogamente à transformação isobárica, se um gás de um estado (1) passar a um estado (2) mantendo o volume constante, podemos escrever:

$$\frac{P_1}{T_1} = \_\_\_\_\_\_ \text{(2ª Lei de Gay-Lussac).}$$

****

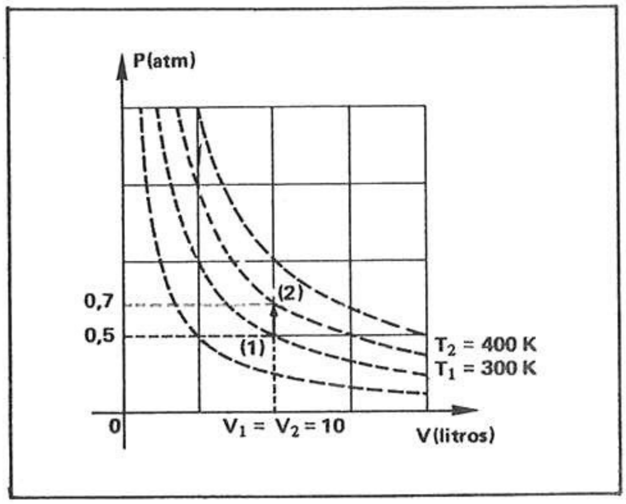
$$\frac{P_2}{T_2}$$

8 ■ Dentro de um cilindro fechado existe uma massa de gás ocupando volume de 10 litros à pressão de 0,50 atmosferas, à temperatura de 27°C. Se o cilindro for aquecido até atingir 127°C, qual será a pressão do gás? Admita que o cilindro mantém fixo o seu volume.

****

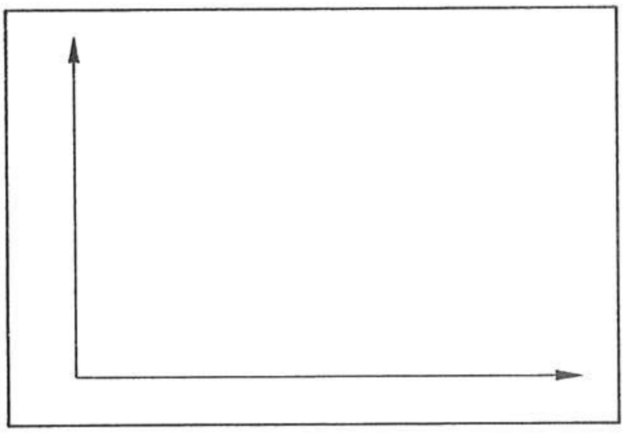
$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \therefore P_2 = \frac{P_1}{T_1} \cdot T_2 = \frac{0,5}{300} \times 400 \cong 0,7 \text{ atm}$$

9 ■ Vejamos no diagrama P × V como representar uma transformação isométrica. No diagrama ao lado está representado a transformação mencionada no item 8. A linha representativa é vertical porque tanto no estado inicial como no final o volume é __________ ____________________.



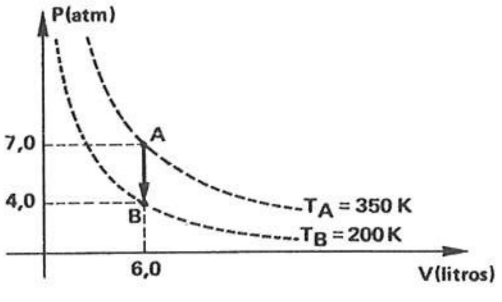
****

o mesmo ou constante



10 ■ Dentro de um botijão existe determinada massa de gás ocupando volume de 6,0 litros à temperatura de 350 K, à pressão de 7,0 atmosferas. O botijão é esfriado até que a temperatura seja de 200 K. Considerando invariável o volume do botijão, determine a pressão final. Indique a transformação num gráfico P × V cotado.

****



11 ■ Um cilindro contém 3,0 litros de determinado gás sob pressão de 2,0 atmosferas e temperatura de 27°C. As seguintes transformações são processadas:

a) aquecido à pressão constante até T = 500 K;

b) esfriado a volume constante até 250 K;

c) comprimido isotermicamente até que o volume seja 2,0 ℓ.

A primeira transformação é (isobárica; isotérmica; isométrica); as variáveis no estado (1) são V_1 = ______ ; T_1 = ________ ; P_1 = ________ , e ao final desta transformação, V_2 = ________ ; T_2 = ______ ; P_2 ________.

****

isobárica; 3,0 litros; 300 K; 2,0 atm; 5,0 litros; 500°K; 2,0 atm

12 ■ Na segunda transformação, o gás passa do estado (2) até um estado (3) onde V_3 = __________; T_3 = __________ e P_3 = __________. Esta transformação é __________.

****

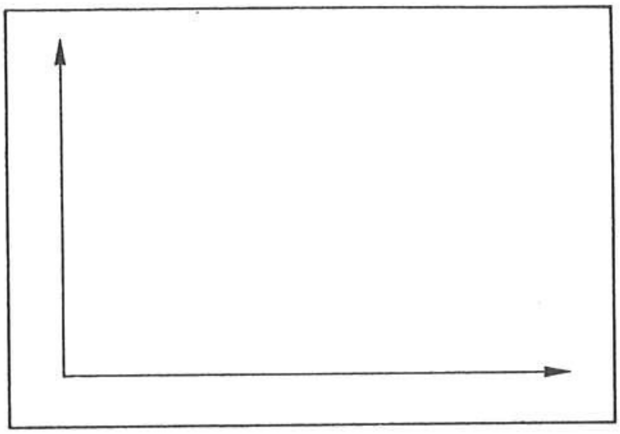
5,0 litros; 250 K; 1,0 atm; isométrica

13 ■ Na terceira transformação, que é __________, o gás passa do estado (3) para um estado (4) onde V_4 = __________; T_4 = __________ e P_4 = __________.

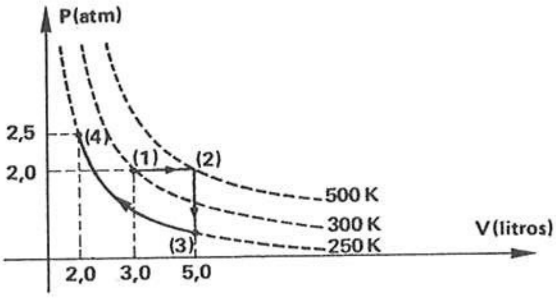
****

isotérmica; 2,0 litros; 250 K; 2,5 atm.

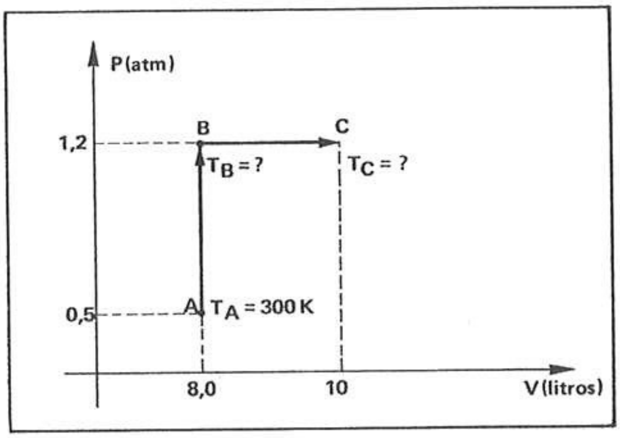
14 ■ Construa no diagrama P X V cotado as transformações do problema mencionadas no item 13.



****



15 ■ Determinada massa de gás sofre as transformações indicadas no diagrama P X V esquematizado ao lado. Determine as temperaturas nos estados B e C.



****

T_B = 720 K; T_C = 900 K

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Caracterize a transformação isométrica.

2 ■ Qual é a expressão matemática que exprime uma transformação isométrica? Como se denomina a lei correspondente?

3 ■ Se uma massa de gás evolui, isometricamente, desde um estado A até outro B, como se expressa matematicamente esta transformação?

4 ■ Desenhe no diagrama P X V uma transformação isométrica.

5 ■ Desenhe no gráfico P X V as seguintes transformações sucessivas sofridas por uma massa de gás:

a) aquecido à pressão constante desde o estado A até B;

b) expandido à temperatura constante até o estado C;

c) esfriado a volume constante até o estado D.

6 ■ Em cada transformação, das mencionadas na questão 5, escrever a expressão matemática correspondente.

Após isso, você deve estar apto para:

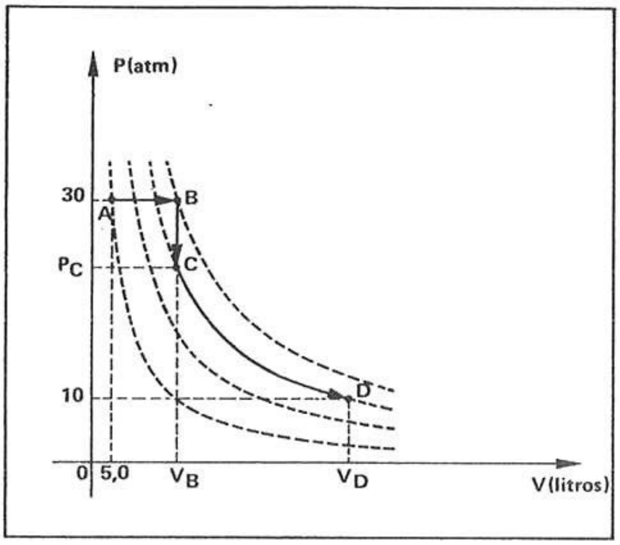
a. descrever uma transformação isométrica e expressá-la matematicamente.
b. representar no diagrama P X V esta transformação.
c. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Tem-se um recipiente contendo uma determinada massa de gás sob pressão de 2,0 atm e temperatura de 0°C. O recipiente encontra-se hermeticamente fechado e é indeformável. Aquece-se o sistema até atingir uma temperatura de 127°C. Calcule a pressão final.

2 ■ Certa massa de gás sofre uma transformação isométrica, passando sua pressão de 2,0 atm para 1,5 atm. Calcule a temperatura final da massa de gás, sendo que 70°C era a sua temperatura inicial.

3 ■ Uma determinada massa gasosa encontra-se inicialmente no estado A e sofre sucessivas transformações conforme esquematiza o diagrama ao lado. Determine os valores de P_C; V_C e V_D.



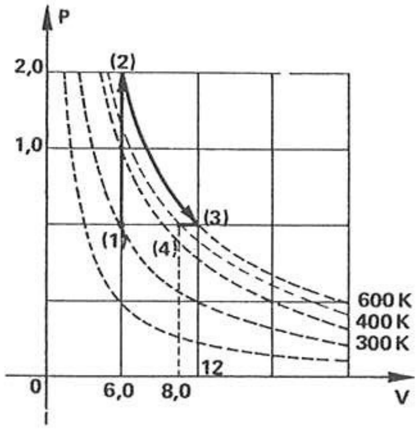
4 ■ Determinada massa gasosa encontra-se à temperatura T = 300 K, pressão P = 1,0 atm e ocupa um volume V = 6,0 litros. A massa é aquecida a volume constante até a temperatura de 600 K; em seguida é expandida isotermicamente, até que o volume seja de 12,0 litros, e finalmente é comprimida à pressão constante até que volume seja de 8,0 litros. Qual a pressão e temperatura final? Esquematize as transformações num diagrama P X V.

5 ■ Um pneu de automóvel contém ar à pressão de 18 libras e temperatura 27°C. Supondo o pneu indeformável, qual a pressão no interior do pneu, em litros, quando a temperatura aumentar para 57°C?

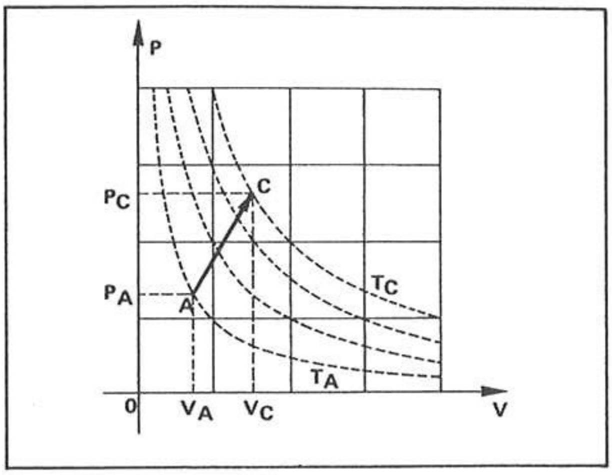
RESPOSTAS

1 ■ P ≅ 2,9 atm
2 ■ T ≅ 257 K
3 ■ P_C = 25 atm; V_C = 10 litros; V_D = 25 litros
4 ■ T = 400 K
$P_4 = P_1$ = 1,0 atm

5 ■ P = 19,8 ≅ 20 libras



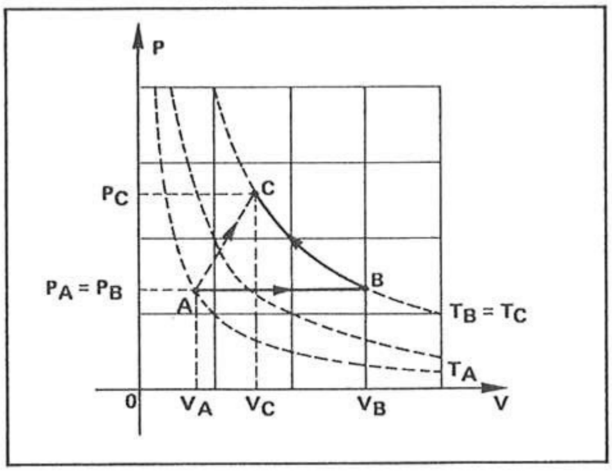
E — TRANSFORMAÇÃO GERAL — EQUAÇÃO DE GASES IDEAIS



1 ■ Vamos analisar agora o caso geral de transformação que determinada massa m de gás pode efetuar: o caso em que todas as variáveis de estado apresentam variações. No diagrama P × V ao lado, a massa m de um gás passa de um estado A para outro C. Analisando o diagrama, podemos dizer que a pressão (aumentou; diminuiu); o volume ____________ e a temperatura ____________. Qual a expressão matemática que relaciona as variáveis nos estados A e C? É o que iremos estabelecer.

****

aumentou; aumentou; aumentou



2 ■ A transformação descrita no item 1 pode ser decomposta em duas outras: a massa do gás pode ser expandida isobaricamente desde o estado A até um estado B de mesma temperatura do estado C, e em seguida comprimida isotermicamente até o estado C. Veja o diagrama ao lado. Qualquer que seja o caminho seguido, no estado A as variações que especificam o estado do gás são P_A, V_A e T_A e, no estado C, ________, ________ e ________.

****

P_C; V_C; T_C

3 ■ Na transformação isobárica de A até B, a equação que relaciona as variáveis de estado é ____________.

****

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B}$$

4 ■ Mas como $T_B = T_C$, então $\frac{V_A}{T_A}$ = ________. (I)

****

$$\frac{V_B}{T_C}$$

5 ■ Na transformação isotérmica de B para C, a equação que relaciona as variáveis é: ____________.

****

$P_B V_B = P_C V_C$

6 ■ Mas como $P_A = P_B$, então $P_C V_C$ = ____________. (II)

****

$P_A V_B$

7 ■ Temos então duas equações: (I)__________ = ____________ (II)__________ = ____________

Da equação II podemos explicitar o volume V_B = ____________, que substituído na equação I nos dá, após reagrupado, os elementos do mesmo índice:

____________ = ____________ .

****

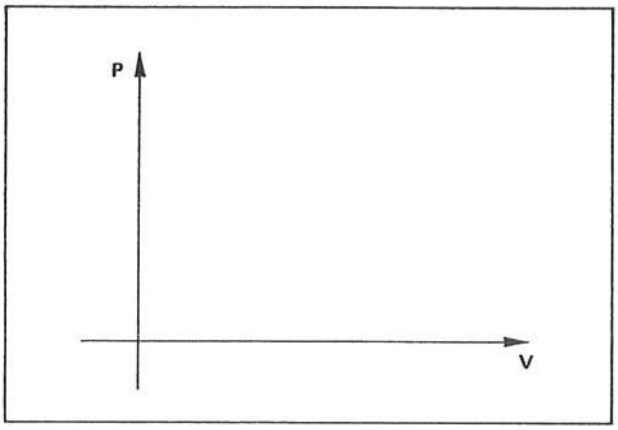
$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_C};\quad P_A V_B = P_C V_C;\quad V_B = \frac{P_C V_C}{P_A};\quad \frac{P_A V_A}{T_A} = \frac{P_C V_C}{T_C}$$

8 ■ A equação $\frac{P_A V_A}{T_A} = \frac{P_C V_C}{T_C}$ é a **equação geral dos gases**. Ela é geral porque engloba todas as transformações vistas anteriormente. Vejamos: se a transformação entre os estados A e C for isotérmica, $T_A = T_C$, logo, na equação geral T_A é cancelado por T_C, então $P_A V_A = P_C V_C$, que é a Lei de Boyle; se a transformação for isobárica, P_A = __________, e a equação geral torna-se ____________ ; e se a transformação for isométrica, ____________ e a equação geral torna-se ____________.

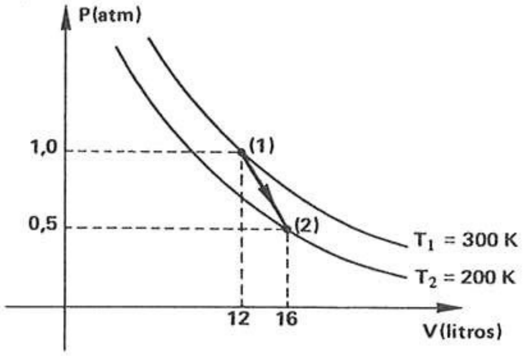
****

$$P_C;\quad \frac{V_A}{T_A} = \frac{V_C}{T_C};\quad V_A = V_C;\quad \frac{P_A}{T_A} = \frac{P_C}{T_C}$$

9 ■ Determinada massa de gás encontra-se à pressão de 1,0 atm, temperatura de 300 K e ocupa um volume de 12 litros. Por um processo qualquer a pressão é diminuída para 0,50 atm e a temperatura para 200 K. Qual é o volume final? No diagrama P X V cotado, esquematizar a transformação.



****



$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad\therefore\quad \frac{1 \times 12}{300} = \frac{0{,}5\, V_2}{200} \quad\therefore$$

$$\therefore\quad \boxed{V_2 = 16 \text{ litros}}$$

10 ■ Na cidade de São Paulo, determinada massa de gás ocupa um volume de 500 cm³ à temperatura de 7°C, no interior de um cilindro de êmbolo móvel de peso desprezível. Em Santos, quando a temperatura é 17°C à pressão de 1,0 atmosfera, o volume é de 480 cm³. Determine a pressão na cidade de São Paulo.

****

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad\therefore\quad \frac{P_1 \times 500}{280} = \frac{1{,}0 \times 480}{290} \quad\therefore\quad P_1 \cong 0{,}93 \text{ atm}$$

11 ■ Determinada massa m de gás ocupa 1 000 cm³ de volume quando a pressão é 720 mm Hg e temperatura de 27°C. Que volume este gás ocuparia nas condições normais de pressão e temperatura (CNPT), isto é, P = 760 mm Hg ou 1,0 atm e T = 273 K ou 0°C?

****

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad\therefore\quad \frac{720 \times 1\,000}{300} = \frac{760 \times V_2}{273} \quad\therefore\quad V_2 = 862 \text{ cm}^3$$

12 ■ A equação $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$ é válida aproximadamente todos os gases (reais) encontrados na natureza. Definimos o gás **ideal** aquele que obedece exatamente a equação acima exposta. Em todos os nossos problemas estaremos admitindo que os gases sejam ideais, isto é, obedecem_______________.

****

exatamente a Lei $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$ = constante

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Deduza a equação geral dos gases.

2 ■ Deduza a equação geral dos gases desde um estado A até outro C, mas considerando entre A e B uma transformação isobárica e entre B e C, uma transformação isométrica.

3 ■ A equação geral engloba as outras particulares? Explique.

4 ■ O que se quer dizer com CNPT? Explique.

5 ■ A equação geral é obedecida rigorosamente por todos os gases reais?

6 ■ O que se quer dizer com gás ideal?

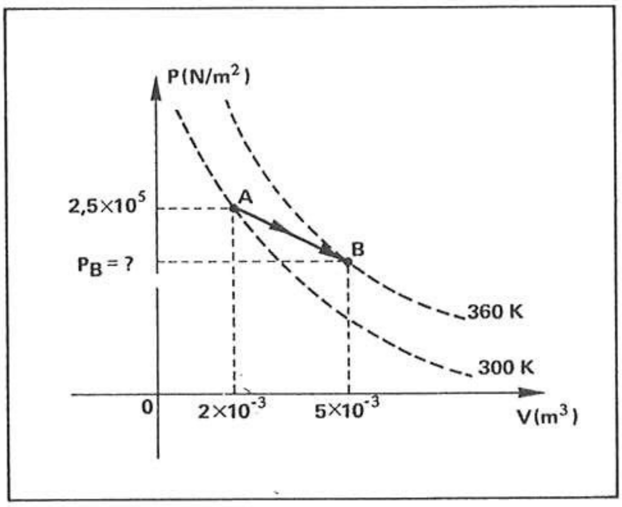
Após isso, você deve estar apto para:

a. deduzir a equação geral de gás ideal.

b. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Determinada massa de gás sofre a transformação esquematizada no diagrama ao lado. Determine a pressão final.



2 ■ À pressão de 1,80 atmosferas e temperatura de 0°C o volume ocupado por 64 gramas de oxigênio é de 44,8 litros. Que volume o gás ocuparia à pressão de 2,40 atmosferas e temperatura de −23°C?

3 ■ Certa massa de gás ocupa um volume de 1,80 × × 10^4 cm^3 à pressão de 1,37 atmosferas e temperatura de 27°C. Que volume ocuparia tal gás nas CNPT?

4 ■ Determinada massa de gás ocupa um volume de 0,84 m^3 à temperatura de 20°C e pressão de 1,0 × 10^5 N/m^2. O gás é expandido até ocupar um volume de 1,2 m^3, quando a sua pressão é de 0,7 × 10^5 N/m^2. Qual deve ser a nova temperatura do gás?

5 ■ Certa massa de gás ocupa, à temperatura de 27°C e pressão de 760 mm de Hg, um volume de 1,8 × 10^3 cm^3. O gás é expandido até uma temperatura de 400 K, quando o seu volume é 2,4 × 10^3 cm^3. Qual a nova pressão de gás?

RESPOSTAS

1 ■ P_B = 1,2 × 10^5 N/m^2 = 1,2 atm

2 ■ V ≅ 30,7 litros

3 ■ V ≅ 22,4 × 10^3 cm^3 = 22,4 litros

4 ■ T = 293 K = 20°C

5 ■ P = 760 mm Hg = 1,0 atm

F – EQUAÇÃO DE ESTADO DE UMA MASSA DE GÁS IDEAL

1 ■ A fórmula molecular do oxigênio é O_2. A massa molecular do oxigênio é M = 32 g, pois o peso atômico do oxigênio é 16. 1 mol de gás oxigênio corresponde então a 32 g de oxigênio. A massa de 2 moles de oxigênio é ________.

****

64 g

2 ■ O gás carbônico possui fórmula molecular CO_2. Sendo C = 12 e O = 16, um mol de CO_2 terá massa M = ____. O número de moles que existe em 220 g de CO_2 é n = _____.

****

44 g; 5

3 ■ Em geral, se M é a massa molecular do gás, 1 mol do gás terá massa m = ______; 2 moles terá m = ____; 3 moles terá massa m = _______ e n moles do gás terá massa m = _________.

****

M; 2M; 3M; $n \cdot M$

4 ■ A expressão que relaciona a massa m do gás, o número de moles n e a massa molecular M desse gás é _______________.

****

$m = n \cdot M$

5 ■ $m = n \cdot M$. O número de moles n que existe em m gramas de um gás de massa molecular M gramas é n = _______.

****

$\frac{m}{M}$

6 ■ A massa molecular do hidrogênio (H_2) é M = 2 g. Quantos moles existem em 10 g de hidrogênio?

****

$n = \frac{10}{2} = 5$

7 ■ O nitrogênio (N_2) tem massa molecular M = 28 g. Quantos gramas de nitrogênio correspondem a 10 moles do gás?

****

$m = nM = 280$ g

8 ■ 6 moles de gás Hélio correspondem a 24 gramas de massa. Qual é a massa molecular do Hélio?

****

$M = \frac{m}{n} = 4$ gramas

9 ■ Então, a expressão $n = \frac{m}{M}$ permite determinar o ________________________ existente em _____ gramas do gás de massa molecular _______________.

****

número de moles n; m; M gramas

10 ■ Estamos agora interessados em determinar uma expressão que relacione a massa do gás ou o número de moles do gás com suas variáveis de estado. Por exemplo, se n moles de determinado gás ocupa um volume V, à pressão P e temperatura T, qual a relação existente entre n, P, V e T?
É esta relação que iremos definir. Siga no item 11.

11 ■ Com relação aos gases, existe uma conclusão, denominada **Lei de Avogadro**, que você já deve ter estudado na Química, que diz: "cada mol de qualquer gás, nas condições normais de pressão e temperatura (CNPT), ocupa um volume de 22,4 litros". Então, 1 mol de oxigênio a 273 K e 1,0 atmosfera de pressão ocupará um volume de ______________________.

****

22,4 litros

12 ■ Se tivermos 2 moles de oxigênio nas CNPT, isto é; T_0 = ______ e P_0 = ________, o volume V_0 = ________.

****

273 K ou 0°C; 1,0 atm; 2 × 22,4 = 44,8 litros

13 ■ Se tivermos, seguindo o raciocínio, n moles de gás nas CNPT, o volume ocupado será V = ________________.

****

$n \cdot 22{,}4$ litros

14 ■ Vamos admitir que 1 mol de gás passa de um estado inicial nas CNPT onde T_0 = ________ ; P_0 = ________ e V_0 = __________ para outro de pressão P, volume V e temperatura T. Pela lei geral dos gases ideais temos:

$$P\frac{V}{T} = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.$$

Como T_0, V_0 e P_0 são constantes para 1 mol de qualquer gás, então $\frac{P_0V_0}{T_0}$ (é; não é) constante. Denominaremos esta constante de R. Logo R = __________.

****

273 K; 1,0 atm; 22,4 ℓ; $\frac{P_0V_0}{T_0}$; é; $R = \frac{P_0V_0}{T_0}$

15 ■ Portanto, para 1 mol de qualquer gás podemos escrever:

$$P\frac{V}{T} = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.$$

****

R

16 ■ Se tivermos, ao invés de 1 mol, n moles de qualquer gás, então o volume ocupado, nas CNPT, será de ________.
Sendo o volume n × 22,4 ℓ, então a razão $\frac{P_0V_0}{T_0}$ será __________ (quantas vezes maior que R?).

****

n × 22,4 ℓ; $n \cdot R$

17 ■ Portanto, para n moles de qualquer gás à temperatura T, pressão P e volume V, teremos:

$$P\frac{V}{T} = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \quad \text{ou} \quad PV = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_.$$

****

nR; nRT

18 ■ A expressão PV = nRT relaciona a pressão P, o volume V, a temperatura T com o ______________________.
Esta expressão corresponde à **equação de estado de qualquer gás ideal**. Nesta equação, R é uma constante e é chamada de **constante dos gases**.

****

o número n de moles

19 ■ O valor da constante dos gases R depende das unidades em que forem expressos o volume e a pressão, uma vez que para os gases a temperatura é sempre expressa em graus ______________________. Se a pressão for expressa em atmosferas e o volume em litros, então, nas CNPT, **por mol** de qualquer gás teremos: $V_0 = 22,4\ \ell/\text{mol}$; $P_0 =$ __________ e $T_0 =$ __________ e logo $R = \frac{P_0 V_0}{T_0} =$ ______________________.

****

Kelvin ou Absolutos; 1,0 atm; 273 K, $R = 8,2 \times 10^{-2}\ \frac{\text{atm} \times \ell}{\text{mol} \times \text{K}}$

20 ■ Se o volume for expresso em cm^3 e a pressão em mm de Hg (milímetros de mercúrio), então, nas CNPT, por mol de cada gás teremos $V_0 =$ ______________________ (1 litro = $10^3\ cm^3$); $T_0 =$ __________ e $P_0 =$ ______________ (1 atm = 760 mm Hg) e logo R = ______________________.

****

$22,4 \times 10^3\ cm^3/\text{mol}$; 273 K; 760 mm Hg; $R \cong 62,4 \times 10^3\ \frac{cm^3 \times \text{mm Hg}}{\text{mol} \times \text{K}}$

21 ■ Determine o valor de R para:

a) T em K; P em mm Hg; V em litros R = ______________________.

b) T em K; P em cm Hg; V em cm^3 R = ______________________.

c) T em K; P em cm Hg; V em litros R = ______________________.

****

$62,4\ \frac{\ell \times \text{mm Hg}}{\text{mol} \times \text{K}}$; $62,4 \times 10^2\ \frac{cm^3 \times \text{cm Hg}}{\text{mol} \times \text{K}}$; $6,24\ \frac{\ell \times \text{cm Hg}}{\text{mol} \times \text{K}}$

22 ■ Se utilizarmos extritamente as unidades do SI, então teremos $P_0 = 1\ \text{atm} = 1,013 \times 10^5\ N/m^2$; $V = 22,4 \times 10^{-3}\ m^3$ e R = ______________________.

****

$$\cong 8,31\ \frac{(N/m^2) \times (m^3)}{\text{mol} \times \text{K}} = 8,31\ \frac{\text{N} \times \text{m}}{\text{mol} \times \text{K}} = 8,31\ \frac{\text{J}}{\text{mol} \times \text{K}}$$

23 ■ Portanto, a equação que define o estado de n moles de qualquer gás a volume V, pressão P e temperatura T é = ______________. R é uma constante denominada de ______________________ e (depende; não depende) das unidades utilizadas.

****

PV = nRT; constante dos gases; depende

24 ■ Quantos moles de hidrogênio são necessários para encher um recipiente de volume 5,0 litros de modo que à temperatura de 27°C a pressão seja de 2,0 atmosferas?
Devemos usar R = ______________________.

****

$8,2 \times 10^2\ \frac{\ell \times \text{atm}}{\text{mol} \times \text{K}}$; $PV = nRT$ $n = \frac{PV}{RT} = \frac{5,0 \times 2,0}{8,2 \times 10^{-2} \times 300} \cong 0,041$ moles ou $m \cong 0,082$ g de H_2

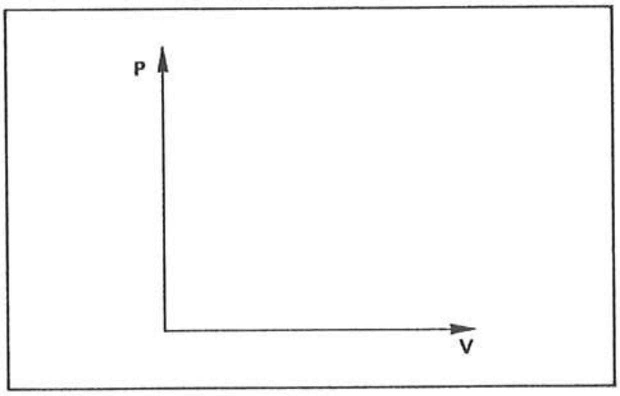
25 ■ 8,0 gramas de Hélio (M = 4,0 g) ocupa um volume de 20 litros à temperatura de 27°C. Qual a pressão, em atmosferas, do gás?

O número de moles é n = __________; V = ________; T = _________ e R = __________________,
logo P = ________________.

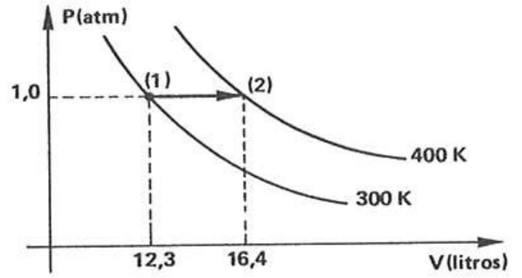
****

2,0 moles; 20 ℓ; 300 K; $8{,}2 \times 10^{-2}\ \dfrac{\text{atm} \times \ell}{\text{mol} \times \text{K}}$; $P \cong 2{,}5$ atm

26 ■ Um cilindro contém 0,50 moles de nitrogênio a 27°C. O cilindro é provido de um êmbolo móvel sem atrito de modo que a pressão seja sempre 1 atm. O gás é aquecido até que a temperatura seja T = 400 K. Esquematize a transformação no diagrama P X V cotado.



****



$$V_1 = \frac{nRT_1}{P_1} = 12{,}3\ \ell$$

$$V_2 = \frac{nRT_2}{P_2} = 16{,}4\ \ell$$

27 ■ Quantos moles de hidrogênio são necessários para manter uma pressão de 20×10^5 N/m² em um recipiente de 4,0 litros a 27°C?

Como a pressão é dada em N/m², o volume deve ser expresso em m³. 4,0 litros = ________________ m³;
R = ____________________ e então n = _______________.

****

$V = 4{,}0 \times 10^{-3}$; $R = 8{,}31\ \dfrac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{mol} \times \text{K}}$; $n \cong 3{,}2$ moles

28 ■ $2{,}56 \times 10^3$ g de oxigênio (M = 32 g) ocupam 82 litros de volume num recipiente à temperatura de −23°C. Qual a pressão no interior do recipiente?

****

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{80 \times 0{,}082 \times 250}{82} = 20 \text{ atm}$$

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Como se determina o nº de moles, conhecida a massa do gás e sua massa molecular?

2 ■ Qual é a Lei de Avogadro?

3 ■ Nas CNPT, qual o volume ocupado por um mol de CO_2? E por 1 mol de H_2?

4 ■ Qual é a equação de estado de um gás ideal? Identifique os elementos da expressão.

5 ■ Como se determina o valor da constante dos gases? Prepare-se para fazer os cálculos.

6 ■ Se a temperatura for expressa em K, a pressão em N/m² e o volume em m³, qual o valor de R?

Após isso, você deve estar apto para:

a. determinar o nº de moles, dada a massa do gás e sua massa molecular.
b. calcular o valor da constante R em diversas unidades.
c. escrever a equação de estado de um gás ideal e identificar pelo nome os elementos dessa equação.
d. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ 2,0 gramas de nitrogênio (M = 28 gramas) ocupam volume de $820\ cm^3$ à temperatura de 280 K. Determine:
a) o número de moles do gás;
b) a pressão do gás em N/m^2.

2 ■ Dentro de um botijão de capacidade 10,0 litros existe gás nitrogênio à pressão de $8{,}31 \times 10^5\ N/m^2$ à temperatura de 7,00°C.
a) Qual é o número de moles de gás?
b) Qual a massa de nitrogênio?

3 ■ As dimensões de uma sala de aula são: altura = 3,0 m; largura = 5,0 m e comprimento = 8,0 m. A pressão do ar dentro da sala é de 750 mm Hg e a temperatura é de 27°C. Supondo que a massa molecular do ar seja M = 30 g, determine:
a) o volume ocupado pelo ar em m^3 e em litros;
b) o número de moles de ar existente dentro da sala;
c) a massa de ar dentro da sala.

4 ■ No problema 1, qual seriam as respostas aos itens (a) e (b) se ao invés de Nitrogênio o gás fosse Hidrogênio (M = 2 g)?

5 ■ No interior de um botijão encontra-se determinada massa de gás dióxido de enxofre SO_2 (M = 64 g) sob pressão de 76 cm Hg e temperatura de 27°C, ocupando um volume de $25 \times 10^{-3}\ m^3$. Calcule a massa de SO_2.

RESPOSTAS

1 ■ a) n = 1/14 moles b) $P \cong 2{,}0 \times 10^5\ N/m^2 \cong 2{,}0$ atm
2 ■ a) n = 3,57 moles b) $m \cong 100$ g
3 ■ a) $V = 1{,}2 \times 10^2\ m^3 = 1{,}2 \times 10^5$ litros
b) $n \cong 4{,}8 \times 10^3$ moles
c) m = 144 kg
4 ■ a) n = 1,0 mol b) $P \cong 28 \times 10^5\ N/m^2$
5 ■ $m \cong 64$ g

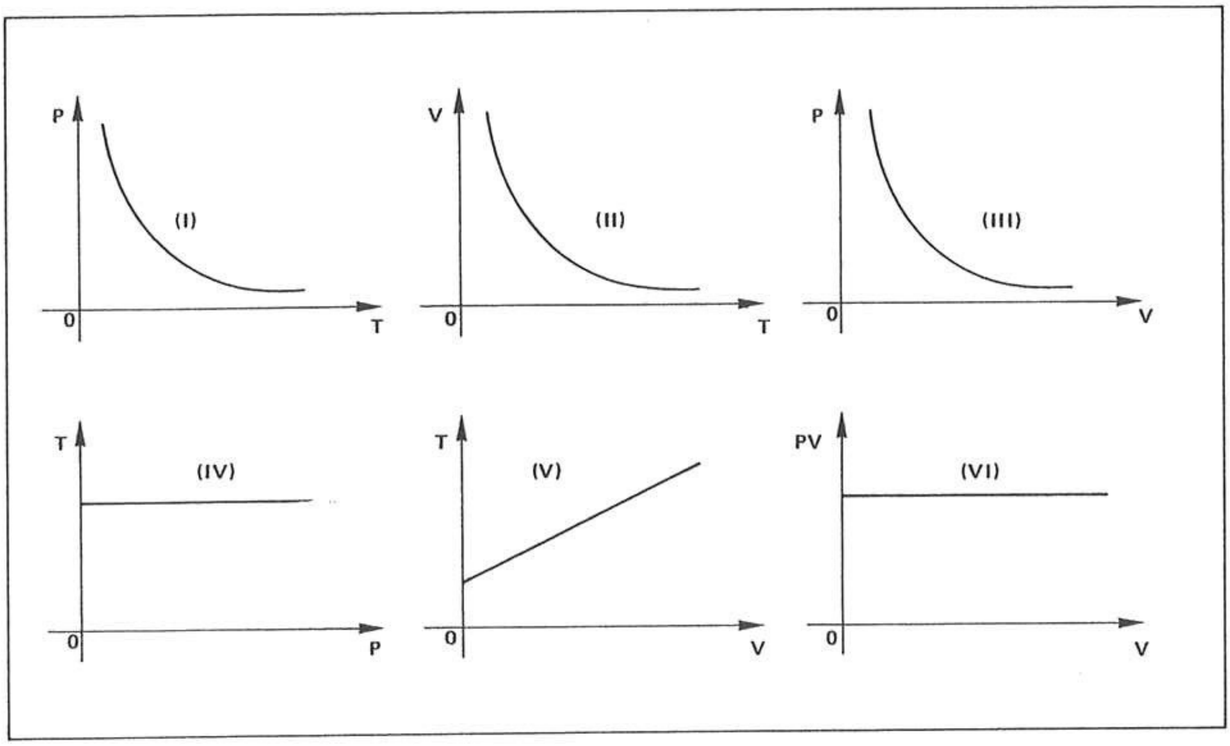
G – PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Um recipiente contém 50 ℓ de gás sob pressão de 10 atmosferas. Sem alterar a temperatura, qual a pressão para reduzir o volume a 40 ℓ?

2 ■ Um gás sob pressão normal ocupa um volume de 10 ℓ. Se a pressão for reduzida para 19 cm de Hg sem variar a temperatura, qual será o volume ocupado pelo gás?

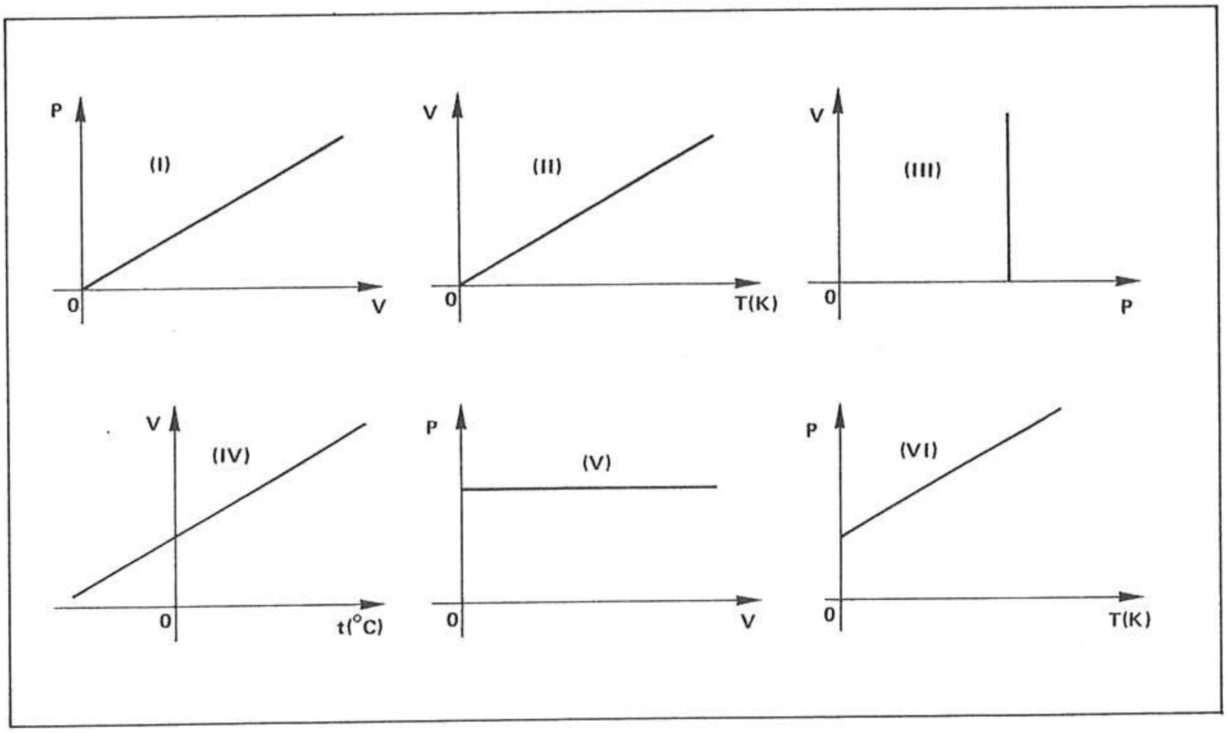
3 ■ Um certo volume de gás está a uma temperatura constante de 100°C e sob uma pressão igual a 15 atm. Qual deve ser o aumento de pressão para reduzir o volume a um quarto do valor inicial?

4 ■ Assinale os gráficos que estão relacionados com a transformação isotérmica.



5 ■ Uma seringa contém 6 cm^3 de ar sob pressão normal e temperatura ambiente. Fecha-se a saída da seringa e comprimi-se o êmbolo até que o ar ocupe 2 cm^3. Calcule a pressão adicional que foi aplicada no êmbolo.

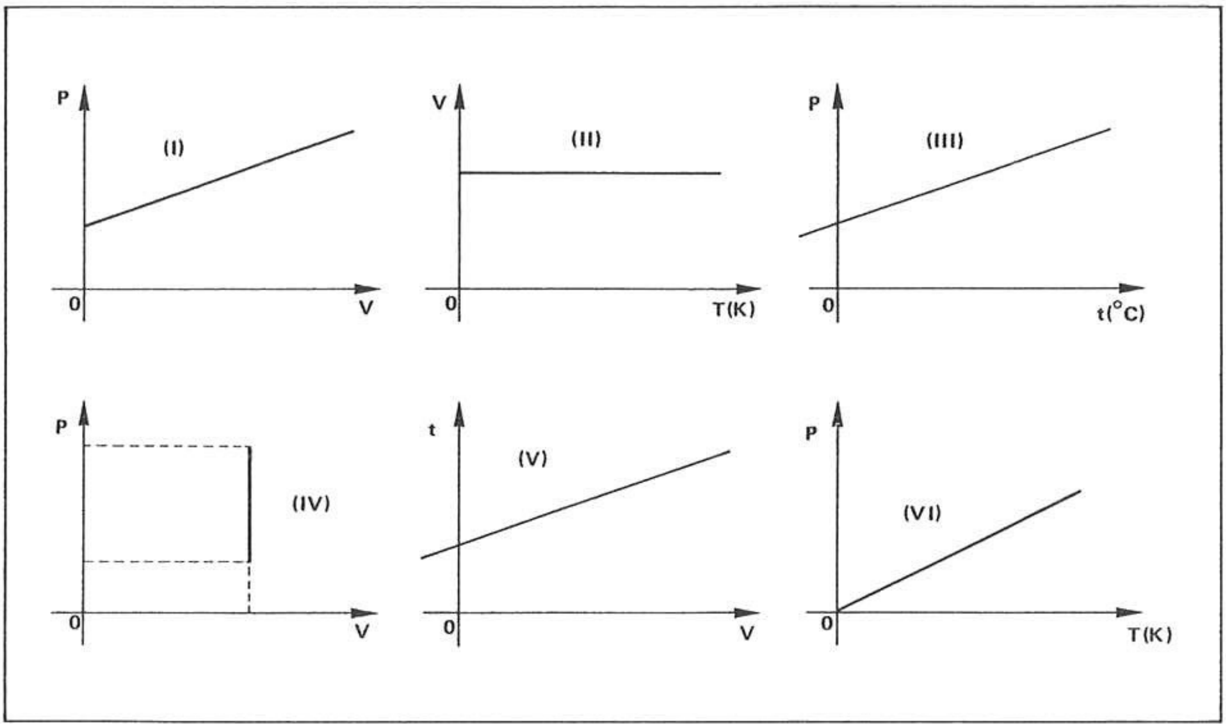
6 ■ Assinale os gráficos que estão relacionados com a transformação isobárica.



7 ■ Uma determinada quantidade de gás ocupa um volume de 20 cm^3 à temperatura de 27°C. Considerando que a pressão é mantida constante, determine o volume do gás quando a temperatura passar para 227°C.

8 ■ Um litro de ar a 30°C é levado, sob pressão constante, a uma temperatura cujo valor na escala Celsius é 4 vezes maior. Qual o volume de gás no estado final?

9 ■ Assinale os gráficos que estão relacionados com a transformação isocórica.



10 ■ Um recipiente hermeticamente fechado encerra uma massa gasosa à temperatura de $-23°C$ e sob pressão de 40 cm de Hg. Qual é a pressão exercida por essa massa gasosa, quando a temperatura atinge 500 K?

11 ■ Um gás sob pressão de 70 cm de Hg ocupa um volume de 5 ℓ a 0°C. Qual a temperatura necessária para quadruplicar a pressão? (Considere a transformação isométrica).

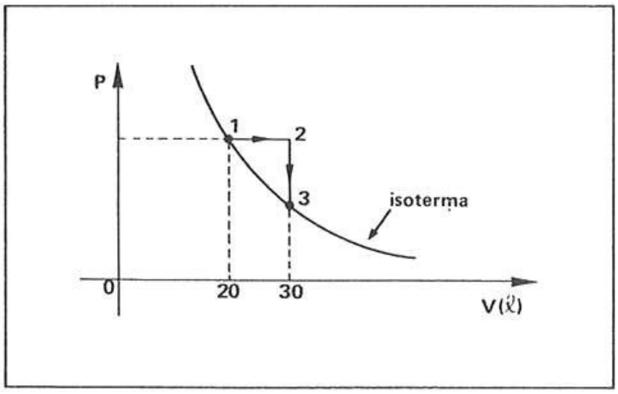
12 ■ Um volume de 20 cm^3 de um gás encontra-se a 0°C. Sabendo-se que a pressão é triplicada quando a temperatura passa a 187°C, qual será o novo volume do gás?

13 ■ Uma quantidade de ar está contida num tubo graduado em cm^3 ao qual está adaptado um êmbolo estacionado na marca 2 cm^3. O ar está a 27°C, exercendo uma pressão igual a 75 cm de Hg. Se o ar for resfriado a $-13°C$, a pressão se reduz para 15 cm de Hg. Qual deve ser o volume ocupado pelo ar nas novas condições?

14 ■ Um mol de um gás sofre a transformação $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ indicada no gráfico ao lado. Considerando que a temperatura inicial é $T_1 = 300$ K, determine:

a) a temperatura no estado 2;

b) a temperatura no estado 3.



15 ■ Dois moles de nitrogênio, a 27°C, ocupam um volume de 2 ℓ.

a) Qual é a pressão?

b) Se o volume é duplicado e a temperatura passar para 227°C, qual a nova pressão? Considere $R = 0{,}082 \dfrac{atm \cdot \ell}{K \cdot mol}$

16 ■ Comprimem-se isotermicamente 10 ℓ de um gás, a 27°C sob pressão inicial de 1 atm até um volume de 2 ℓ; expande-se então o gás, isobaricamente, até o volume inicial. Mostre a transformação em um diagrama P × V e calcule a temperatura final.

17 ■ Uma quantidade de gás ocupa inicialmente uma esfera de raio 1 cm à temperatura de 300 K e pressão de 2 atm. Essa massa de gás é transferida para outra esfera de raio 2 cm numa temperatura de 600 K. Calcule a pressão exercida pelo gás na segunda esfera.

18 ■ O recipiente de vidro esquematizado ao lado (fig. 1), tem capacidade $50\ cm^3$. Adapta-se ao mesmo um tubo vertical graduado em cm^3 de modo a obter o conjunto da fig. 2. Colocando-se uma gota d'água no tubo, verifica-se que ela estaciona na marca $1{,}0\ cm^3$ quando a temperatura é 10°C. Colocando-se o conjunto num determinado recinto, observa-se que a gota sobe até atingir a divisão 40. Desprezando a variação do recipiente, determine a temperatura no recinto.

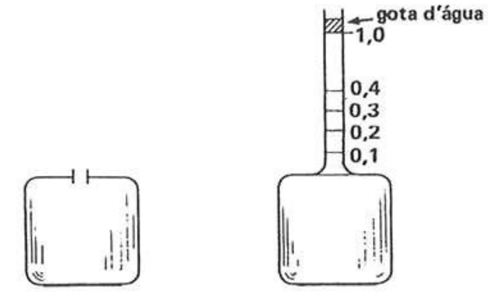
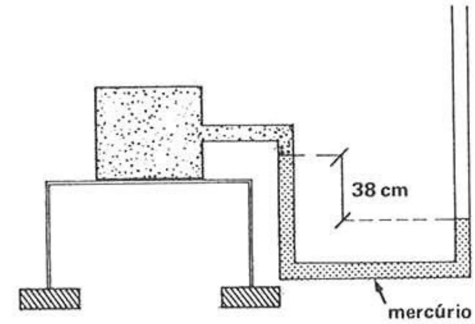


Fig. 1 Fig. 2

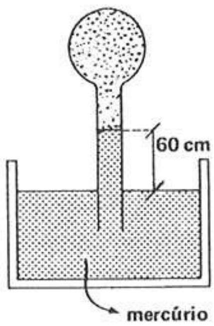
19 ■ O gás contido no recipiente esquematizado ao lado encontra-se a −73°C, ocupando o volume de 16,4 ℓ. A pressão atmosférica local é 1 atm e a constante dos gases é $R = 0{,}082\ \frac{atm \cdot \ell}{K \cdot mol}$. Determine o número de moles do gás.



20 ■ No sistema esquematizado ao lado, a capacidade do balão é $500\ cm^3$ e do tubo vertical é desprezível. O gás encerrado no balão encontra-se a 27°C e a pressão atmosférica local é 70 cm de Hg.

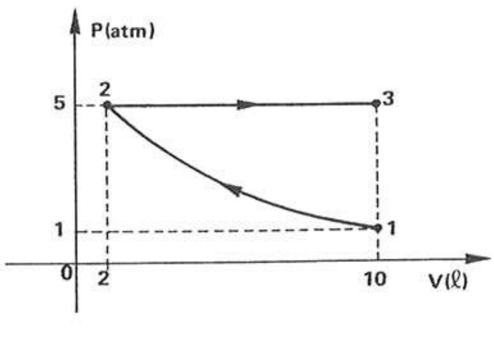
a) Calcule a pressão exercida pelo gás.

b) Se a temperatura se elevar para 127°C, qual será a nova altura da coluna de mercúrio no tubo?



RESPOSTAS

1 ■ P = 12,5 atm
2 ■ V = 40 ℓ
3 ■ ΔP = 45 atm
4 ■ (III); (IV); (VI)
5 ■ ΔP = 2 atm
6 ■ (II); (III); (IV); (V)
7 ■ $V \cong 33{,}3\ cm^3$
8 ■ $V \cong 1{,}3\ \ell$
9 ■ (II); (III); (IV); (VI)
10 ■ P = 80 cm de Hg
11 ■ t = 819°C
12 ■ $V = 11{,}2\ cm^3$
13 ■ $V \cong 2{,}2\ cm^3$
14 ■ a) T = 450 K
b) T = 300 K
15 ■ a) P = 24,6 atm
b) P = 20,5 atm
17 ■ P = 0,5 atm
18 ■ t = 26,6°C
19 ■ n = 0,5 mol
20 ■ a) P = 10 cm de Hg
b) $h \cong 13{,}3$ cm
16 ■ $T = 1500\ K = T_3$



3ª PARTE : Energia térmica - calor

Quando estudamos o Princípio da Conservação da Energia Mecânica, vimos que a soma das energias cinética e potencial de um sistema isolado se mantinha constante. Entretanto, na prática, tal situação não é observável, uma vez que sempre constatamos um decréscimo da energia mecânica total do sistema. Considere o exemplo de um pêndulo posto a oscilar (fig. 1). Se não houvesse atrito, o pêndulo ficaria eternamente oscilando entre os pontos A e B; entretanto, na presença do ar, surge a força de atrito (resistência do ar e o efeito de fricção no ponto de apoio O) que ocasiona o retardamento do movimento, levando o pêndulo ao repouso ao fim de certo tempo. Assim, em virtude do atrito, a energia mecânica do pêndulo desaparece como tal e ressurge como energia das moléculas do pêndulo, do apoio e do ar. No exemplo, a dissipação da energia mecânica é constatada através da verificação do aquecimento do pêndulo e do ar que o envolve.

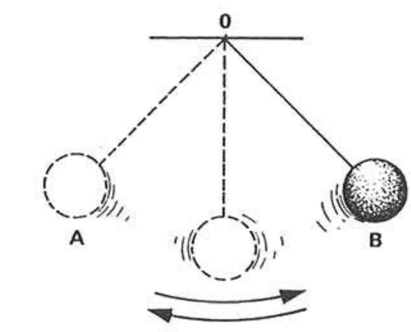


fig. 1

Quantas vezes você esfregou suas mãos, num dia frio, para aquecê-las? Na realidade, através do atrito, você estava transformando energia mecânica em calor ou energia calorífica.

Quando dois objetos, um quente e outro frio, são colocados um em contato com o outro (fig. 2), observamos que o objeto frio torna-se quente e o objeto inicialmente mais quente, esfria-se. Tal situação evidencia um fenômeno que pode ser traduzido pelo que chamamos **transferência de energia.** Uma parte da energia interna do corpo quente flui para o corpo frio. Tal fenômeno é chamado **fluxo de calor.** O termo **calor** será utilizado quando nos referimos a este tipo de energia em trânsito.

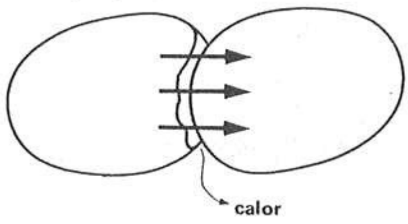


fig. 2

Experiências cuidadosas mostraram que energia mecânica e calor são equivalentes; isto comprova que o calor é um tipo de energia. Assim, constata-se que quando uma certa quantidade de trabalho mecânico é convertido em calor obtém-se sempre a mesma quantidade de calor. Resumidamente, o **calor** é definido como a **energia em trânsito entre um objeto e outro ou sua vizinhança, quando entre eles houver diferença de temperatura.**

Nesta parte será desenvolvido, inicialmente, o conceito de calor como forma de energia e será definida uma unidade para medí-lo. Destacaremos em seguida os conceitos de capacidade térmica e de calor específico como grandezas características das substâncias.

Em seguida analisaremos algumas propriedades físicas que as substâncias experimentam quando elas sofrem perda ou ganho de calor. Tais são as mudanças de estado, o Princípio da Igualdade das Trocas de Calor e a trasnferência de calor.

Após vencer com sucesso esta parte você deve ser capaz de:

a. conceituar calor.
b. definir unidade de medida de calor.
c. definir capacidade térmica de um corpo.
d. definir calor específico de uma substância.
e. caracterizar as fases de mudança de estado.
f. relacionar trocas de calor com o Princípio da Conservação de Energia.
g. caracterizar a influência da variação da pressão nas mudanças de estado.
h. definir as formas de condução térmica.
i. resolver questões e problemas propostos.

SEÇÃO 1 – CALOR E SUA MEDIDA

A – CALOR – UMA FORMA DE ENERGIA

- CALOR E VARIAÇÃO DE TEMPERATURA
- VARIAÇÃO DE ENERGIA INTERNA DE UMA SUBSTÂNCIA

Estudaremos nesta parte alguns efeitos da transferência de calor de um corpo para outro e seus efeitos sobre os estados físicos da matéria.

1 ■ Um refrigerante a 5°C é retirado de uma geladeira e após certo tempo verifica-se que a temperatura do mesmo é de 20°C. Dizemos que a energia interna do refrigerante (aumentou; diminuiu; permaneceu constante). Esta energia foi (recebida dos; cedida para os) corpos de sua vizinhança sob a forma de calor.

* * * * * * * * * * * *

aumentou; recebida dos

2 ■ O calor recebido pelo refrigerante aumentou a sua energia interna e constatamos uma variação na sua temperatura. Se o refrigerante fosse retornado ao interior do refrigerador e sua temperatura voltasse a 5°C, sua energia interna (aumentaria; diminuiria). A mesma quantidade de calor recebida para levar o refrigerante de 5°C para 20°C (seria; não seria) cedida quando ele passasse de 20°C para 5°C.

* * * * * * * * * * * *

diminuiria; seria

3 ■ Ao misturarmos um pouco de café a 80°C com leite a 20°C observamos que após certo tempo a mistura atinge a temperatura de 45°C. Nestas condições, a energia interna do café (aumentou; diminuiu; permaneceu a mesma) ao passo que a do leite _______________.

* * * * * * * * * * * *

diminuiu; aumentou

4 ■ Ao colocarmos no fogo uma panela com água, notamos uma variação de temperatura da água, graças ao _______________ de sua energia interna.

* * * * * * * * * * * *

aumento

5 ■ Observamos que quando a temperatura de um corpo aumenta, a sua energia interna _______________, ao passo que quando a temperatura de um corpo diminui, sua energia interna _______________. No primeiro caso dizemos que o corpo (recebeu; forneceu) calor, e no segundo caso, ele _______________ calor.

* * * * * * * * * * * *

aumenta; diminui; recebeu; cedeu

6 ■ Nem sempre a variação de energia interna de um corpo é acompanhada por uma variação de temperatura. Sabemos que quando um corpo sofre mudança de estado à pressão constante, apesar de lhe ser fornecido ou retirado calor, sua temperatura não varia. Assim, quando se fornece calor para gelo a 0°C ele se funde transformando-se em água a 0°C. Enquanto se processa esta mudança de estado sua temperatura não varia, apesar de se estar fornecendo calor para ele, ou seja (aumentando; diminuindo) sua energia interna. Este fato foi visto na termometria quando você estudou pontos fixos em escalas termométricas.

* * * * * * * * * * * *

aumentando

7 ■ Para se transformar uma certa quantidade de gelo a 0°C em água também a 0°C deve ser fornecida uma certa quantidade de calor para que este fenômeno (**fusão**) ocorra. A mesma quantidade de calor deverá ser retirada da água a 0°C se quisermos novamente transformá-la em gelo a 0°C; este fenômeno é chamado de **solidificação**. Na fusão, a energia interna da substância (aumenta; diminui; permanece constante), ao passo que na solidificação a energia interna da substância ________________.

****

aumenta; diminui

8 ■ Ambos os fenômenos, fusão e solidificação se processam (com; sem) variação de temperatura.

****

sem

9 ■ A água, quando atinge a temperatura de 100°C à pressão normal (1 atm), novamente sofre mudança de estado — transforma-se em vapor d'água. Tal fenômeno é conhecido como **vaporização**. Já a transformação do vapor em líquido recebe o nome de **liquefação ou condensação**. Através de vaporização, a substância absorve calor e sua energia interna ________________, ao passo que com a condensação ou liquefação, a substância ________________ e a sua energia interna ________________.

****

aumenta; cede calor; diminui

10 ■ Todas as substâncias, ao sofrerem mudança de estado, absorvem ou cedem ________________. Enquanto se processa uma mudança de estado, se a pressão não varia, a temperatura ________________.

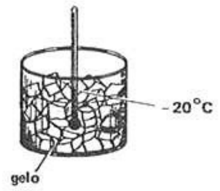
****

calor; não varia ou permanece constante

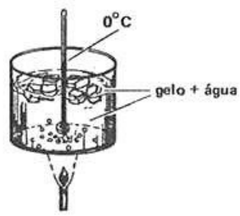
Leia e observe atentamente o quadro I. Ele se refere aos itens 11 a 20.

QUADRO I

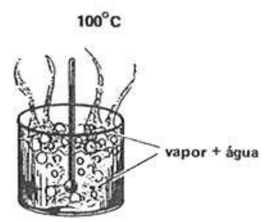
1 ■ Considere o sistema representado ao lado: um recipiente contendo gelo a − 20°C e um termômetro para o registro de temperaturas. A pressão ambiente é normal (1 atm).



2 ■ Uma fonte de calor (chama) passa a fornecer calor ao gelo e a temperatura cresce até atingir 0°C. Nesta temperatura, embora o gelo continue a absorver calor, não há variação de temperatura, pois está ocorrendo mudança de fase (fusão).

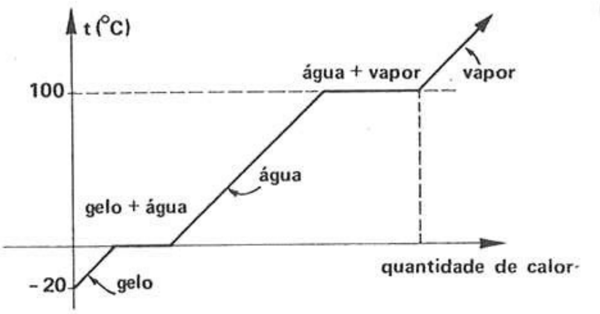


3 ■ Após a fusão, nota-se que se a fonte continuar a fornecer calor, a temperatura recomeça a crescer. Tal fenômeno continuará até a água atingir 100°C. Nesta temperatura a água entra em ebulição e se processa uma nova mudança de fase: a água transforma-se em vapor e, novamente, enquanto isto acontece, a temperatura da água em ebulição não se altera.



4 ■ Se recolhermos o vapor d'água a 100°C e continuarmos o fornecimento de calor, a sua temperatura subirá. Entretanto, enquanto existir água, a temperatura desta não se altera.

5 ■ O gráfico ao lado ilustra o fenômeno descrito acima. Nele estamos representando a variação de temperatura da substância descrita no item 1 em função do calor recebido.



11 ■ O gelo a -20°C, ao receber calor, (sofre; não sofre) variação de temperatura. Sua energia interna (aumenta; diminui; permanece constante) e a sua temperatura (aumenta; diminui; permanece constante).

★★★★★★★★★★★★

sofre; aumenta; aumenta

12 ■ A experiência descrita permite concluir que quando a substância H_2O sofre mudança de estado, a sua temperatura (varia; não varia). Este fenômeno é comum a todas as substâncias.

★★★★★★★★★★★★

não varia

13 ■ Enquanto ocorre mudança de estado, a substância (pode; não pode) existir em dois estados distintos simultaneamente, à mesma ________________. Desta forma, podemos verificar que na fusão a substância coexiste no estado ________________, e na vaporização, a substância coexiste no estado líquido e ________________.

★★★★★★★★★★★★

pode; temperatura; líquido; vapor

14 ■ A maioria das substâncias apresenta mudança de estado em temperaturas bem determinadas, desde que sobre elas também exista uma pressão bem determinada. O aumento ou diminuição de pressão sobre uma substância determina uma alteração na sua temperatura de mudança de estado. Em toda mudança de estado há variação da energia interna da substância (com; sem) a variação de temperatura.

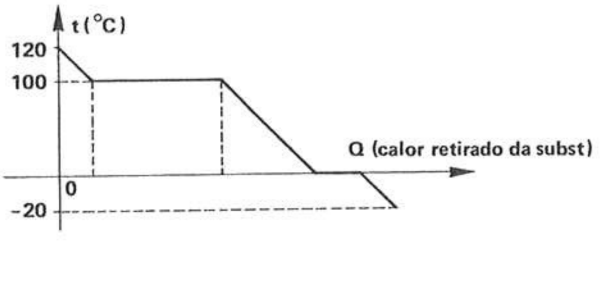
★★★★★★★★★★★★

sem

15 ■ Se tivéssemos certa quantidade de vapor d'água a 120°C e o resfriássemos até atingir a temperatura de - 20°C, estaríamos (retirando; fornecendo calor) calor da substância, e conseqüentemente, a sua energia interna (estaria; não estaria) diminuindo. Faça um esboço da referida curva de resfriamento.

★★★★★★★★★★★★

retirando; estaria



16 ■ A quantidade de calor necessária para variar a energia interna de uma substância não depende apenas da temperatura ou do estado em que se encontra a substância. Assim, para elevarmos a temperatura de 20 g de água de 0°C até 100°C devemos fornecer muito mais calor do que para elevar a mesma massa de cobre também de 0°C até 100°C. Da mesma forma, se 20 g de cobre fossem levados de 100°C até 50°C, liberariam uma quantidade de calor (maior que; menor que; igual a) 20 g de água que também fosse levada a 100°C até 50°C.

****

menor que

17 ■ Se 200 g de água a 30°C fossem jogados sobre um grande bloco de gelo a 0°C, fundiria uma determinada quantidade de gelo. Se tivéssemos lançado o dobro de água à mesma temperatura, a quantidade de gelo fundido seria (maior; menor; a mesma). Logo, quanto maior a massa de uma substância, maior é a quantidade de calor que ela necessita receber ou fornecer para se obter uma variação de temperatura.

****

maior

18 ■ Um objeto terá mais energia interna quanto maior for sua massa e maior for sua temperatura. Dois pedaços de alumínio estão na mesma temperatura. O que tiver maior ______________ terá mais energia interna.

****

massa

19 ■ A energia interna de um objeto está associada à energia potencial e cinética das partículas que o compõem. Já a energia térmica está associada apenas à energia cinética das partículas. Portanto, quando um objeto recebe ou cede calor, isto é devido à variação das energias individuais das partículas que o compõem. A quantidade de energia interna de um objeto determina sua temperatura; a mesma quantidade de energia interna possuída por diversos objetos não implica, entretanto, que eles estejam a uma mesma temperatura. Ao aumentarmos a temperatura de uma substância suas partículas (ganham; perdem) energia.

****

ganham

20 ■ Podemos concluir que a relação entre energia interna e temperatura é diferente para materiais distintos, dependendo também da massa dos objetos. A absorção ou transmissão de calor pode, além de produzir mudança de estado físico da matéria, alterar sua ________________.

****

temperatura

QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

1 ■ O que é calor?

2 ■ O que acontece com a energia interna de um corpo quando a sua temperatura aumenta? E quando diminui?

3 ■ Quando uma substância absorve calor, sua temperatura sempre varia? Quando isto não ocorre?

4 ■ Quando está ocorrendo uma mudança de estado a substância não está nem recebendo nem cedendo calor?

5 ■ Quando a energia interna de um corpo varia e sua temperatura diminui, ele está recebendo ou fornecendo calor?

6 ■ Duas substâncias às mesmas temperaturas e possuindo iguais massas possuem necessariamente a mesma quantidade de energia interna?

7 ■ De que depende a energia interna armazenada num corpo?

8 ■ Imagine uma substância no estado sólido e forneça-lhe calor até transformá-la em vapor (mais tarde você verificará que isto quase sempre será possível) e esboce a correspondente curva t X Q. Em seguida imagine a mesma substância no ponto ou temperatura que você a deixou e resfrie-a até o ponto de partida.

9 ■ Pode uma mesma substância existir em dois estados? Quando isto é possível?

10 ■ A pressão exerce alguma influência no ponto de temperatura de mudança de estado?

11 ■ Defina: fusão, vaporização, liquefação e solidificação.

Após isso, você deve estar apto para:

a. definir calor.
b. identificar as variações de energia interna de uma substância.
c. identificar, através de um gráfico t X Q, o que está ocorrendo nas várias fases do processo de aquecimento ou resfriamento da substância.
d. construir curvas de aquecimento e de resfriamento.

B – MEDIDA DE QUANTIDADE DE CALOR

• UNIDADE DE MEDIDA DE CALOR: CALORIA

Embora não existam aparelhos capazes de medir **diretamente** o calor absorvido ou liberado por um objeto durante um fenômeno qualquer, podemos medir os efeitos que a absorção ou liberação de calor produzem num dado objeto. Assim, já constatamos que ao fornecer calor a uma substância esta poderá sofrer uma variação de temperatura ou sofrer uma mudança de estado. Estudando a variação de temperatura que experimenta uma substância ao ceder ou absorver calor, poderemos introduzir unidades de quantidade de calor e a partir daí realizarmos medidas acerca da transferência de calor de uma substância a outra. Quando uma certa quantidade de calor provocar apenas variação de temperatura de uma substância, ele recebe o nome especial de **calor sensível**. Se o calor fornecido a uma substância ou dela retirado produzir uma mudança de estado físico, ele é chamado de **calor latente**. Ambos representam uma mesma forma de energia, apenas os efeitos que eles produzem são distintos: um provoca uma variação de temperatura e o outro uma mudança de estado físico.

1 ■ A água foi utilizada como substância padrão para a definição de unidade de quantidade de calor. A unidade de calor chama-se **caloria** (símbolo: cal), e é definida como sendo a quantidade de calor necessária para elevar 1,0 g de água pura da temperatura de 14,5°C para 15,5°C, sob pressão normal. Logo, para elevar 2,0 g de água de 14,5°C para 15,5°C devemos fornecer ____________ cal.

****

2,0

2 ■ O comportamento térmico da água, entretanto, não é regular. Isto é, para se elevar a temperatura da água pura de 60°C para 61°C necessita-se uma quantidade de calor que é ligeiramente diferente daquela necessária para elevá-la de 14,5°C para 15,5°C. Entretanto, para propósitos práticos considera-se o comportamento térmico da água como uniforme, ou seja, admite-se que no intervalo de temperatura compreendido entre 0°C e 100°C, 1,0 g de água absorverá ou cederá 1,0 cal para cada intervalo de temperatura de 1,0°C. Desta forma tem-se que, para uma variação de 10°C de temperatura em qualquer intervalo compreendido entre 0°C e 100°C, 1,0 g d'água absorverá 10 cal, e 20 g de água, nas mesmas condições, absorverão ____________ cal.

****

200

3 ■ Um bloco de chumbo é lançado sobre 50 g de água a 20°C e observa-se que a água atinge a temperatura de 22°C. Podemos observar que o chumbo transferiu calor a água. Nestas condições, a água recebeu ________ cal, que foram cedidas pelo chumbo.

****

100

4 ■ 1,0 cal provoca uma variação de ________ °C em 1,0 g de água. 30 cal provocam uma variação de 15°C em ________ g de água.

****

1,0; 2,0

5 ■ Utiliza-se também a **quilocaloria** (símbolo: kcal) como unidade de calor, que é definida como sendo a quantidade de calor necessária para elevar 1,0 kg de água de 1,0°C. Pela definição, podemos verificar que a cal é um (múltiplo; submúltiplo) da kcal. Entretanto, a kcal é uma unidade de calor muito grande para a maioria das transformações que estudaremos, motivo pelo qual utilizaremos preferentemente a caloria.

****

submúltiplo

6 ■ 500 g de água estão inicialmente a 30°C. Sua temperatura se eleva para 31°C. A quantidade de calor recebida pela água é ________ cal ou ________ kcal.

****

500; 0,50

7 ■ Um objeto é jogado dentro de um recipiente contendo 200 g de água inicialmente a 23°C. Depois de certo tempo o sistema atinge o equilíbrio térmico a 23,5°C. A quantidade de calor transferida para a água foi ______ cal; esta quantidade corresponde a um aumento de sua energia interna. A quantidade de calor cedida pelo objeto foi ________ cal, que corresponde a (um aumento; uma diminuição) de sua energia interna.

****

100; 100; uma diminuição

8 ■ Podemos observar que quando dois objetos trocam calor entre si, a quantidade de calor cedida por um é (igual a; diferente da) quantidade de calor absorvida pelo outro.

****

igual a

9 ■ Um objeto é jogado dentro de um vasilhame contendo água a 40°C. Depois de certo tempo, o sistema entra em equilíbrio térmico à temperatura de 36°C. Sendo a massa de água igual a 400 g e considerando que as trocas de calor são realizadas apenas entre o objeto e a água, a quantidade de calor (fornecida; recebida) pela água foi de ________ cal e a quantidade de calor ________ pelo objeto foi de ________ kcal.

****

fornecida; 1 600; recebida; 1,6

10 ■ Como o calor é uma forma de energia, qualquer unidade de energia pode ser utilizada como unidade de calor. A caloria foi definida antes que os cientistas soubessem que o calor é uma forma de energia. Conhecendo este fato, podemos medir calor em (joules; newtons; metros).

****

joules

11 ■ A relação entre as unidades de calor e as unidades mecânicas de energia foi determinada experimentalmente através da transformação de energia mecância em calor. Observou-se que cada 4 186 J de energia mecânica, quando transformada inteiramente em calor, elevava 1,0 kg de água pura de 14,5°C para 15,5°C. Diante deste fato e lembrando a definição de caloria, conclui-se que:

$$1 \text{ cal} = 4{,}186 \text{ J}$$
$$1 \text{ kcal} = 4\,186 \text{ J}$$

Deste modo, quando 4,186 J de energia mecânica são convertidos em calor, a temperatura de 1,0 g de água se elevará de ____________ °C.

★★★★★★★★★★★★

1,0

12 ■ 1 cal = 4,186 J · 10 cal = ____________. Se 20 g de água receberem 418,6 J de calor, sua temperatura se elevará de ____________ °C.

★★★★★★★★★★★★

41,86 J; 5°C

13 ■ 1 cal = 4,186 J · 8,0 g de água recebem determinada quantidade de calor e sua temperatura se eleva de 50°. A água recebeu ____________ cal ou ____________ J.

★★★★★★★★★★★★

400; 1 674,4

14 ■ 1 cal = 4,2 J (neste caso estamos apresentando uma simplificação do valor de 1 cal, ou seja, o valor em joules está sendo apresentado com apenas 2 algarismos significativos, em vez de 4). A energia cinética de um objeto de massa 8,4 kg animado de velocidade de 100 m/s vale ____________ J.

★★★★★★★★★★★★

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = 4{,}2 \times 10^4 \text{ J}$$

15 ■ Idem 14. Se o objeto penetrasse em 10 kg de água e toda sua energia fosse transferida para ela, o aumento de temperatura água seria de ____________ °C.

★★★★★★★★★★★★

$4{,}2 \times 10^4$ J = 10^4 cal = 10 kcal

1 kcal aumenta 1 kg de água em 1°C, logo 10 kcal aumenta 10 kg de água em 1°C.

16 ■ 1 cal = 4,2 J. Quando 1,0 kg de água cai da altura de 42 m, admitindo-se a inexistência de forças de resistência e que toda a energia mecânica seja utilizada para a variação da temperatura da água, esta variação será de ____________ °C (Considere g = 10 N/kg).

★★★★★★★★★★★★

$E_p = m \cdot g \cdot h = 1{,}0 \cdot 10 \cdot 42 = 420 \text{ J} = 100 \text{ cal}$

logo, a água variará de 0,1°C sua temperatura.

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Calor é uma forma de energia (certo; errado).

2 ■ Defina caloria.

3 ■ Defina quilocaloria. Qual a relação entre caloria e quilocaloria?

4 ■ Qual é a relação entre caloria e joule, e kcal e joule?

5 ■ Onde a temperatura da água deverá ser maior: no topo de uma cachoeira ou embaixo, após ela ter se caído lá de cima?

6 ■ Quando um líquido perde 600 joules de calor, sua energia interna aumenta ou diminui?

Após isso, você deve estar apto para:

a. definir calor latente e calor sensível.
b. definir caloria e quilocaloria.
c. relacionar caloria com joule.
d. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Transforme: a) 5,0 kcal em calorias; b) 5,0 cal em kcal.

2 ■ Qual é a quantidade de calor necessária para aquecer 200 g de água de 0°C até 100°C?

3 ■ Quando 10 g de água a 50°C são levados para 30°C, qual é a diminuição de sua energia interna? Dê a resposta em cal e joules.

4 ■ Em virtude do atrito, um objeto de massa 8,0 kg e velocidade 5,0 m/s dissipa toda a sua energia cinética em calor. Qual a quantidade de calor desenvolvida, em joules e calorias?

5 ■ Um objeto de massa 6,0 kg atinge 600 g de água com velocidade de 100 m/s. Se toda energia cinética do objeto for transformada em calor e transferida para a massa d'água, de quanto será o aumento de temperatura da água?

6 ■ Um objeto com uma energia de 4 186 J penetra em 800 g de água. Se toda a energia for absorvida pela água, de quanto será sua temperatura final sabendo-se que ela se encontrava a 18,0°C?

7 ■ 400 g de água sofrem uma variação de temperatura de 50°C. Se todo o calor utilizado fosse transformado em energia cinética e transferida para um objeto de 4,2 kg, qual seria sua velocidade?

RESPOSTAS

1 ■ a) $5{,}0 \times 10^3$ cal b) $5{,}0 \times 10^{-3}$ kcal
2 ■ $Q = 2{,}0 \times 10^4$ cal
3 ■ 200 cal; 837,2 J
4 ■ $Q = 100$ J; $\cong 23{,}9$ cal
5 ■ $\Delta t \cong 11{,}9$°C
6 ■ $t = 19{,}25$°C
7 ■ $v = 200$ m/s

SEÇÃO 2 – CAPACIDADE TÉRMICA DE UM CORPO E CALOR ESPECÍFICO DE UMA SUBSTÂNCIA

Já vimos que quando temos gelo a 0°C e sob pressão normal, se lhe for fornecido calor, ocorrerá fusão. A quantidade de gelo fundido dependerá da quantidade de calor fornecida a ele. A 0°C o gelo coexiste com a água também a zero graus Celsius. Somente ocorrerá variação de temperatura após todo o gelo ter-se fundido. Na solidificação, ocorre o contrário: a água a 0°C, por um processo de retirada de calor, se transforma em gelo. O fenômeno da fusão do gelo pode ser utilizado no estudo das trocas de calor. Assim, sabemos que se dispuzermos de gelo a 0°C e se lhe for fornecido calor por qualquer processo e após isto ainda tivermos gelo, podemos concluir que a temperatura de equilíbrio é de 0°C. Evidentemente, estas propriedades são comuns a praticamente todas as substâncias mas nos utilizaremos da substância H_2O em estado líquido, sólido e vapor, pela facilidade em obtê-la nestes três estados. Para ilustrarmos, podemos citar o alumínio, cujo ponto de fusão é de 659,7°C e o ponto de evaporação à pressão atmosférica é de 1 800°C. Nesta parte abordaremos a matéria que sofre variação de temperatura quando recebe ou perde calor.

1 ■ Tem-se objetos de mesmas massas, porém feitos de materiais distintos: ferro, cobre, alumínio, zinco, latão, granito, etc. Estes objetos são colocados dentro de um recipiente que contém água em ebulição à pressão normal, para que todos eles adquiram a mesma temperatura. Após certo tempo, imersos na água em ebulição, todos os corpos terão a temperatura de __________°C.

****

100

2 ■ Os objetos citados acima são retirados da água em ebulição e lançados sobre grandes blocos de gelo a 0°C. Utilizamos a expressão "grandes blocos de gelo" apenas para previnir o fato de que o calor cedido por qualquer dos objetos não será suficiente para derreter todo o gelo, e além do mais, provocar uma variação de temperatura na água resultante. Assim, após certo tempo os objetos entram em equilíbrio térmico com o gelo, tendo cada um deles fundido certa quantidade do mesmo. A temperatura de equilíbrio dos corpos foi de __________________.

****

0°C

3 ■ Observamos que as quantidades de gelo fundido e, conseqüentemente, a quantidade de água resultante de cada bloco não são iguais: o alumínio funde mais gelo que o ferro, logo a quantidade de calor cedida pelo alumínio ao gelo foi (maior que; menor que; igual) à cedida pelo bloco de ferro, apesar de ambos os objetos possuirem mesmas massas e terem sofrido a mesma variação de temperatura.

****

maior que

4 ■ Verifica-se que o ferro funde mais gelo que o cobre. Logo, quanto maior a quantidade de gelo derretida maior será a quantidade de ________________ cedida pelo corpo ao gelo.

****

calor

5 ■ Apesar dos objetos possuirem massas iguais e ter havido a mesma variação de temperatura, cada um deles liberou quantidades de calor (iguais; diferentes).

****

diferentes

6 ■ Se os objetos fossem levados novamente em contacto com a água em ebulição, eles receberiam calor (em quantidade igual; em quantidade diferente) daquela cedida ao gelo. Isto nos leva a concluir que substâncias diferentes absorvem ou libertam quantidades de calor diferentes, mesmo que apresentem a mesma massa e sofram a mesma variação de temperatura.

****

em quantidade igual

7 ■ Com relação à experiência descrita nos itens 1 e 2, se a massa de cada objeto fosse dobrada, poderíamos prever que a quantidade de gelo derretido por eles seria (a mesma; a metade; dobrada).

****

dobrada

8 ■ Logo, a quantidade de calor cedida ou absorvida por um corpo numa transformação (depende; não depende) de sua massa, além de depender da sua natureza. 100 g de ferro inicialmente a 100°C devem fundir (maior; menor; igual) quantidade de gelo que 1 000 g de ferro nas mesmas condições.

****

depende; menor

9 ■ Se a temperatura dos objetos descritos no item 1 fosse de 50°C, após entrarem em equilíbrio térmico com o gelo, a quantidade de calor cedido para ele por esses objetos seria (a mesma; o dobro; a metade).

****

a metade

10 ■ A experiência descrita anteriormente nos permite generalizar o resultado para qualquer substância e definir uma grandeza, característica do corpo, chamada **capacidade térmica ou capacidade calorífica**. Fisicamente, ela significa a quantidade de calor que deve ser fornecida ao corpo para provocar um acréscimo de 1,0°C em sua temperatura.

(Capacidade térmica: símbolo C) $= \frac{Q}{\Delta t}$. Onde Q é a quantidade de calor necessária para provocar uma variação Δt na temperatura do corpo.

Utilizando para unidade de calor a cal e para variação de temperatura °C, a unidade de capacidade calorífica será ______________.

****

cal/°C

11 ■ $C = Q/\Delta t$. O corpo de alumínio na experiência descrita no item 1 forneceu uma quantidade de calor Q (maior que; menor que; igual) a fornecida pelo ferro. Logo, sua capacidade calorífica é (maior que; menor que; igual) a do objeto de ferro.

****

maior que; maior que

12 ■ $C = \frac{Q}{\Delta t}$. Um objeto ao sofrer uma variação de temperatura de 4,0°C para 8,0°C absorveu uma quantidade de calor Q = 60 cal. A capacidade térmica desse objeto vale: C = ______________ cal/°C.

****

$$C = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{60}{8{,}0 - 4{,}0} = \frac{60}{4{,}0} = 15$$

13 ■ C = 15 cal/°C. Isto significa que para elevar ou abaixar de 1,0°C a temperatura desse objeto devemos fornecer ou retirar ______________ cal.

****

15

14 ■ C = 15 cal/°C. 300 cal provocam nesse corpo uma variação de temperatura Δt = ______________.

****

$$C = Q/\Delta t, \text{ logo } \Delta t = \frac{Q}{C} = \frac{(300\ \text{cal})}{(15\ \text{cal/°C})} = 20\text{°C}$$

15 ■ Um recipiente de cobre encontra-se a 20°C. Recebe 100 g de água inicialmente a 30°C. Ao fim de certo tempo o sistema entra em equilíbrio térmico à temperatura de 25°C. Admitindo as trocas de calor apenas entre o recipiente e a água, podemos afirmar que a água cedeu ________________ cal e o recipiente absorveu ________________ .

****

500; 500 cal

16 ■ Item 15. A capacidade térmica do recipiente vale C = ________________ .

****

$$C = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{500 \text{ cal}}{30°C - 25°C} = \frac{500 \text{ cal}}{5{,}0°C} = 100 \text{ cal/°C}$$

17 ■ $C = \frac{Q}{\Delta t}$. Um corpo encontra-se inicialmente a 40°C. Sabendo que a sua capacidade térmica vale C = 10 cal/°C, qual será a sua temperatura final quando perder 80 cal? t_f = ________________ °C.

****

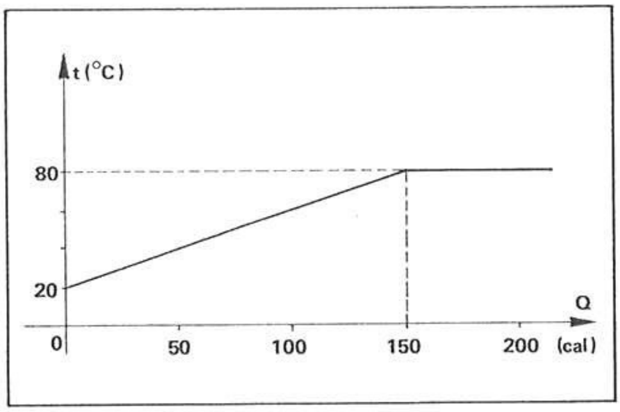
$\Delta t = \frac{Q}{C} = \frac{-80 \text{ cal}}{10 \text{ cal/°C}} = -8{,}0°C$. Como $\Delta t = t_f - t_i$, temos

$t_f = \Delta t + t_i = -8{,}0°C + 40°C = 32°C$ (o sinal (–) para variação de temperatura foi utilizado para indicar que a substância cedeu calor e não absorveu, ou seja, a temperatura final t_f é menor que a temperatura inicial t_i).

18 ■ $Q = C \cdot \Delta t$. A quantidade de calor necessária para produzir uma variação de temperatura Δt numa determinada substância é (diretamente; inversamente) proporcional à sua capacidade térmica.

****

diretamente



19 ■ Uma fonte térmica fornecia calor a um determinado corpo, a uma taxa constante. O gráfico t X Q é dado ao lado. Inicialmente, a temperatura do corpo era de ________________ .

****

20°C

20 ■ Item 18. Para passar de 20°C para 80°C o corpo (absorveu; cedeu) ________ cal. Pelo gráfico, podemos ver que a capacidade térmica é numericamente igual a declividade da reta que corresponde a uma variação de temperatura. Nessas condições C = ________ cal/°C.

****

absorveu; 150; 2,5

21 ■ Item 18. Ao atingir a temperatura de 80°C, a substância (continua; não continua) a receber calor. Entretanto, sua temperatura (permanece; não permanece) constante. Ao atingir 80°C a substância (sofre; não sofre) mudança de estado. A capacidade térmica (é; não é) definida para uma substância que está sofrendo mudança de estado.

****

continua; permanece; sofre, não é

22 ■ $Q = C \cdot \Delta t$. 500 g de água a 100°C são lançados sobre um bloco de gelo e o equilíbrio térmico se faz a 0°C. A quantidade de calor cedida ao gelo é ______________ cal.

****

$5{,}0 \times 10^4$

23 ■ A capacidade térmica dos 500 g de água é $C = \frac{Q}{\Delta t} =$ ______________.

****

500 cal/°C

24 ■ Se dobrássemos a quantidade de água do item 22 (1 000 g), a quantidade de calor liberada até a água atingir o equilíbrio térmico com o gelo seria evidentemente dobrada. Logo, podemos concluir que a capacidade térmica de um corpo (depende; não depende) da massa do corpo.

****

depende

25 ■ $Q = C \cdot \Delta t$. Se dividirmos a capacidade térmica (C) pela correspondente massa do corpo, teremos: $c = \frac{C}{m}$, onde c é uma constante que depende da natureza da substância e denomina-se **calor específico** da substância. Da definição de calor específico, podemos escrever que C = ______________ (em função de c e m).

****

$m \cdot c$

26 ■ $Q = C \cdot \Delta t$ (1) e $C = m \cdot c$ (2). Substituindo (2) em (1) teremos:
Q = ______________ (em função de m, c e Δt).

****

$m \cdot c \cdot \Delta t$

27 ■ $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$. Esta expressão relaciona a quantidade de calor Q responsável pela variação de temperatura Δt de uma substância de massa m e calor específico c. Tal expressão (é; não é) aplicável para uma substância que se encontra em mudança de fase, uma vez que nessas circunstâncias (ocorre; não ocorre) variação de temperatura.

****

não é; não ocorre

28 ■ $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$. Isolando o valor de c, teremos: c = ______________.

****

$$\frac{Q}{m \cdot \Delta t}$$

29 ■ $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}$. Considerando Q em cal, m em gramas e Δt em °C, substitua na expressão que nos dá o calor específico e determine as unidades do calor específico: (unidade de c) = ______________.

****

cal/g°C

A tabela seguinte indica os calores específicos de algumas substâncias. Deve-se ressaltar que tais valores podem variar, dependendo das condições sob as quais se fornece calor. Em condições normais de pressão, os valores dados abaixo podem ser considerados constantes para os intervalos de temperaturas considerados. Fora destes intervalos, as discrepâncias são sensíveis. Utilize a tabela abaixo para a solução de questões.

Substância	Calor específico (cal/g°C)	temperatura °C
Água	1,0	0 a 100
Alumínio	0,219	15 a 185
Álcool etílico	0,548	0
Amônia	1,126	20
Borracha	0,48	20 a 100
Chumbo	0,031	0 a 100
Cobre	0,093	0 a 100
Ferro	0,110	0 a 100
Gelo	0,55	-20 a 0
Latão	0,094	15 a 100
Madeira	0,42	0
Mercúrio	0,033	0 a 100
Vidro	0,20	19 a 100
Vapor d'água	0,421	100 a 120

30 ■ Qual a quantidade de calor necessária para elevar 500 g de cobre de 0°C para 100°C? Q = ____________.

****

$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = (500\ g)\,(0{,}093\ cal/g°C)\,(100°C - 0°C) = 4\,650\ cal$ ou $4{,}650\ kcal$

31 ■ 660 cal são fornecidas a 60 g de gelo a −20°C. Admitindo que todo calor seja absorvido pelo gelo, sua temperatura final será t_f = ____________________.

****

$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$ ou $660 = (60\ g)\,(0{,}55\ cal/g°C)\,[t_f - (-20°C)] =$
$= 660\ cal = (330\ cal/°C)\,(t_f + 20°C) = (330 \cdot t_f\ cal) + 660\ cal$
$\therefore\ t_f = 0°C$

32 ■ $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$. 420 J de energia são fornecidos a uma certa massa de latão. Absorvendo esta energia sob a forma de calor o latão passa da temperatura de 20°C para 70°C. A massa do latão vale:
m = ________________________ g (Considere 1 cal = 4,2 J).

****

$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$. Como 420 J = 100 cal, temos que: $100 = m \cdot (0{,}094)\,(50)$. Resolvendo, temos $m \cong 21\ g$

33 ■ Quando duas substâncias trocam calor entre si, a quantidade de calor perdida por uma delas é exatamente igual à quantidade de calor recebida pela outra. Este fato ilustra o princípio geral da conservação da energia: não podemos criar ou fazer desaparecer energia, apenas transformá-la. Assim, colocando-se 50 g de água a 60°C num vaso de ferro inicialmente a 20°C, obtém-se o equilíbrio térmico a 40°C. A água perdeu Q = ____________________ cal, que foi ganho pelo vaso de ferro.

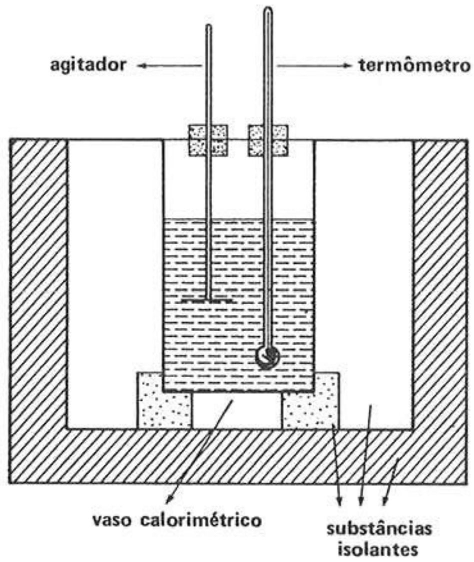
****

$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = (50\ g)\,(1{,}0\ cal/g°C)\,(40°C - 60°C) = -1\,000\ cal$. O sinal (-) indica apenas que a água cedeu calor.

Leia e observe atentamente o quadro abaixo. Ele se refere aos itens 34 a 41.

QUADRO I

1 ■ A figura ao lado ilustra um modelo bastante simplificado de um aparelho chamado **calorímetro**, que se destina ao estudo do calor específico de substâncias e as trocas de calor em geral. Ele consta essencialmente de um recipiente de vidro que contém uma determinada quantidade de um líquido conhecido: água por exemplo; um agitador e um termômetro para o registro de temperaturas.



2 ■ O recipiente de vidro, que é chamado de vaso calorimétrico, é colocado sobre material isolante (cortiça, isopor) no interior de uma caixa feita de material também isolante. Estes cuidados são necessários para se tornar mínimas as perdas de calor para o exterior.

3 ■ Com um calorímetro pode-se determinar o calor específico de sólidos e líquidos e realizar outros experimentos. Para se utilizar um calorímetro deve-se primeiramente determinar sua capacidade térmica, ou seja, quantas calorias ele absorve ou cede (todo o conjunto, exceto a água no seu interior) para cada grau de temperatura que aumenta ou diminui.

34 ■ Vamos estudar uma forma para se determinar a capacidade térmica de um calorímetro e, determinado esse valor, podemos utilizá-lo para a determinação de calores específicos de substâncias. Suponhamos que o vaso calorimétrico contenha 100 g de água inicialmente a 20°C. Misturando-se no vaso 50 g de água a 60°C observa-se que o equilíbrio térmico estabelece-se em 32,5°C. Nestas condições, os 50 g de água inicialmente a 60°C cederam à água contida no interior do vaso calorimétrico e ao próprio calorímetro uma quantidade de calor igual a Q = ________________.

****

$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = 50 \cdot 1{,}0(32{,}5 - 60) = -1375$ cal

35 ■ A água contida no vaso calorimétrico absorveu ________________ cal.

****

$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = 100 \cdot 1{,}0 \cdot (32{,}5 - 20) = 1250$ cal

36 ■ A água quente cedeu ________________ cal. A água contida no vaso calorimétrico absorveu __________ cal. Logo, o calorímetro em si absorveu ________________ cal.

****

1375; 1250; 125

37 ■ O calorímetro absorveu 125 cal quando a variação de temperatura sofrida pelo mesmo foi de ____________ °C. Logo, lembrando que a capacidade térmica de um corpo é definida por $C = \frac{Q}{\Delta t}$, a capacidade térmica deste calorímetro vale C = ________________ (número e unidade).

****

12,5; 10 cal/°C

38 ■ $C = 10\ cal/°C$. Isto significa que para cada variação de 1,0°C o calorímetro absorve ou cede __________ cal. Se a variação de temperatura fosse de 20°C para 50°C, o calorímetro absorveria __________ cal.

★★★★★★★★★★★★

10; 300

39 ■ Agora podemos estabelecer uma relação, utilizando a capacidade térmica do calorímetro, para o estudo de trocas de calor entre substâncias. Seja um calorímetro de capacidade térmica C, possuindo uma massa de água m. Se for fornecida ou retirada uma quantidade de calor Q do calorímetro teremos: $Q = m \cdot c \cdot \Delta t + C \cdot \Delta t$. Considere que o calorímetro em estudo contém 100 g de água à temperatura de 25°C. Um corpo metálico à temperatura de 55°C e de 200 g é lançado no interior do calorímetro e verifica-se que o equilíbrio térmico estabelece-se a 30°C. Determine o calor específico desta substância: c = __________ .

★★★★★★★★★★★★

Chamando:
Q_s = calor cedido pelo sólido = $m_s c_s \Delta t_s$;
Q_C = calor absorvido pelo calorímetro = $C \cdot \Delta t_{calorímetro}$;
Q_A = calor absorvido pela água do calorim. = $m_A \cdot c_A\ \Delta t_{calorim}$,
teremos: $Q_s = Q_C + Q_A$. Substituindo os valores:
$m_s c_s \Delta t_s = C\Delta t + m_A \cdot c_A \cdot \Delta t$ ou $200 \cdot (55 - 30) c_s = 10(30 - 25) + 100 \cdot 1{,}0 \cdot (30 - 25)$
$5000 c_s = 500 \therefore c_s = 0{,}11\ cal/g°C$

40 ■ Num calorímetro de capacidade térmica $C = 8{,}0\ cal/°C$ e contendo 100 g de água inicialmente a 20°C, é colocado 100 g de um líquido à temperatura de 94°C. O equilíbrio térmico estabelece-se a 40°C. O calor específico do líquido vale: c_L = __________ .

★★★★★★★★★★★★

0,40 cal/g°C

41 ■ Tem-se um calorímetro com 200 g de água no seu interior à temperatura de 10°C. Colocam-se no seu interior 140 g de água a 100°C e obtém-se o equilíbrio a 45°C. A capacidade térmica do calorímetro vale: C = __________ cal/°C.

★★★★★★★★★★★★

20

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Defina capacidade térmica de um corpo.
2 ■ Qual a unidade de capacidade térmica?
3 ■ Qual é a relação matemática que nos permite calcular a capacidade térmica de um corpo?
4 ■ De que depende a capacidade térmica de uma substância?
5 ■ O que é calor específico de uma substância?
6 ■ Se duas substâncias distintas, de iguais massas e estando ambas à mesma temperatura, receberem iguais quantidades de calor, qual sofrerá maior variação de temperatura?
7 ■ Sempre que uma substância recebe ou cede calor, sua temperatura varia?
8 ■ Qual a expressão matemática que relaciona o calor recebido ou cedido por uma substância, com sua massa, calor específico e variação de temperatura?
9 ■ Quando uma substância experimenta uma diminuição de temperatura, ela cede ou recebe calor?
10 ■ O que é um calorímetro? Quais seus elementos essenciais?
11 ■ O que significa a expressão: "A capacidade térmica de um calorímetro vale 15 cal/°C"?

Após isso, você deve estar apto para:

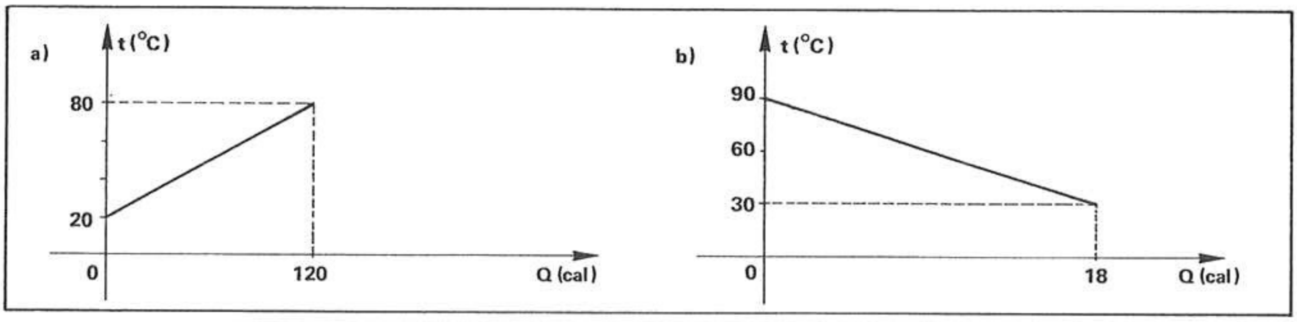
a. definir capacidade térmica.
b. relacionar calor específico com capacidade térmica.
c. descrever os componentes de um calorímetro.
d. definir as trocas de calor em um calorímetro.
e. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ Qual é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 500 g de chumbo de 0°C a 100°C?

2 ■ Tem-se 200 g de ferro à temperatura de 100°C. Qual será sua temperatura, quando dele forem retiradas 1 760 calorias?

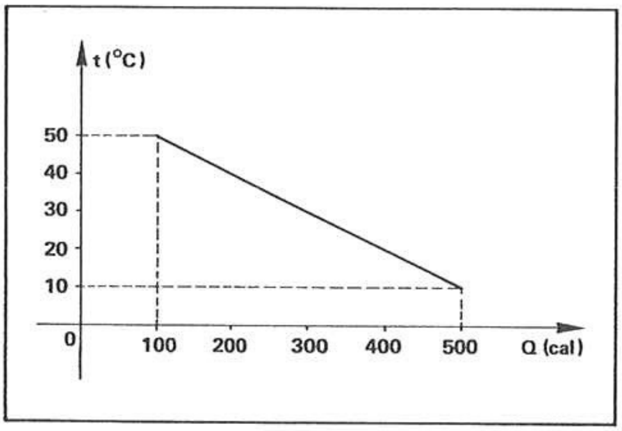
3 ■ Os gráficos abaixo ilustram as variações de temperatura que experimentam 20 g de duas substâncias em função do calor absorvido (a) e cedido (b). Determine os calores específicos das substâncias.



4 ■ Tem-se um recipiente metálico contendo 120 g de água à temperatura de 20°C. Coloca-se neste recipiente 80 g de água à temperatura de 50°C e observa-se o equilíbrio térmico à temperatura de 30°C. Admitindo-se que as trocas de calor se deem somente entre o recipiente e os líquidos, determine a capacidade térmica do recipiente metálico.

5 ■ Coloca-se 100 g de água à temperatura de 40°C num copo de vidro de massa 50 g e temperatura 20°C. Admitindo-se as trocas de calor apenas entre o vidro e a água, qual a temperatura de equilíbrio?

6 ■ Uma substância de 100 g de massa está cedendo calor conforme ilustra o diagrama ao lado. Determine a capacidade térmica da substância e o calor específico da mesma.



7 ■ Qual a variação de temperatura que experimentam 20 g de mercúrio quando recebe 42 J de calor? Considere 1 cal = 4,2 J.

8 ■ Um pedaço de gelo é colocado num calorímetro de capacidade térmica igual a 12 cal/°C e que contém 100 g de água a 20°C. Após certo tempo tem-se apenas água no calorímetro, com o sistema em equilíbrio térmico a 5°C. Qual foi a quantidade de calor cedida pelo calorímetro e a água contida no seu interior para o sistema atingir a temperatura de 5°C?

9 ■ Determine a quantidade de calor que se deve fornecer a 20 g de uma substância de calor específico igual a 0,15 cal/g°C para que sua temperatura passe de 11°C para 51°C.

10 ■ Determine o calor específico do gelo, sabendo que um pedaço dele de 40 g ao receber 924 J de calor varia sua temperatura de −20°C para −10°C. Considere 1 cal = 4,2 J.

RESPOSTAS

1 ■ $Q = 1\,550$ cal
2 ■ $t_f = 20°C$
3 ■ a) $c = 0{,}1$ cal/g°C
b) $c = 0{,}015$ cal/g°C
4 ■ $C = 40$ cal/°C
5 ■ $t_f \cong 38{,}2°C$
6 ■ $C = 10$ cal/°C; $c = 0{,}10$ cal/g°C
7 ■ $\Delta t = 15{,}15°C$
8 ■ $Q = 1\,680$ cal
9 ■ $Q = 120$ cal
10 ■ $c = 0{,}55$ cal/g°C

SEÇÃO 3 – MUDANÇAS DE ESTADO

A – CALOR E MUDANÇA DE ESTADO

- CALOR LATENTE DE FUSÃO E SOLIDIFICAÇÃO
- CALOR LATENTE DE VAPORIZAÇÃO E CONDENSAÇÃO
- SUBLIMAÇÃO

Já sabemos que os corpos são constituídos de partículas chamadas **átomos**. De acordo com o tipo de agregação ou reunião das partículas, as substâncias podem se apresentar em três estados: **sólido, líquido** e **gasoso**. Entretanto, através das trocas de calor, uma substância pode passar de um estado para outro, e já vimos que quando se processa uma mudança de estado a temperatura permanece constante, se não variarmos a pressão sobre ela. Dada a importância do conhecimento das transformações que uma substância pode passar, analisaremos nesta parte as mudanças de estado de uma substância.

1 ■ Quando uma substância recebe calor, caso não haja mudança de estado, sua temperatura cresce. Quando ocorre uma mudança de estado, a temperatura do corpo (varia; permanece constante), mesmo que se esteja fornecendo ou retirando calor da substância.

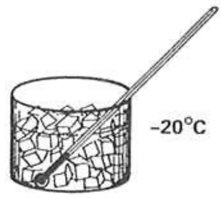
****

permanece constante

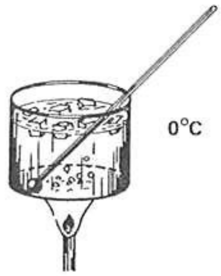
Leia e observe atentamente o Quadro I. Ele se refere aos itens 2 a 36

QUADRO I

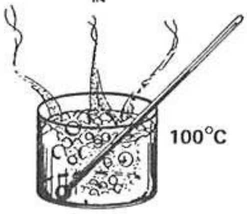
1 ■ Consideremos o sistema representado ao lado: um recipiente contendo gelo a $-20°C$, sendo a pressão ambiente normal. Um termômetro registra a temperatura.



2 ■ Uma fonte de calor (chama) passa a fornecer calor ao gelo e sua temperatura cresce até atingir 0°C. Nesta temperatura, embora o gelo continue a absorver calor, esta não sofre variação pois está ocorrendo mudança de estado ou fase (fusão).

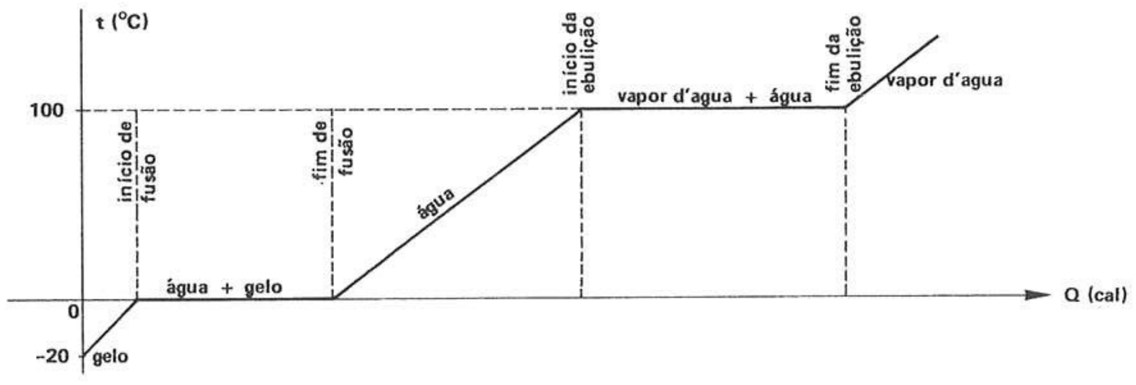


3 ■ Após a fusão, nota-se que se a fonte continuar a fornecer calor, a temperatura recomeça a subir. Tal fenômeno continuará até a água atingir 100°C. Nesta temperatura a água entrará em ebulição e se processa uma nova mudança de estado: a água transforma-se em vapor d'água e, novamente, enquanto isto ocorre, a temperatura da água em ebulição não se altera.



4 ■ Se recolhermos o vapor d'água a 100°C e continuarmos o fornecimento de calor, a sua temperatura subirá. Entretanto, enquanto existir água, a temperatura não se altera.

5 ■ O gráfico abaixo ilustra o fenômeno descrito anteriormente. Nele estamos representando a variação de temperatura da substância descrita (H_2O) em função do calor recebido.



2 ■ O gelo, inicialmente a -20°C, ao receber calor (sofre; não sofre) variação de temperatura. Sua energia interna (aumenta; diminui; permanece constante).

****

sofre; aumenta

3 ■ Quando a substância atinge a temperatura de 0°C, ela sofre mudança de estado. Enquanto ocorre a mudança de estado (fusão) a substância absorve calor e sua temperatura (varia; não varia).

****

não varia

4 ■ Durante a fusão a substância absorve uma certa quantidade de calor para se transformar em água à mesma temperatura (0°C). Se a mesma quantidade de água se transformasse novamente em gelo também a 0°C (solidificação), a substância libertaria a mesma quantidade de calor utilizada para fundí-la. Na fusão a energia interna da substância (aumenta; diminui; permanece constante), ao passo que na solidificação a energia interna de substância ____________________.

****

aumenta; diminui

5 ■ Ambos os fenômenos – fusão e solidificação – se processam (com; sem) variação de temperatura.

****

sem

6 ■ Item 5. No intervalo aberto entre o fim da fusão e o início da ebulição, a substância (absorve; cede) calor, e a sua temperatura (varia; não varia). Nesse intervalo a substância apresenta-se em estado ______________.

****

absorve; varia, líquido

7 ■ A água, quando atinge a temperatura de 100°C, à pressão normal, novamente sofre mudança de estado, ou seja, transforma-se em ______________ . Tal fenômeno é conhecido pelo nome de **vaporização.**

****

vapor d'água

8 ■ Vaporização consiste no fenômeno segundo o qual um líquido transforma-se em vapor. Quando este fenômeno é acompanhado de formação tumultuosa de bolhas, recebe o nome particular de **ebulição.** Ao falarmos em vaporização, estaremos nos referindo ao ponto em que um líquido entre em ebulição. Evidentemente, mesmo à temperatura ambiente, um líquido transforma-se em vapor d'água pela absorção de calor. Quando colocamos uma roupa molhada num varal e após certo tempo ela está seca, o líquido transformou-se em vapor d'água (entrando; não entrando) em ebulição.

****

não entrando

9 ■ Quando vapor se transforma em líquido, temos o fenômeno da **liquefação** ou **condensação.** Através da vaporização, a substância absorve calor e sua energia interna ______________ , ao passo que com a condensação ou liquefação a substância (cede; absorve) calor e sua energia interna ______________ .

****

aumenta; cede; diminui

10 ■ A experiência descrita permite concluir que quando a substância H_2O sofre mudança de estado sua temperatura (varia; não varia). Este fenômeno é comum à maioria das substâncias.

****

não varia

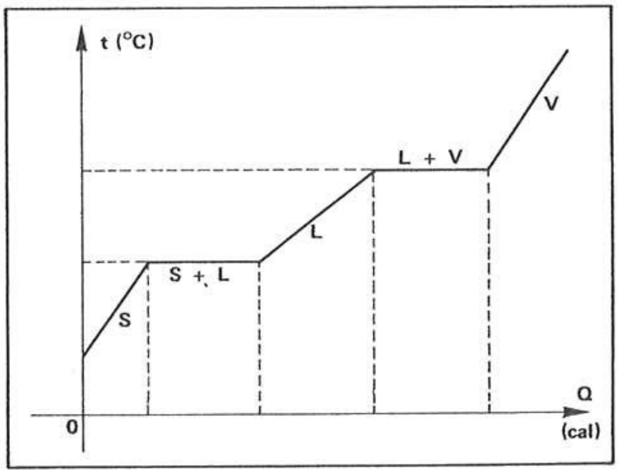
11 ■ Enquanto ocorre uma mudança de estado, a substância (pode; não pode) existir em dois estados distintos. Desta forma, podemos verificar que na fusão a substância coexiste no estado líquido e ______________ , e na vaporização a substância coexiste no estado líquido e de ______________ .

****

pode; sólido; vapor

12 ■ A figura ao lado representa uma curva de aquecimento de uma determinada substância. Ela se encontra inicialmente em estado sólido. O diagrama indica que a substância sofreu (uma; duas; nenhuma) mudança(s) de estado. Vamos utilizar para representar cada trecho do diagrama, a seguinte convenção, para indicar o estado físico da substância:

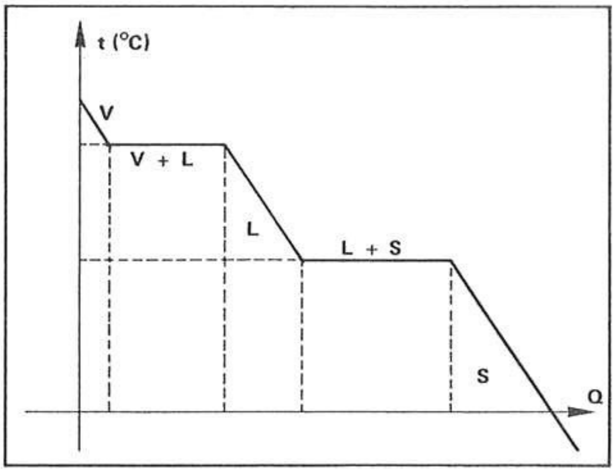
S = sólido
L = líquido
V = vapor



****

duas (fusão e liquefação)

13 ■ A figura ao lado representa uma curva típica de resfriamento de uma substância que se encontrava inicialmente no estado de vapor. Neste caso, a substância está (recebendo; cedendo) calor. As letras representam a mesma convenção adotada acima. O estado final da substância é (sólido; líquido; gasoso).



****

cedendo; sólido

14 ■ A maioria das substâncias apresenta mudança de estado em temperaturas bem determinadas, desde que sobre elas também exista uma pressão bem determinada. O aumento ou diminuição da pressão sobre uma substância determina uma alteração na sua temperatura de mudança de estado. Em toda mudança de estado há variação da energia interna da substância (com; sem) variação de temperatura.

****

sem

15 ■ Experiências cuidadosas indicam que sempre que fundirmos 1,0 g de gelo a 0°C transformando-o em água também em a 0°C, devemos fornecer ao gelo 80 cal. Já na solidificação, ou seja, na transformação de 1,0 g de água a 0°C em gelo também a 0°C, devemos retirar da água ________________ cal.

****

80

16 ■ 80 cal são necessárias para transformar um grama de gelo a 0° em ____________ também a 0°C. Esta quantidade é chamada de **calor latente de mudança de estado** (fusão) e costuma-se representá-la pela letra L.

****

1 g de água

17 ■ Para se transformar 1,0 g de água a 100°C em vapor d'água também a 100°C, necessitamos fornecer cerca de 539 cal para que tal transformação se processe. Neste caso chamamos esta quantidade de calor latente de vaporização. Está claro que para uma mesma substância, seu calor latente de liquefação é (igual; diferente) do calor latente de solidificação, e da mesma forma, o calor latente de vaporização é ____________ ao calor latente de condensação ou liquefação. Num caso a substância absorve e no outro ela libera a quantidade de calor, que dependerá de sua massa e de sua natureza.

****

igual; igual

18 ■ A letra utilizada para representar o calor latente de mudança de estado é ____________. É comum utilizar um índice que indica o tipo de mudança de fase que se está processando: L_f = calor latente de fusão; L_s = calor latente de solidificação; L_v = calor latente de vaporização e finalmente, L_e = calor latente de ____________. Pelo que já vimos $L_f = L_s$ e L_e = ____________ para uma mesma substância.

****

L; liquefação; L_v

19 ■ 539 cal são necessárias para transformar 1,0 g de água a 100°C em vapor d'água também a 100°C. Desta forma L_v = _______________cal/g.

****

539

20 ■ Mantida constante a pressão, cada substância sofre mudança de estado em temperaturas bem determinadas. Já vimos que enquanto se processa a mudança de estado a temperatura (varia; não varia). Cada substância necessita de uma quantidade bem determinada de calorias para passar de um estado a outro, sem variação de temperatura. Vimos que para transformar 1,0 g de gelo a 0°C em água também a 0°C necessitamos fornecer ao gelo _______________ cal e, se a massa de gelo fosse de 2,0 g, necessitaríamos de _______________ cal.

****

não varia; 80; 160

21 ■ Quando uma determinada substância sofre uma mudança de estado, ela absorve ou cede uma quantidade de calor Q que depende da massa m da substância a ser transformada e do calor latente L dessa substância. Poderemos exprimir esta relação por: $Q = m \cdot L$. Sendo Q dado em calorias e m em gramas, podemos exprimir as unidades de calor latente $L = \frac{Q}{m}$, que são _______________ .

****

cal/g

22 ■ $Q = m \cdot L$. Quantas calorias são necessárias para transformar 10 g de gelo a 0°C em água também a 0°C? Q = _______________ . O calor latente de fusão do gelo vale L_f = 80 cal/g.

****

$Q = m \cdot L_f = (10\ g)(80\ cal/g) = 800\ cal$

23 ■ $Q = m \cdot L$. Sendo o calor latente de vaporização d'água cerca de 539 cal/g, devemos fornecer a 10 g de água a 100°C para transformá-la em vapor d'água, também a 100°C, uma quantidade de calor Q = _______________ .

****

$Q = m \cdot L_v = (10\ g)(539\ cal/g) = 5\ 390\ cal$

24 ■ O ponto de fusão da prata é 960,8°C. Qual é o calor latente de fusão da prata, sabendo-se 260 cal fornecidos a 10 g da mesma em estado sólido no seu ponto de fusão transformam-na inteiramente em líquido, também a 960,8°C? L_f = _______________.

****

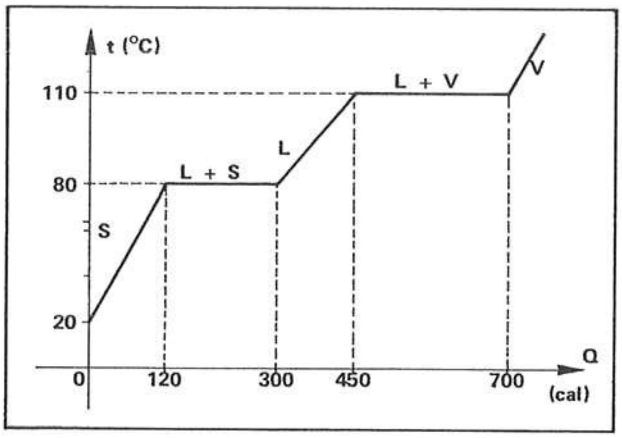
$Q = m \cdot L_f$ logo, $L_f = \frac{Q}{m} = \frac{260\ cal}{10\ g} = 26\ cal/g$

25 ■ $Q = m \cdot L$. Pela tabela do item 27, o calor latente de fusão do cobre é__________. Uma peça de cobre encontra-se no seu ponto de fusão. Calcule a massa de cobre que será fundida com 980 calorias. m = _______________.

****

24,9; $Q = m \cdot L_f = \frac{Q}{L_f} = \frac{980\ cal}{49\ cal/g} = 20\ g$

26 ■ O diagrama ao lado ilustra uma curva de aquecimento. A substância está absorvendo calor e possui massa m = 10 g. Determine os calores específicos da substância nos estados líquidos e sólido e os calores latentes de fusão e vaporização



c_S = ________________ cal/g°C
L_f = ________________ cal/g
c_L = ________________ cal/g°C
L_v = ________________ cal/g

****

$Q_s = m_s \cdot c_s \Delta t \Rightarrow c_s = \dfrac{Q}{m \cdot t} = \dfrac{120 - 0}{10 \cdot (80 - 20)} = \dfrac{120}{600} = 0{,}20$ cal/g°C;

$Q_f = m \cdot L_f \qquad L_f = \dfrac{Q}{m} = \dfrac{300 - 120}{10\text{ g}} = 18$ cal/g;

analogamente: $c_L = 0{,}50$; $L_v = 25$

27 ■ Dê os nomes das seguintes mudanças de estados:

sólido ⟶ líquido = ________________
líquido ⟶ vapor = ________________
vapor ⟶ líquido = ________________
líquido ⟶ sólido = ________________

****

liquefação; vaporização; liquefação ou condensação; solidificação

A tabela abaixo indica o ponto de fusão, ebulição e os calores latentes de fusão e vaporização para várias substâncias. Utilize-as na solução de problemas:

Substâncias	Ponto de fusão °C	Ponto de ebulição °C	Calor de fusão L_f(cal/g)	Calor de vaporização L_v(cal/g)
Álcool etílico	-110	78,5	24,9	204
Alumínio	660,2	2467	94	2520
Amônia líquida	-77,7	-33,35	108,1	327,1
Cobre	1083	2595	49	1150
Ferro	1535	3000	7,89	1600
Chumbo	327,5	1744	5,47	207
Mercúrio	-38,87	356,58	2,82	70,6
Platina	1769	3827	27,2	–
Prata	960,8	2212	26	565
Tungstênio	3410	5927	43	—
Água	—	100	—	540
Gelo	0	—	80	
Zinco	419,4	907	23	420

28 ■ Q = m · L. O álcool etílico, à pressão normal, entra em ebulição à temperatura de ________________. Nesta temperatura, 1,0 g de álcool absorve ________________ cal para se transformar em vapor, também a 78,5°C.

****

78,5°C; 204

29 ■ O ponto de fusão do álcool etílico é cerca de ________________; portanto, à temperatura de -20°C e à pressão normal, o álcool encontra-se no estado (sólido; líquido; vapor); para fundir 2,0 g de álcool no seu ponto de fusão, necessitaremos fornecer cerca de ________________ cal.

* * * * * * * * * * * *

-110°C; líquido; 49,8

30 ■ A observação da tabela acima nos indica que os calores de fusão são bem (maiores; menores) que os de vaporização, para uma mesma substância.

* * * * * * * * * * * *

menores

31 ■ Quando comparados com os calores específicos, verificamos que os calores latentes de mudança de estado são bem maiores. Isto significa que para provocar uma mudança estado numa substância é necessário uma quantidade (grande; pequena) de energia sob a forma de calor. Esta energia provoca uma variação (de temperatura; da energia interna) da substância.

* * * * * * * * * * * *

grande; da energia interna

32 ■ Uma transformação não muito comum de ser observada é a passagem de uma substância do estado sólido **diretamente** para o de vapor, sem passar pelo estado líquido. Tal fenômeno tem o nome de **sublimação.** O exemplo mais conhecido deste fenômeno é a passagem para vapor do chamado "gelo seco" (dióxido de carbono – CO_2). O dióxido de carbono à temperatura ambiente sublima-se, ou seja, passa diretamente do estado sólido para o de ______________.

* * * * * * * * * * * *

vapor

33 ■ A passagem direta de um sólido para o estado de vapor recebe o nome de ______________. Todo corpo pode apresentar o fenômeno da sublimação, bastando para tanto variarmos a sua temperatura e a pressão sobre ele. Em particular, sólidos como ferro, cobre, gelo, para apresentarem o fenômeno da sublimação, devem estar sujeitos a pressões reduzidíssimas.

* * * * * * * * * * * *

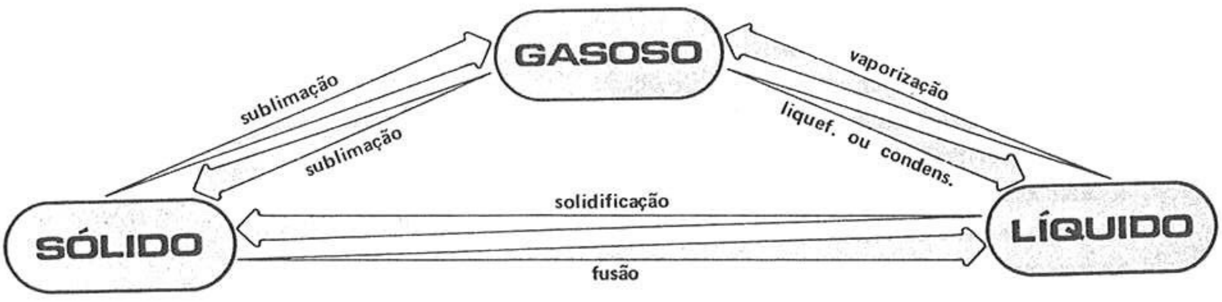
sublimação

34 ■ Da mesma forma que na fusão e vaporização e nos fenômenos inversos – solidificação e condensação – uma substância sublima-se a uma temperatura e pressão bem determinada, e para tanto absorve uma quantidade de calor bem determinada. Esta quantidade chama-se calor latente de sublimação e corresponde a quantidade de calor necessária para 1,0 g desta substância passar do estado sólido para o de ______________ e vice-versa.

* * * * * * * * * * * *

vapor

35 ■ O diagrama abaixo indica as possíveis mudanças de estado de uma substância. As setas indicam o sentido da mudança de estado. O estudo das transformações possíveis de serem realizadas por uma substância mostra que somente isto é possível se a substância receber ou ceder ______________.



****

calor

36 ■ Durante uma mudança de estado, a substância pode coexistir em dois estados. Se não houver trocas de calor com o meio externo, um recipiente contendo água e gelo a 0°C assim permanecerá indefinidamente. Para alterarmos esta situação deveremos retirar ou fornecer ____________________ ao sistema.

****

calor

QUESTÕES DE ESTUDO

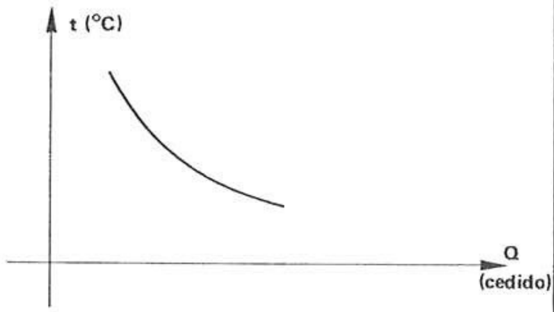
1 ■ Como é chamado: a) a passagem de uma substância do estado sólido para o de líquido? b) líquido para vapor? c) vapor para líquido? d) sólido para vapor? e) líquido para sólido?

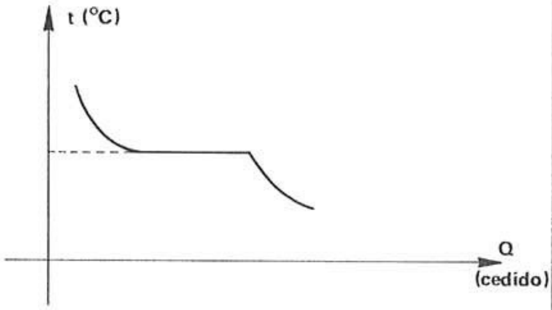
2 ■ É possível a uma substância mudar de estado sem absorver ou ceder calor?

3 ■ Mantida a pressão constante, uma substância apresenta variação de temperatura durante uma mudança de estado?

4 ■ O gráfico ao lado indica uma curva de resfriamento para uma substância. Durante o fenômeno, ocorreu mudança de estado?

5 ■ Dado o diagrama ao lado, podemos concluir que ocorreu mudança de estado?





6 ■ Quando uma substância se condensa, ela absorve ou cede calor?

7 ■ Qual a expressão que relaciona a quantidade de calor cedida ou absorvida por uma substância, sua massa e o correspondente calor latente?

8 ■ Qual é a unidade de calor latente?

9 ■ Qual é maior para uma mesma substância, seu calor latente de fusão ou de vaporização?

10 ■ Se aumentarmos a intensidade da chama que alimenta água em ebulição, a temperatura aumenta?

11 ■ Das substâncias abaixo, indique por (S) as sólidas, por (L) as líquidas e por (V) as que se encontram no estado de vapor: (considere a pressão normal).

a) gelo a -10°C
b) ferro a 1 700°C
c) mercúrio a -30°C
d) chumbo a 300°C
e) alumínio a 1 800°C
f) zinco a 907°C

Após isso, você deve estar apto para:

a. identificar pelo nome as mudanças de estado.
b. relacionar calor cedido ou absorvido por uma substância durante a mudança de estado.
c. representar graficamente as mudanças de estado.
d. deduzir a expressão $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$.
e. definir a unidade de medida de calor latente.
f. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

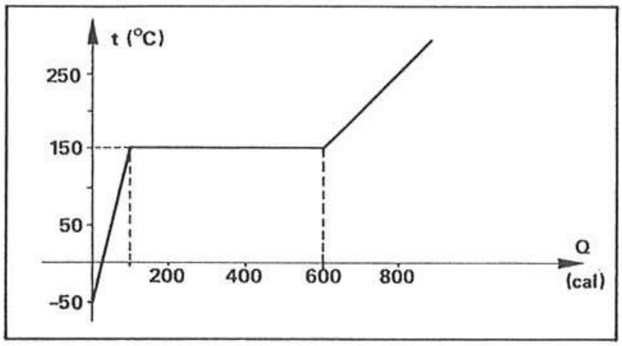
1 ■ Determine a quantidade de calor necessária para transformar 20 gramas de gelo a $-5°C$ até água a 100°C. Calor específico do gelo: $c_g = 0{,}55$ cal/g°C.

2 ■ Quantas calorias são necessárias fornecer a um bloco de 1 kg de ferro a 3 000°C para transformá-lo em vapor também a 3 000°C?

3 ■ O gráfico ao lado ilustra as transformações sofridas por 5,0 g de uma determinada substância que se encontra inicialmente no estado sólido. Determine:

a) o calor específico da substância no estado sólido e líquido;

b) o calor latente de fusão.



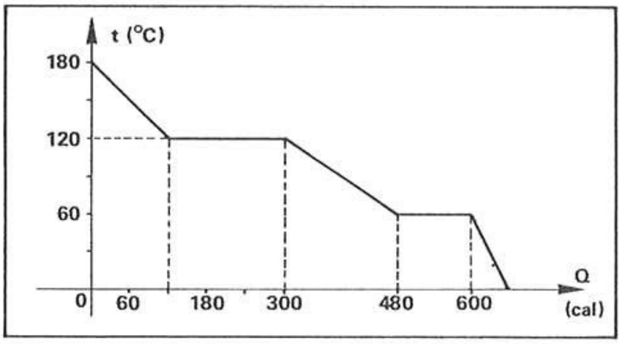
4 ■ Quantos gramas de água a 20°C são necessários para fundir 200 g de gelo, permanecendo o sistema em equilíbrio a 0°C?

5 ■ 10 g de gelo são misturados num calorímetro de capacidade térmica igual a 10 cal/°C e que contém 100 g de água a 20°C. Qual é a temperatura de equilíbrio?

6 ■ O gráfico ao lado ilustra uma curva de resfriamento de uma substância. Determinar, sabendo-se que a substância (m = 10 g) encontra-se inicialmente no estado de vapor:

a) os calores específicos da substância;

b) os calores latentes da substância.



7 ■ Fornecem-se 4 200 J de energia para 20 g de álcool etílico à temperatura inicial de 20°C. O que ocorrerá? Considere 1 cal = 4,20 J.

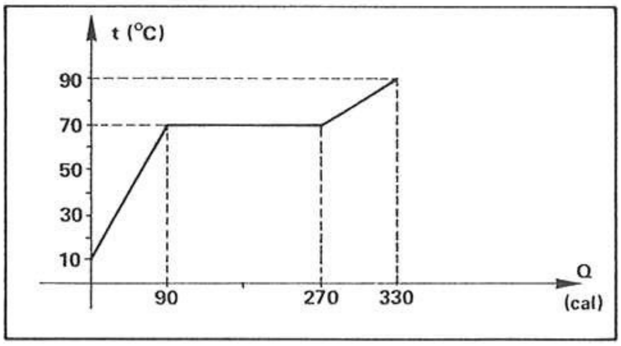
8 ■ O diagrama ao lado representa 10 g de um líquido em função do calor absorvido.

a) Qual é a temperatura de ebulição do líquido?

b) Qual é o calor específico do líquido?

c) Qual é o calor de vaporização?

d) Qual o calor específico do vapor?



9 ■ Mistura-se 500 g de água em ebulição com 800 g de gelo a 0°C. Qual será a temperatura final?

10 ■ Determine a temperatura inicial de um pedaço de ferro de 100 g, sabendo que quando é colocado em presença de 10 g de gelo a $-10°C$, o sistema atinge a temperatura final de 12°C.

11 ■ Por que quando passamos álcool nas mãos sentimos uma sensação fria bastante pronunciada?

RESPOSTAS

1 ■ Q = 3.655 cal

2 ■ $Q = 1{,}6 \times 10^6$ cal

3 ■ a) $c_s = 0{,}1$ cal/g°C e $c_L = 0{,}4$ cal/g°C

b) $L_f = 100$ cal/g

4 ■ $m_{água} = 800$ g

5 ■ $t_f \cong 11{,}6°C$

6 ■ a) $c_V = 0{,}2$ cal/g°C; $c_L = 0{,}3$ cal/g°C; $c_S = 0{,}1$ cal/g°C
b) $L_V = 18$ cal/g e $L_f = 12$ cal/g

7 ■ Transformará aproximadamente 1,76 g de álcool em vapor a 78,5°C.

8 ■ a) $t_{ebulição} = 70°C$
b) c = 0,15 cal/g°C
c) c = 18 cal/g
d) c = 0,3 cal/g°C

9 ■ $t_f = 0°C$ (necessitaríamos de 64 000 cal para fundir tal quantidade de gelo, e a água a esta temperatura somente cederá 50 000 cal).

10 ■ $t_i = 100{,}6°C$

11 ■ Porque quando o álcool, que apresenta baixo ponto de ebulição, entre em contacto com nossas mãos, vaporiza-se e ao fazê-lo, retira calor de nossas mãos nos dando a sensação de frio.

B – PRINCÍPIO DA IGUALDADE DAS TROCAS DE CALOR
• APLICAÇÃO DO PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA PARA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Quando vários corpos trocam calor entre si, veremos que a quantidade de calor perdida por alguns deles será exatamente igual a quantidade de calor ganha pelos outros: a variação de calor num sistema isolado é nula ou $\Delta Q = 0$.

1 ■ Dada a relação $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$, temos que $\Delta t = t_f - t_i$, onde t_i é a temperatura inicial e t_f a temperatura final. Quando um corpo passar de 10°C para 20°C, Δt = ______________.

****

10°C

2 ■ Então, se m = 20 g e c = 0,2 cal/g°C, Q = ______________.

****

40 cal

3 ■ Se o mesmo corpo passar de 40°C a 30°C, então: Δt = ______________ e Q = ______________.

****

- 10°C; - 40 cal

4 ■ Quando o corpo passa de 10°C a 20°C, está recebendo calor e Q é positivo; quando o corpo passa de 40°C a 30°C, está ______________ calor e Q é ______________.

****

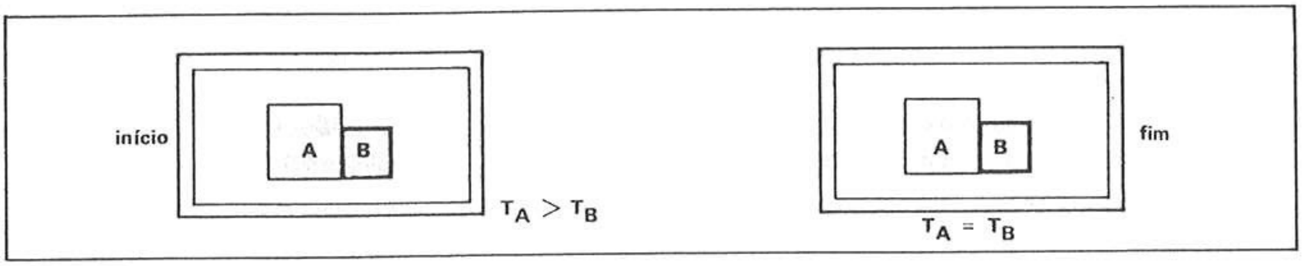
cedendo; negativo

5 ■ De agora em diante falaremos em Q como calor trocado. Quando o corpo recebe calor, o calor trocado é (positivo; negativo) e quando o corpo cede calor o calor trocado é ______________.

****

positivo; negativo

6 ■ Suponhamos dois corpos A e B em contacto e dentro de um recipiente que os isole termicamente do exterior. Se as temperaturas iniciais forem diferentes, depois de certo tempo serão ______________ .



****

iguais

7 ■ Os corpos A e B trocaram ______________. O corpo A cedeu calor enquanto B ______________ .

****

calor; recebeu calor

8 ■ A quantidade que A cedeu é ______________ à que B recebeu.

****

igual

9 ■ O fato acima ilustra o Princípio da Igualdade das Trocas de Calor, que afirma: "Se dois corpos estão termicamente isolados do exterior e trocando calor entre si, a quantidade de calor cedida por um é exatamente igual a quantidade recebida pelo outro". Se Q_A e Q_B forem os calores trocados, no exemplo do item 6, Q_A é (positivo; negativo) e Q_B é ______________ .

****

negativo; positivo

10 ■ Como Q_A e Q_B são iguais em módulo, teremos $Q_A + Q_B =$ ______________. Se A trocou -50 cal então B trocou ______________ .

****

0 ou zero; 50 cal

11 ■ $Q_A + Q_B = 0$. Esta expressão traduz matematicamente o Princípio da ______________ .

****

Igualdade das Trocas de Calor

12 ■ O Princípio da Igualdade das Trocas de Calor nos informa que, quando existir trocas de calor entre corpos, sempre haverá aquele ou aqueles que cederão calor e sempre haverá aquele ou aqueles que absorverão calor. Em todos os casos, a soma das quantidades de calor transferidas ou trocadas é sempre **nula**. Ou seja, não podemos criar ou destruir energia. É o Princípio da Conservação da Energia. Um corpo troca 30 cal; isto significa que ele (cedeu; recebeu) calor.

****

recebeu (observe o sinal)

13 ■ Se tivermos corpos A, B, C, D, E, etc, ... que intervêm num processo de transferência ou trocas de calor, a Lei da Conservação da Energia nos permite escrever: $Q_A + Q_B + Q_C + Q_D + \ldots =$ ______________.

****

0

PROBLEMA 1

Coloca-se 50 g de alumínio a 80°C dentro de um recipiente contendo 100 g de água a 14°C. Admitindo-se que as trocas de calor se dêem apenas entre a água e o alumínio, qual a temperatura final de equilíbrio?

1 ■ A água vai (ceder; receber) calor e o alumínio vai ______________ calor.

****

receber; ceder

2 ■ A quantidade de calor trocado pela água será:

$Q_{água} = m_{água} \cdot c_{água} \cdot (t_f - t_i)_{água}$. Complete:

$m_{água}$ = __________ ; $c_{água}$ = __________ cal/g°C e $t_{i\ água}$ = __________ .

****

100 g; 1,0; 14°C

3 ■ Então: $Q_{água} = 100(t_f - 14)$. A temperatura final (t_f) para a água (será; não será) a mesma que a temperatura final do alumínio.

****

será

4 ■ A quantidade de calor trocado pelo alumínio será: $Q_{Al} = m_{Al} \cdot c_{Al} \cdot (t_f - t_i)_{Al}$. Conhecendo o calor específico do alumínio, que vale $c_{Al} = 0{,}20$ cal/g°C, complete: m_{Al} = __________ e $t_{i\ Al}$ = __________ .

****

50 g; 80°C

5 ■ Então, Q_{Al} = ______________________ (substitua os valores conhecidos).

****

$50 \cdot 0{,}20(t_f - 80) = 10(t_f - 80)$

6 ■ Mas, pelo Princípio da Igualdade das Trocas de Calor:

$$Q_{água} + Q_{Al} = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ .$$

****

0

7 ■ Substituindo os valores dos calores trocados obtidos nos itens 3 e 5 e substituindo na expressão do item 6, teremos:

______________ + ______________ = 0

****

$100(t_f - 14) + 10(t_f - 80) = 0$

8 ■ $100(t_f - 14) + 10(t_f - 80) = 0$. Resolvendo esta expressão, teremos: t_f = ______________ .

****

20°C

PROBLEMA 2

Um corpo de 100 g e a 20°C é colocado dentro de um recipiente contendo 20 g de água a 50°C. A temperatura de equilíbrio do sistema é 48°C. Admitindo-se as trocas de calor apenas entre a água e o corpo, determine o calor específico do mesmo.

1 ■ Temos: $Q_{água} + Q_{corpo} = 0$. Assim: $Q_{água} = m_{água} \cdot c_{água} \cdot (t_f - t_i)_{água}$ e Q_{corpo} = ____________________ ______________________________ (literalmente).

* * * * * * * * * * * *

$m_{corpo} \cdot c_{corpo} \cdot (t_f - t_i)_{corpo}$

2 ■ $m_{água} \cdot c_{água} \cdot (t_f - t_i)_{água} + m_{corpo} \cdot c_{corpo} \cdot (t_f - t_i) = 0$. Substitua os valores conhecidos: ____________________ ______________________________________ .

* * * * * * * * * * * *

$20 \cdot 1,0 \cdot (48 - 50) + 100 \cdot c_{corpo} \cdot (48 - 20) = 0$

3 ■ Resolva a expressão acima e determine o valor do calor específico do corpo: c_{corpo} = ____________________ .

* * * * * * * * * * * *

$-40 + 2\,800 \cdot c_{corpo} = 0 \quad \therefore \quad c_{corpo} = \frac{1}{70}$ cal/g°C

4 ■ Para sermos mais precisos na solução dos problemas 1 e 2 (deveríamos; não deveríamos) levar em conta o recipiente que contém a água, pois também este (troca; não troca) calor com a água em seu interior e os objeto ou líquidos nele incluídos.

* * * * * * * * * * * *

deveríamos; troca

5 ■ Neste caso, a equação que melhor descreve as trocas de calor deveria ser, admitindo o sistema isolado:

$$Q_{água} + Q_{corpo} + Q_{recipiente} = 0$$

onde $Q_{recipiente}$ é o __________________________ trocado pelo recipiente.

* * * * * * * * * * * *

calor

PROBLEMA 3

Um copo de vidro de massa 300 g se encontra sobre uma placa de isopor (substância má condutora de calor) e contém 200 g de água a 20°C. Coloca-se dentro do copo 100 g de água a 80°C. Qual a temperatura final do sistema, sabendo-se que o calor específico do vidro de que é feito o copo vale 0,20 cal/g°C e o sistema é isolado?

1 ■ Chamando de A o copo de vidro, B a água fria e C a água quente, teremos: $Q_A + Q_B + Q_C$ = ________________ .

* * * * * * * * * * * *

0

2 ■ $Q_A = m_A \cdot c_A \cdot (t_f - t_i)_A$; $Q_B = m_B \cdot c_B \cdot (t_f - t_i)_B$; $Q_C = m_C \cdot c_C \cdot (t_f - t_i)_C$ Substituindo estas expressões na expressão do item 1, teremos: ____ = 0.

****

$m_A \cdot c_A \cdot (t_f - t_i)_A + m_B \cdot c_B \cdot (t_f - t_i)_B + m_C \cdot c_C \cdot (t_f - t_i)$

3 ■ Substitua os valores na expressão acima: ______________________________

______________________________ = 0

****

$300 \cdot 0{,}20 \cdot (t_f - 20) + 200 \cdot 1{,}0(t_f - 20) + 100 \cdot 1{,}0 \cdot (t_f - 80) = 0$

4 ■ Resolvendo o sistema, temos que: t_f = ______________.

****

36,6°C

PROBLEMA 4

Um calorímetro contém 500 g de água a 22°C. 300 g de água a 60°C são então introduzidos e misturados dentro do calorímetro. O equilíbrio térmico do sistema é alcançado quanto a temperatura é de 34,5°C. Determinar a capacidade térmica do calorímetro.

---

1 ■ Os corpos que intervêm no processo de transferência de calor são:

A = Calorímetro (vaso, agitador, termômetro a t_i = 22°C).

B = massa de 500 g de água contida no vaso a 22°C

C = massa de 300 g de água adicionada ao vaso a 60°C.

Podemos escrever que: Q_A + ____________ + ____________ = ____________ .

****

Q_B; Q_C; 0

2 ■ Podemos estabelecer as quantidades de calor trocado:

$Q_A = C_A \cdot (t_f - t_i)_A$, sendo C a capacidade térmica do calorímetro;

$Q_B = m_B \cdot c \cdot (t_f - t_i)_B$, sendo c o calor específico da água;

Q_C = ______________.

****

$m_C \cdot c \cdot (t_f - t_i)_C$

3 ■ $Q_A + Q_B + Q_C = 0$. Substituindo nesta expressão as expressões obtidas no item 2, podemos escrever:

$C_A \cdot (t_f - t_i)_A$ + ______________ + ______________ = 0.

****

$m_B \cdot c \cdot (t_f - t_i)_B$; $m_C \cdot c \cdot (t_f - t_i)_C$

4 ■ Substitua na expressão encontrada no item 3 os valores conhecidos:

______________________________ = 0.

****

$C_A(34{,}5 - 22) + 500 \cdot 1{,}0 \cdot (34{,}5 - 22) + 300 \cdot 1{,}0 \cdot (34{,}5 - 60)$

5 ■ Efetue as operações indicadas e determine o valor da capacidade térmica do calorímetro: C_A = ______________.

****

C_A = 112 cal/°C

PROBLEMA 5

Determine a quantidade de calor necessária para levar 10 g de gelo de $-20°C$ até vapor d'água a 120°C. Calor específico do gelo vale $c_g = 0{,}55$ cal/g°C; calor específico da água: $c = 1{,}0$ cal/g°C; calor específico do vapor d'água: $c_v = 0{,}48$ cal/g°C; calor latente de fusão do gelo: $L_f = 80$ cal/g, e calor latente de vaporização da água: $L_v = 540$ cal/g.

1 ■ Vamos chamar:

A = gelo de $-20°C$ até 0°C
B = gelo a 0°C
C = água entre 0 e 100°C
D = água em ebulição
E = vapor d'água entre 100°C e 120°C
Q = quantidade total de calor absorvido pela substância

Logo: Q_A + ______________________________ = 0.

* * * * * * * * * * * *

$Q_B + Q_C + Q_D + Q_E + Q$

2 ■ O calor fornecido será utilizado não somente para variar a temperatura da substância, como também para realizar (uma; duas) mudança(s) de estado.

* * * * * * * * * * * *

duas (fusão e vaporização)

3 ■ Podemos estabelecer que:

$Q_A = m_g \cdot c_g \cdot (t_f - t_i)_g$
$Q_B = m_g \cdot L_f$
$Q_C = m_a \cdot c \cdot (t_f - t_i)_a$
Q_D = ____________
Q_E = ________________

* * * * * * * * * * * *

$m_v \cdot L_v$; $m_v \cdot c_v (t_f - t_i)_v$

4 ■ Substitua na expressão encontrada no item 1 os valores dados pelas igualdades encontradas no item 3:
____ = 0.

* * * * * * * * * * * *

$m_g \cdot c_g (t_f - t_i)_g + m_g \cdot L_f + m_a \cdot c \cdot (t_f - t_i)_a + m_v \cdot L_v + m_v \cdot c_v (t_f - t_i)_v + Q$

5 ■ Substitua os valores conhecidos na expressão obtida no item 4:
____ = 0.

* * * * * * * * * * * *

$10 \cdot 0{,}55 \cdot 20 + 10 \cdot 80 + 10 \cdot 100 + 10 \cdot 540 + 10 \cdot 0{,}48 \cdot 20 + Q$

6 ■ Resolvendo a equação acima obteremos: Q = ______________________________ cal.

* * * * * * * * * * * *

$-7\,406$ cal (o sinal (–) indica que o calor trocado foi cedido para a substância)

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ O que estabelece o Princípio da Igualdade das Trocas de Calor num sistema isolado?

2 ■ Represente, matematicamente, o Princípio da Igualdade das Trocas de Calor entre 3 corpos quaisquer.

3 ■ O Princípio da Igualdade das Trocas vale mesmo quando ocorre mudanças de estado?

4 ■ Quando um corpo aumenta de temperatura, o calor trocado deste corpo é positivo ou negativo? E quando sua temperatura diminui?

5 ■ "O Princípio da Igualdade das Trocas de Calor corresponde nada menos que ao Princípio da Conservação de Energia". (certo; errado)

Após isso; você deve estar apto para:
a. enunciar o Princípio da Igualdade das Trocas de Calor.
b. aplicar o Princípio da Igualdade das Trocas de Calor em problemas numéricos.
c. resolver problemas propostos.

PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ 100 g de água a 80°C são misturados com 50 g de água 20°C. Suponha a troca de calor apenas entre os dois corpos e determine a temperatura de equilíbrio do sistema.

2 ■ 100 g de água a 80°C são misturados com 100 g de álcool etílico a 20°C. Qual a temperatura de equilíbrio térmico? Admitir o sistema isolado, e considerar o calor específico do álcool igual a 0,58 cal/g°C.

3 ■ 10 gramas de vapor d'água a 120°C e 70 g de gelo a -20°C são colocados em 200 g de água a 50°C. Qual é a temperatura final?

4 ■ Em um espaço cheio com vapor d'água a 100°C é colocado um recipiente de 100 g a 20°C. Se 1,4 g de água condensa no recipiente, qual é o seu calor específico?

5 ■ Colocam-se num mesmo recipiente 300 g de gelo a 0°C, 1 800 g de água a 10°C e 150 g de vapor d'água a 100°C. Qual é a temperatura de equilíbrio?

6 ■ Qual a quantidade de calor que se deve fornecer a um corpo de 40 g de massa e calor específico igual a 0,12 cal/g°C, a fim de que a temperatura da substância passe de -5,0°C para 25°C, sem mudança de estado físico?

7 ■ Se 4 200 J de energia fossem transformados em energia interna de um corpo de capacidade térmica igual a 10 cal/°C, qual seria a elevação de temperatura do corpo?

8 ■ Tem-se quatro corpos cujos calores específicos, massas e temperaturas são respectivamente iguais a:

M	0,20 cal/g°C	100 g	10°C
N	0,09 cal/g°C	200 g	25°C
O	0,05 cal/g°C	300 g	36°C
P	x cal/g°C	400 g	40°C

Os quatro corpos são colocados em contacto uns com os outros e atingem o equilíbrio térmico a 30°C. Determine o calor específico x do corpo P.

RESPOSTAS

1 ■ $t_f = 60°C$ 2 ■ $t_f \cong 57{,}9°C$ 3 ■ $t_f \cong 36°C$ 4 ■ $c = 0{,}0945$ cal/g°C
5 ■ $t_f = 40°C$ 6 ■ $Q = 96$ cal 7 ■ $\Delta t = 100°C$ 8 ■ $c_x = 0{,}1$ cal/g°C

C – INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NAS MUDANÇAS DE ESTADO

- INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NA FUSÃO
- INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NA VAPORIZAÇÃO
- CURVAS DE FUSÃO, VAPORIZAÇÃO E SUBLIMAÇÃO
- PONTO TRIPLO DE UMA SUBSTÂNCIA

Até o presente momento, as mudanças de estado foram consideradas à pressão normal, ou seja, a pressão sobre uma substância foi admitida como constante e seu valor igual a 1 atm. Vamos estudar agora a sua influência sobre o comportamento térmico das substâncias quando estas sofrem mudança de estado físico. Em particular, analisaremos sua influência na fusão e na vaporização.

1 ■ A experiência registra que a grande maioria das substâncias ao se fundirem experimentam (um aumento; uma diminuição) de volume, conforme já estudamos quando abordamos a dilatação das substâncias.

★★★★★★★★★★★★

um aumento

2 ■ Numa substância, ao absorver calor, a distância entre as moléculas (aumenta; diminui; permanece constante). Como a tendência das substâncias é de aumentar o volume ao receberem calor, um aumento de pressão sobre a substância tende a (facilitar; dificultar) o aumento de volume da substância.

★★★★★★★★★★★★

aumenta; dificultar

3 ■ As substâncias que apresentam um aumento de volume durante a fusão terão suas temperaturas de fusão aumentadas quando sobre elas aumentarmos a pressão externa. O cobre funde-se a 1 083°C à pressão normal (1 atm); se aumentarmos a pressão externa sobre ele, sua temperatura de fusão será (igual a; menor que; maior que) 1 083°C.

★★★★★★★★★★★★

maior que

4 ■ Para as substâncias que aumentam de volume ao se fundirem, um aumento de pressão ocasiona um __________ na temperatura de fusão e, inversamente, uma diminuição de pressão sobre a substância facilita a passagem da substância do estado sólido para o líquido; logo, sua temperatura de fusão sofre (um aumento; uma diminuição).

★★★★★★★★★★★★

aumento; uma diminuição

5 ■ Algumas poucas substâncias apresentam comportamento diferente do descrito nos itens 1 a 4. Assim, o gelo apresenta um volume maior que a mesma quantidade de água a 0° C. Desta forma, quando o gelo se funde, seu volume (aumenta; diminui; permanece constante).

★★★★★★★★★★★★

diminui

6 ■ O fato do gelo apresentar volume maior que igual quantidade de água é bastante conhecido, uma vez que quando colocamos uma garrafa cheia d'água e hermeticamente fechada no congelador é comum ela estourar, já que o volume da água é (maior; menor) que o do gelo.

★★★★★★★★★★★★

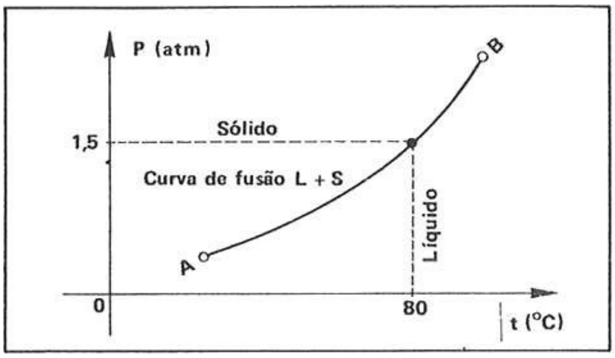
menor

7 ■ Logo, as substâncias, ao se fundirem, podem sofrer um aumento ou uma diminuição de volume, sendo mais comum aş substâncias apresentarem um____________________de volume ao fundirem. Neste caso, um aumento de pressão sobre a substância faz com que sua temperatura de fusão sofra um(a) (aumento; diminuição).

★★★★★★★★★★★★

aumento; aumento

8 ■ O gráfico ao lado mostra como varia a temperatura de fusão de uma substância em função da pressão que suporta. A curva AB traçada chama-se **curva de fusão**. Ao longo dela a substância coexiste nos dois estados, sólido e ________________. Para exemplificarmos, quando a pressão for de 1,5 atmosferas, a substância sofre fusão à temperatura de__________.



★★★★★★★★★★★★

líquido; 80°C

9 ■ Item 8. Acima da linha de fusão AB a substância existe no estado ________________, e abaixo da referida linha temos a substância no estado________________. Ela coexiste nos dois estados ao longo de AB.

★★★★★★★★★★★★

sólido; líquido

10 ■ A curva de fusão traçada no item 8 ilustra o comportamento das substâncias que apresentam (um aumento; uma diminuição) de volume ao sofrerem fusão. Este gráfico mostra que quando a pressão cresce a temperatura de fusão (aumenta; diminui; permanece constante).

★★★★★★★★★★★★

um aumento; aumenta

11 ■ Com relação às substâncias que apresentam uma diminuição de volume ao sofrerem fusão, seu comportamento é diverso do descrito para as substâncias que apresentam um aumento de volume ao se fundirem. Para tais substâncias, um aumento da pressão determina uma diminuição em sua temperatura de fusão. Sob pressão normal, o gelo funde-se à temperatura de 0°C. Se aumentarmos a pressão sobre ele sua temperatura de fusão (aumentará; diminuirá).

★★★★★★★★★★★★

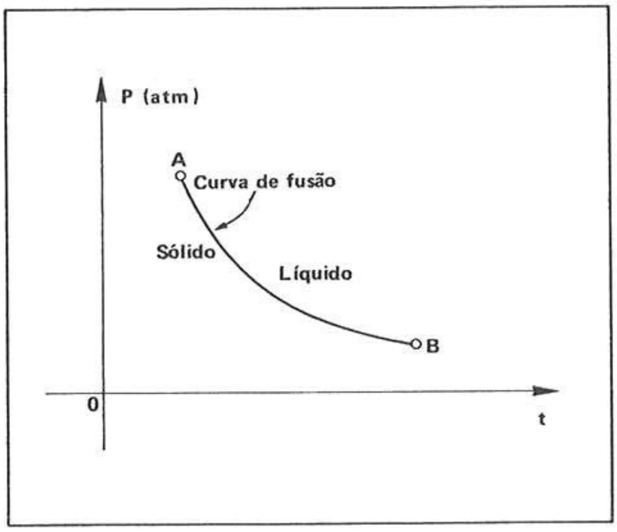
diminuirá

12 ■ As substâncias que apresentam uma diminuição de volume ao se fundirem terão suas temperaturas de fusão (aumentadas; diminuídas) quando a pressão sobre elas diminuir.

★★★★★★★★★★★★

aumentadas

13 ■ O gráfico ao lado mostra a forma como varia a temperatura de fusão de uma substância que sofre diminuição de volume ao fundir, em função da pressão sobre ela. Podemos observar que quando P cresce, a temperatura (aumenta; diminui).



★★★★★★★★★★★★

diminui

14 ■ Item 13. Analisando a curva de fusão construída podemos observar que acima dela a substância existe apenas no estado ____________ e, abaixo dela, a substância somente existe no estado ____________. A substância coexiste no estado sólido e líquido __________________ (complete).

* * * * * * * * * * * *

líquido; sólido; ao longo da linha AB

15 ■ Desta forma, quando um pedaço de gelo está suportando a pressão de 1 atm ele sofre mudança de estado a ________ °C. Se aumentarmos a pressão sobre ele sua temperatura de fusão (aumentará; diminuirá).

* * * * * * * * * * * *

0; diminuirá

16 ■ Assim, se reduzirmos a pressão sobre o gelo a menos de 1 atm, o gelo fundirá a uma temperatura ________ a 0°C. Inversamente, um aumento de pressão fará com que a temperatura de fusão do gelo diminua. Se fizermos a pressão sobre o gelo atingir o valor de aproximadamente 1 000 atm, ele fundirá a - 7,5°C; desta forma, sob esta pressão, à temperatura de - 7,0°C (teremos; não teremos) água.

* * * * * * * * * * * *

superior; teremos

17 ■ O fenômeno da vaporização é grandemente influenciado pela pressão externa. Já vimos quando estudamos a dilatação dos fluidos que a tendência destes é sempre de (aumentar; diminuir) o volume ao receberem uma quantidade de calor.

* * * * * * * * * * * *

aumentar

18 ■ Um aumento de pressão sobre um líquido aumentará a dificuldade das suas moléculas abandonarem o líquido sob a forma de vapor pela absorção de calor. Desta forma, um aumento da pressão fará com que a temperatura de ebulição de um líquido (aumente; diminua; permaneça constante).

* * * * * * * * * * * *

aumente

19 ■ Sob a pressão de 1 atm, a água entra em ebulição à temperatura de ____________. Através de uma panela de pressão podemos fazer com que a pressão no interior dela aumente. Desta forma, a existência de válvulas nas panelas permite controlar a pressão do vapor no seu interior e assim, a água poderá alcançar temperaturas superiores a 100°C sem entrar em ebulição.

* * * * * * * * * * * *

100°C

20 ■ Qual seria o interesse de se obter temperaturas superiores a 100°C para cozer alimentos? Sabemos da Química que **a velocidade de uma reação química cresce com o aumento de temperatura**. Desta forma, obtendo-se temperaturas superiores a 100°C, o que se consegue normalmente com as panelas comuns de pressão, o tempo gasto para cozer alimentos (aumenta; diminui).

* * * * * * * * * * * *

diminui

21 ■ Um aumento de pressão sobre um líquido faz com que sua temperatura de ebulição (aumente; diminua). Já a diminuição de pressão sobre um líquido faz com que sua temperatura de ebulição (aumente; diminua; permaneça constante).

* * * * * * * * * * * *

aumente, diminua

22 ■ A experiência nos informa que a uma pressão de aproximadamente 16 cm de mercúrio a água entra em ebulição a 60°C. Se a água entrar em ebulição a 110°C, podemos concluir que a pressão sobre ela é (superior; inferior; igual) a 1 atm.

★★★★★★★★★★★

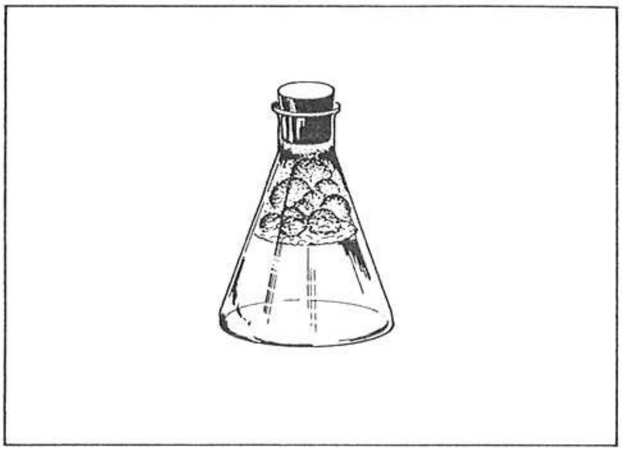
superior

23 ■ Quanto à influência da pressão sobre a temperatura de ebulição, o comportamento observado para a água é comum à maioria dos líquidos. Quando temos água numa panela de pressão e esta é levada ao fogo, sabemos que após algum tempo a pressão no interior será superior a 1 atm. Este fato ocorre graças à vaporização do líquido. Este fato indica que os vapores de um líquido (exercem; não exercem) pressão, da mesma maneira que a atmosfera o faz.

★★★★★★★★★★★

exerce

24 ■ Ao aquecermos um líquido contido num recipiente hermeticamente fechado vamos constatar que, à medida que o líquido se aquece, suas moléculas ganham maior velocidade. Quando possuirem energia suficiente, podem vencer as atrações que se exercem umas sobre as outras e escapar da superfície do líquido, constituindo vapor. Desta forma, no espaço entre a superfície líquida e a panela o número de moléculas no estado de vapor (aumenta; diminui; permanece constante) enquanto o líquido está se aquecendo.



★★★★★★★★★★★

aumenta

25 ■ Item 24. À medida que as moléculas vão abandonando o líquido e se transformando em vapor, elas (passam; não passam) a exercer pressão sobre as paredes do recipiente e sobre a superfície líquida.

★★★★★★★★★★★

passam

26 ■ Numa caldeira ou numa panela de pressão, os vapores dos líquidos provocam um aumento da pressão interna sobre o líquido, além da pressão normalmente exercida pelos gases existentes na atmosfera e que estão aquecidos. Isto nos leva a conclusão que os vapores (exercem; não exercem) pressão. Esta pressão é chamada **pressão de vapor.**

★★★★★★★★★★★

exercem

27 ■ Item 24. Observa-se que algumas moléculas de vapor retornam ao líquido (condensam-se novamente). Inicialmente, o número de moléculas que evaporam é maior que o das que retornam à massa líquida. Entretanto, após um certo tempo chega-se a uma situação na qual a quantidade das moléculas que se vaporizam iguala-se à das que se condensam. Quando isto ocorrer, a quantidade de vapor dentro do recipiente será constante. Nesta situação, dizemos que o espaço sobre o líquido está **saturado** de vapor. Tem-se sobre o líquido vapor saturado. Portanto, quando sobre o líquido existe vapor saturado, o número de moléculas de vaporização é ______
____.

★★★★★★★★★★★

igual ao número de moléculas que retornam à massa líquida

28 ■ Quando é atingido o equilíbrio líquido-vapor, ou seja, quando o vapor está saturado, dizemos que a pressão por ele exercida nestas condições é máxima e é denominada **tensão máxima de vapor** ou **pressão máxima de vapor**. Assim, num recipiente hermeticamente fechado, quando o recinto estiver saturado de vapores, ou seja, quando a tensão de vapor do mesmo é máxima, o número de moléculas que se evaporam (é; não é) igual ao número de moléculas que se condensam ou retornam ao líquido.

****

é

29 ■ Num recipiente aberto temos que quando a pressão máxima do vapor se torna igual a pressão externa o líquido entra em ebulição e, a partir disto, todo o calor é utilizado na mudança de estado. Sabemos que sob a pressão de 76 cm de mercúrio a água entra em ebulição a 100°C. Logo, a tensão máxima do vapor de água a 100° C é exatamente igual a ____________ cm de mercúrio.

****

76

30 ■ Numa atmosfera rarefeita, por exemplo sob pressão de 7,0 cm de mercúrio, a água entra em ebulição a uma temperatura de 45°C. Logo, a tensão máxima do vapor d'água a 45°C, é exatamente igual a __________ ________________.

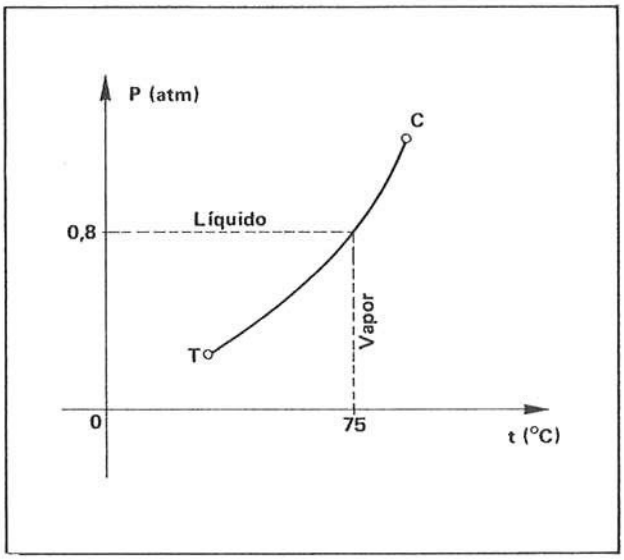
****

7,0 cm de mercúrio

31 ■ A pressão máxima de vapor depende da substância e de sua temperatura. Assim, um aumento de temperatura sempre acarreta (um aumento; uma diminuição) do valor da pressão máxima do vapor.

****

um aumento



32 ■ O gráfico ao lado ilustra uma curva chamada **curva de vaporização**. Neste diagrama temos uma curva que corresponde à dependência dos valores da pressão máxima de vapor com a temperatura. Podemos observar pelo diagrama que um aumento de temperatura é sempre acompanhado por um aumento da tensão máxima. Ao longo da curva a substância coexiste nos estados ________________ e ________________ .

****

líquido; vapor

33 ■ Item 32. Acima da curva de vaporização a substância só existe no estado ____________________ e, abaixo, no estado de ________________ .

****

líquido; vapor

34 ■ Item 32. Exemplificando: quando a tensão máxima de vapor for 0,8 atm, o líquido entra em ebulição à temperatura de ________________ .

****

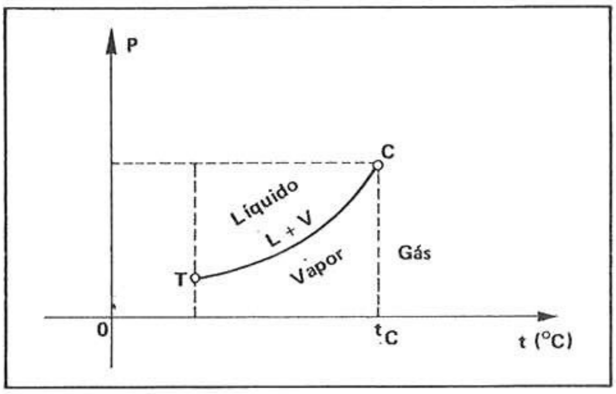
75°C

35 ■ O ponto na curva de vaporização simbolizado com C é chamado "**ponto crítico**". Para temperaturas acima deste ponto a substância não pode existir no estado líquido, seja qual for o valor da pressão. Logo, existe uma temperatura, acima da qual é (possível; impossível) liquefazer um vapor apenas aumentando a pressão. A descoberta deste ponto foi feita por Andrews.

* * * * * * * * * * * *

impossível

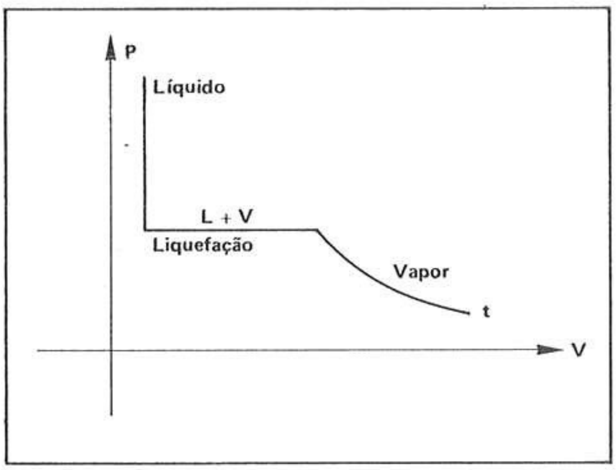
36 ■ Graças à existência do chamado ponto ou temperatura crítica foi possível estabelecer uma diferença entre "vapor" e "gás". Desta forma, uma substância é considerada gás quando se encontra em temperatura superior à do seu ponto crítico. Assim, refazendo o diagrama traçado no item 32, podemos estabelecer as regiões de modo mais geral. Assim, para temperaturas superiores a t_C, a substância é considerada (gás; vapor; líquido).



* * * * * * * * * * * *

gás

37 ■ Comprimindo-se um vapor à temperatura constante (para isto é necessário retirar calor), obtém-se uma diminuição de volume e aumento de pressão até que o vapor se sature. Ao atingir este ponto, obtém-se a liquefação do vapor, que continua até que todo vapor se transforme em líquido. Quando todo o vapor tiver se transformado em líquido, os posteriores aumentos de pressão reduzem (muito; pouco) o volume do líquido. O diagrama ao lado ilustra o que foi descrito.



* * * * * * * * * * * *

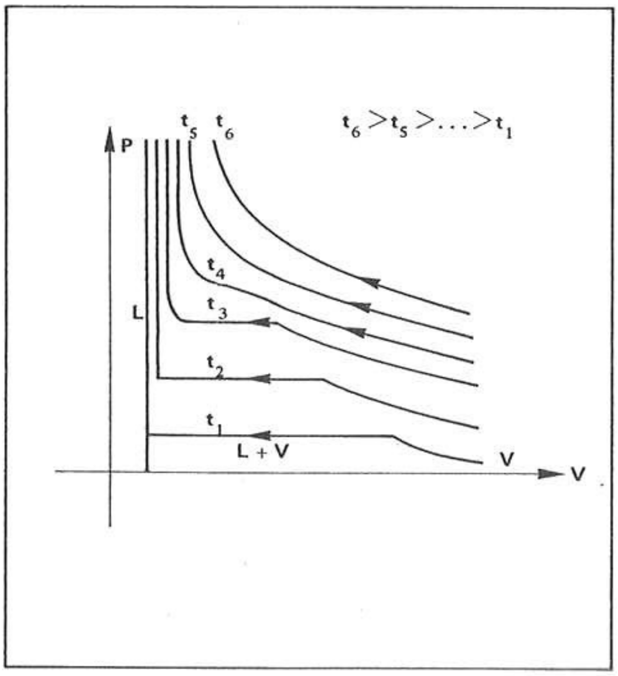
pouco

38 ■ Efetuando-se a compressão do vapor em temperaturas cada vez mais altas, obteremos várias isotermas (transformações à temperatura constante) através das quais observa-se que o patamar – perpendicular ao eixo das pressões – vai diminuindo com o aumento de temperatura, até desaparecer. Isto significa que para cada substância existe uma temperatura acima da qual ela não mais se liquefaz por simples aumento de pressão. Essa temperatura é chamada ______________ ______________.

* * * * * * * * * * * *

temperatura crítica

39 ■ Item 38. No diagrama esquematizado nesse item, t_4 corresponde à ______________________, uma vez que a partir desta temperatura (ocorre; não ocorre) mais liquefação por simples aumento de pressão.

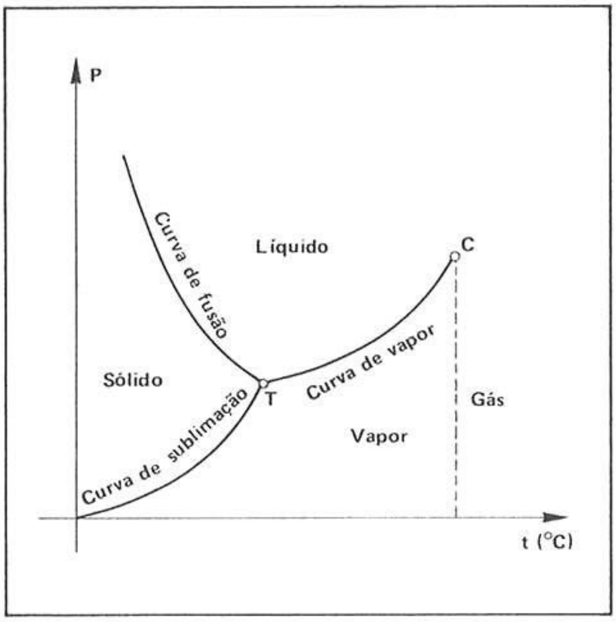


★★★★★★★★★★★

temperatura crítica; não ocorre

40 ■ A fim de se verificar a influência da pressão em função da temperatura de uma substância em suas várias fases, constroem-se num diagrama P × t as curvas de fusão, de vaporização e de sublimação. Assim, para as substâncias que diminuem de volume ao se fundirem – H_2O por exemplo – teríamos o diagrama ao lado.

O ponto de encontro das 3 curvas T é chamado **ponto triplo**. Neste ponto, a substância coexiste nos 3 estados: sólido, líquido e ______________ .



★★★★★★★★★★★

vapor

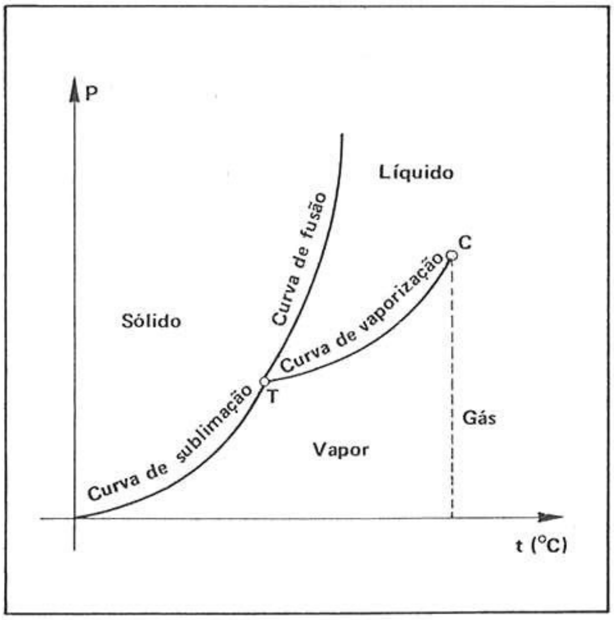
41 ■ O ponto triplo da água é obtido para $t = 0{,}01\,°C$ e $P = 0{,}46$ cm de Hg. Nesta temperatura e pressão a substância coexiste em três estados. Já ao longo da curva de sublimação a substância coexiste no estado sólido e ______________. Ao longo da curva de vaporização a substância coexiste no estado líquido e ______________, e finalmente, ao longo da curva de fusão a substância coexiste no estado __________ e ______________ .

★★★★★★★★★★★

vapor; vapor; sólido; líquido

42 ■ Reunindo num diagrama P × t as curvas de fusão, vaporização e sublimação, para substâncias que se expandem ao se fundirem, teremos o diagrama ao lado.

Neste diagrama, T é chamado ______________ e nele a substância ______________ nos três estados: sólido, líquido e vapor.



★★★★★★★★★★★

ponto triplo; coexiste

43 ■ Portanto, toda substância pode se apresentar nos três estados, bastando para tanto variarmos convenientemente a sua pressão e ______________. O ponto onde a substância existe nas três fases é chamado __________ ______________.

★★★★★★★★★★★

temperatura; ponto triplo

44 ■ Dado o diagrama ao lado, de uma substância que aumenta de volume ao se fundir, as letras correspondem à fase ou fases da substância. Identifique-as, utilizando as iniciais da fase correspondente.

A = S + L

B = ____________

D = ____________

E = ____________

F = ____________

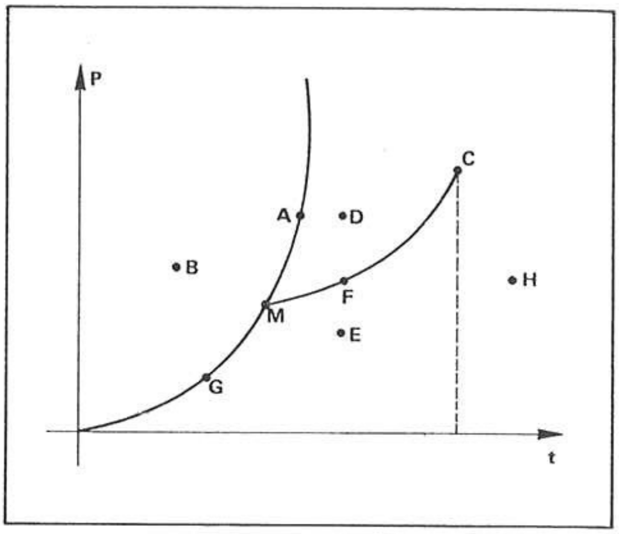
G = ____________

H = ____________

M = ____________

★★★★★★★★★★★

S; L; V; L + V; S + V; G (gás); S + L + V



QUESTÕES DE ESTUDO

As questões de estudo apresentadas a seguir têm por objetivo que você verifique a sua fluência quanto ao entendimento do assunto que acabou de estudar. Verificará que não é necessário mais que alguns minutos para isso. Se encontrar dificuldade em alguma questão, você poderá verificar a resposta exata voltando ao texto.

1 ■ Como se comporta uma substância que experimenta um aumento de volume durante a fusão, quando a pressão sobre ela aumenta? E quando diminui?

2 ■ O que acontece com o ponto de fusão de uma substância que experimenta uma diminuição de volume, quando sobre ela a pressão cresce? E quando diminui?

3 ■ Esboce uma curva de fusão para uma substância que aumenta de volume ao se fundir.

4 ■ Esboce uma curva de fusão para uma substância que diminui de volume ao se fundir.

5 ■ Ao longo de uma curva de sublimação, em quais estados a substância coexiste?

6 ■ Ao longo de uma curva de fusão, em quais estados a substância coexiste?

7 ■ Idem para uma curva de vaporização.

8 ■ Como é chamada uma substância que se encontra numa temperatura acima de sua temperatura crítica?

9 ■ Pode uma substância existir em fases distintas? Como é chamado o ponto onde isto ocorre?

10 ■ O aumento de pressão sobre um líquido produz alguma alteração na temperatura de ebulição do mesmo? E a diminuição?

11 ■ É possível a água entrar em ebulição à temperatura de 20°C? O que é necessário fazer-se para que isto ocorra?

12 ■ Os vapores exercem pressão?

13 ■ Como é chamada a pressão que os vapores exercem?

14 ■ Determinado líquido entra em ebulição a 82°C sob pressão de 70 cm de mercúrio. Qual é a tensão máxima do vapor deste líquido a esta temperatura?

15 ■ Qualquer que seja a temperatura, uma substância no estado gasoso pode liquefazer-se por simples aumento de pressão?

16 ■ Esboce num mesmo diagrama P X t as curvas de fusão, vaporização e sublimação de uma substância que sofre aumento de volume ao fundir.

17 ■ Idem para uma substância que sofre diminuição de volume ao fundir.

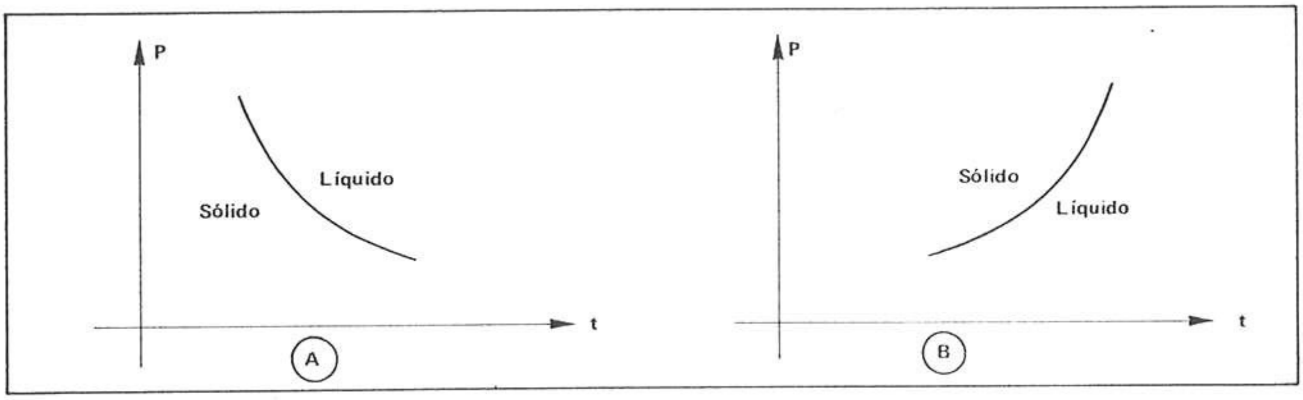
Após isso, você deve estar apto para:

a. caracterizar a influência da pressão sobre as substâncias quando ocorre mudança de estado.
b. identificar e construir curvas de fusão, vaporização e sublimação.
c. definir temperatura crítica.
d. definir ponto triplo de uma substância.
e. caracterizar vapor e gás.

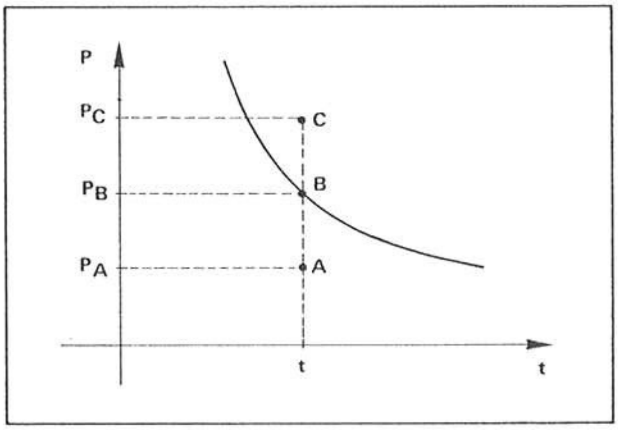
QUESTÕES A RESOLVER

1 ■ Quais os estados de agregação que a curva de fusão separa?

2 ■ Qual dos diagramas abaixo se adapta melhor para descrever a curva de fusão da água?



3 ■ A figura ao lado representa a curva de fusão de gelo. Um bloco de gelo se encontra a uma temperatura t e pressão P_A. O que acontecerá se a pressão for elevada para P_B e P_C?



4 ■ Quais os estados que a curva de vaporização separa?

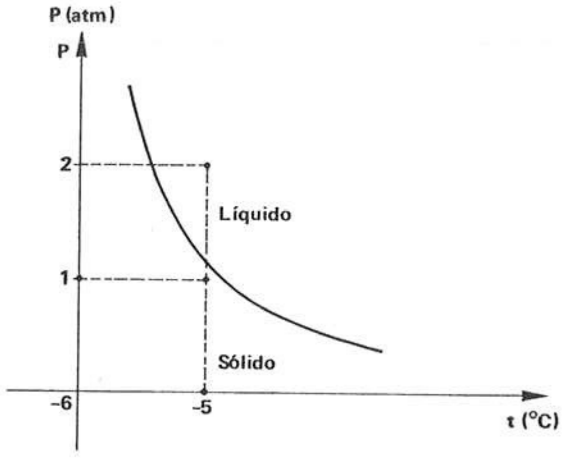
5 ■ Por que a água ferve mais rapidamente numa montanha do que ao nível do mar?

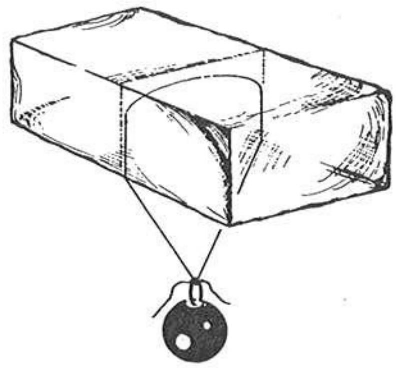
6 ■ Explique por que, durante um dia chuvoso, as janelas de recintos fechados nos quais existem pessoas, se embaçam.

7 ■ Como denominamos o ponto de coexistência dos 3 estados de agregação da matéria?

8 ■ Qual a diferença de comportamento apresentada por um gás e um vapor quando comprimidos à uma temperatura constante?

9 ■ (Experiência de Tyndall) O gráfico seguinte representa um trecho da curva de fusão para a água. Um bloco de gelo sob pressão de 1 atm está a uma temperatura de – 5°C. Envolve-se este bloco de gelo com um fio metálico que exerce sobre o gelo uma pressão adicional de 1 atm. Observa-se que o fio atravessa o gelo sem quebrá-lo. Explique por quê.





10 ■ A diminuição da pressão sobre um líquido dificulta ou facilita a vaporização?

RESPOSTAS

1 ■ Sólido – líquido

2 ■ A

3 ■ Se a pressão for elevada para P_B, o gelo estará em mudança de fase (sólido para líquido); se a pressão for elevada para P_C, o gelo será transformado em líquido.

4 ■ Líquido – vapor

5 ■ Porque a pressão atmosférica na montanha é menor.

6 ■ Porque o vapor de água contido no ar se condensa ao encontrar a superfície fria do vidro.

7 ■ Ponto triplo.

8 ■ O vapor se condensa, o gás não.

9 ■ Na região atingida pelo fio metálico a pressão aumenta e o gelo se funde; após a passagem do fio a pressão volta a ser 1 atm e o gelo volta a se solidificar.

10 ■ Facilita.

SEÇÃO 4 – TRANSFERÊNCIA DE CALOR

- CONDUÇÃO
- CONVECÇÃO
- IRRADIAÇÃO

Sendo o calor uma forma de energia, vamos abordar, nesta parte, a maneira como esta energia é transferida de um corpo a outro. Estudaremos processos de transferência de calor semelhantes àquele que ocorre quando dois corpos a diferentes temperaturas são postos em contacto, como no caso de uma panela fria colocada sobre uma chapa quente; analisaremos como se dá o aquecimento dos fluidos (gases e líquidos) e finalmente, o processo de aquecimento por irradiação térmica: por exemplo, a energia que Sol envia aos seus planetas sob a forma de calor.

1 ■ Quando dois objetos são colocados em contacto, o mais quente se esfria ao passo que o mais frio se aquece, até que ambos atinjam uma mesma __________ __________. Desta forma, conceituamos o calor como forma de energia em trânsito entre objetos em virtude da diferença de ____________________ entre eles.

****

temperatura; temperaturas

2 ■ Ao colocarmos a ponta de uma barra de metal em contacto com uma chama (fig. 1) constataremos, ao fim de certo tempo, que a extremidade oposta que estamos segurando está se aquecendo. Dizemos que o calor flui através da barra por **condução**. A barra metálica conduziu o ______________ até nossa mão.

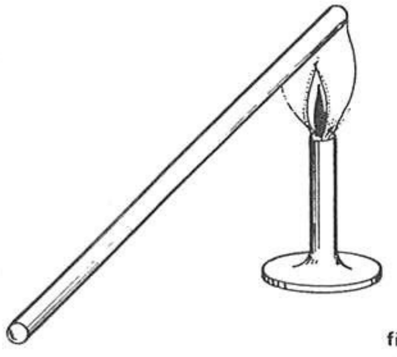


fig. 1

****

calor

3 ■ A condução de calor ocorrerá sempre quando entre dois pontos de um objeto ou objetos distintos mas em contacto, existir uma diferença de ________________. O calor flui sempre de pontos de temperaturas mais altas para os de ______________________________.

****

temperatura; temperaturas mais baixas

4 ■ Para explicarmos o mecanismo da condução térmica vamos nos reportar ao exemplo da barra citada no item 1. As moléculas da barra que estão em contato direto com a chama recebem calor graças ao acréscimo de suas energias e passam a vibrar mais intensamente. Tais moléculas, mediante contínuos choques, obrigam as outras moléculas próximas a fazer o mesmo. Desta forma, o calor se propaga, de molécula a molécula, sem que estas abandonem a região em que estão vibrando. Assim, no processo de propagação de calor por condução (há; não há) transferência de matéria.

****

não há

5 ■ As moléculas de uma substância (estão; não estão) em constante vibração e com o aumento de temperatura da mesma esse movimento vibratório (aumenta; diminui; permanece constante).

****

estão; aumenta

6 ■ Aquecendo-se a extremidade de um corpo, através dos choques entre as partículas de que o corpo é feito, o calor se transmite através dele. Entretanto, como os corpos são constituídos de substâncias distintas (devemos; não devemos) esperar que eles conduzam o calor da mesma forma.

****

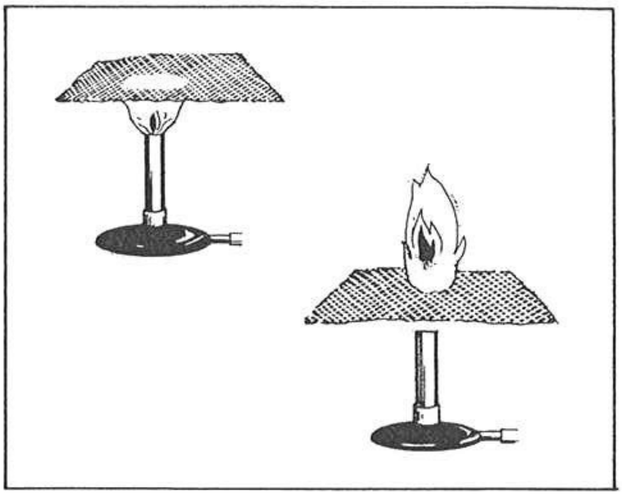
não devemos

7 ■ Os corpos não conduzem o calor da mesma forma: uns, como os metais, são bons condutores de calor, e outros, os chamados isolantes térmicos, maus condutores de calor: isopor, madeira, papel, plástico, gelo, borracha, os gases, vidro, água, concreto, cortiça, feltro, amianto, etc... Para cozermos alimentos utilizamos panelas feitas de materiais que são (bons, maus) condutores térmicos, ao passo que o cabo das panelas são feitos de substâncias (condutores; isolantes) de calor.

****

bons; isolantes

8 ■ A experiência ao lado ilustra o fenômeno da condução de calor. Tem-se uma tela de arame e um bico de Bunsen. Se colocarmos a chama sob a tela, esta conduzirá o calor, embora a chama não a atravesse. Se acendermos o gás na parte superior, teremos a chama localizada na parte superior da tela. Na condução, o calor se propaga através dos corpos, os quais (também; não) se aquecem.



****

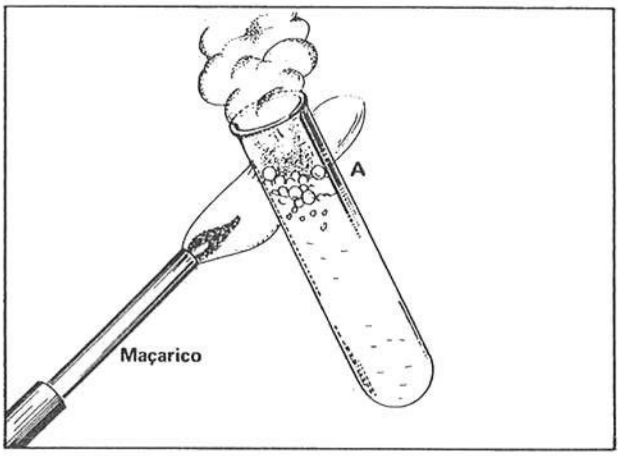
também

9 ■ Vimos que na condução o calor se propaga através de um corpo (com; sem) transporte de matéria. No inverno utilizamos cobertores que são feitos de material (condutor; isolante) térmico.

****

sem; isolante

10 ■ A propagação de calor por condução é uma característica dos corpos sólidos, uma vez que tal processo é pouco pronunciado nos líquidos e gases. A experiência esquematizada ao lado ilustra esse fato. Tem-se um tubo de ensaio contendo água. Aquece-se a parte superior do tubo (A) através de uma chama e verifica-se que a água acima de A entra em ebulição rapidamente, enquanto que abaixo de A praticamente não acusa aumento de temperatura. Este fato demonstra como, em particular, a água é (boa; má) condutora de calor.



****

má

11 ■ Num dia frio, ao tocarmos uma maçaneta metálica e a respectiva porta feita de madeira, sentiremos que a maçaneta nos causa uma sensação muito mais (fria; quente) que a porta. Isto é explicado pelo fato do metal conduzir melhor o calor e desta forma ele nos é retirado de nossas mãos em maior quantidade do que quando tocamos a madeira, daí a sensação de frio que ele nos causa. Quando nos levantamos e pisamos o chão sentiremos mais frio se ele for de (madeira; cerâmica), porque a cerâmica é (melhor; pior) condutora térmica que a madeira.

****

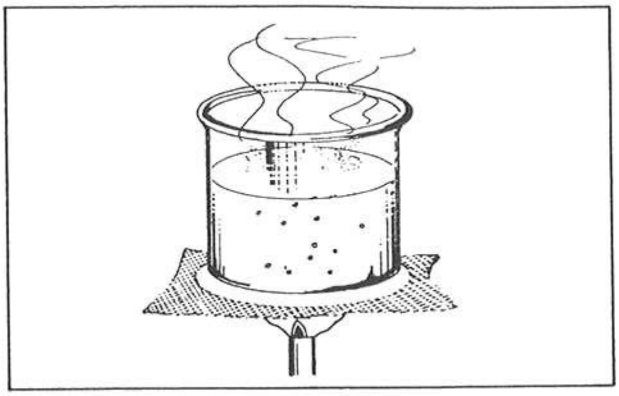
fria; cerâmica; melhor

12 ■ Nos líquidos e gases a condução de calor é bastante (grande; pequena). Portanto, para aquecer um fluido, como por exemplo a água, o fenômeno da propagação de calor é diferente.

****

pequena

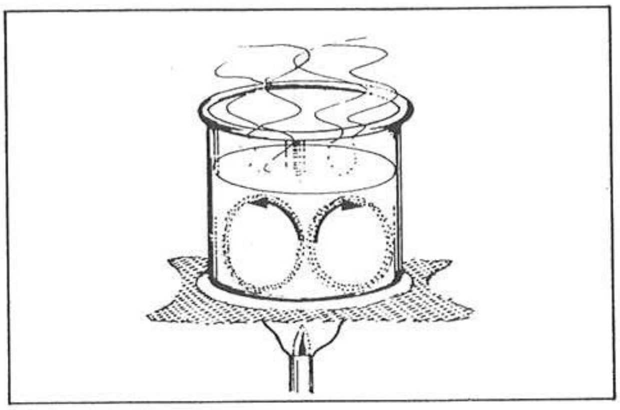
13 ■ Observe a figura ao lado. Um recipiente contendo um líquido está sendo aquecido através de uma chama. A parte do líquido que está em contacto com o fundo do recipiente, colocado sobre a chama, se aquece. Desta forma, o líquido aquecido aumenta o volume e como $d = \frac{m}{V}$, a densidade do líquido aquecido é (maior que; menor que; igual) a do líquido mais frio.



****

menor que

14 ■ Quando a densidade do líquido situado no fundo diminui, ele sobe, ao passo que o líquido mais frio ____________, passando a ocupar o lugar do outro. Desta forma, constituem-se correntes ascendentes do fluido (quente; frio) e correntes descendentes do ____________. Esta situação permanece até que todo o líquido atinja uma mesma temperatura de equilíbrio.



****

desce; quente; frio

15 ■ Este tipo de propagação de calor recebe o nome de **convecção** e é uma característica da propagação do calor nos fluidos. Assim, definimos convecção como sendo o processo de transmissão de calor de uma região para outra pelo deslocamento do próprio fluido, ocasionado pela variação de densidade com a temperatura. Numa sala fechada, a camada de ar quente se situa (próximo ao chão; próximo ao teto).

****

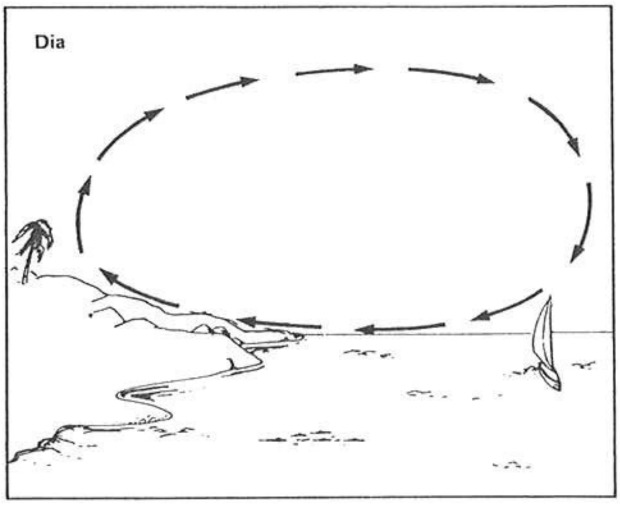
próximo ao teto

16 ■ Na condução, o calor se transmite para todo o corpo (com; sem) transporte de matéria, ao passo que na convecção é o próprio material aquecido que se desloca. Os exaustores numa cozinha são colocados na parte (inferior; superior) para quando eles funcionarem poderem eliminar os gases e vapores aquecidos que se elevam para a parte superior da mesma.

****

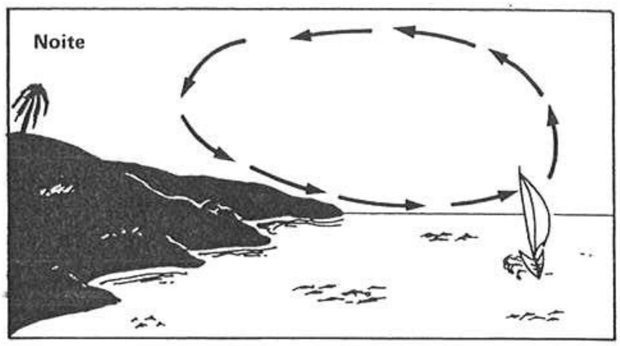
sem; superior

17 ■ A origem das brisas marítimas é também explicada pela convecção. Como o calor específico da água é muito superior ao da areia ou da terra, a água demora mais que a terra, tanto para se aquecer como para se esfriar. Desta forma, quando o Sol nasce a terra se aquece (mais; menos) rapidamente que a água do mar. Desta forma, o ar em contato com a terra se aquece e sobe e seu lugar passa ser ocupado pela massa de ar mais (quente; fria) proveniente do mar. Isto faz com que se crie uma corrente de ar chamada de brisa, que é geralmente agradável porque está a uma temperatura inferior à da massa de ar que se encontra sobre o continente.



****

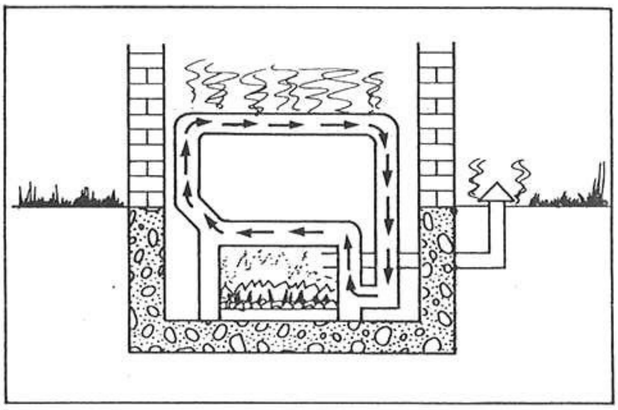
mais; fria



18 ▪ À noite, o processo se inverte. Como a terra perde calor mais rapidamente que o mar, ela se resfria (mais; menos) depressa que ele. Desta forma, a brisa sopra (do mar para o continente; do continente para o mar).

****

mais; do continente para o mar



19 ▪ O aquecimento de um edifício se baseia também nas correntes de convecção. Os encamentos contendo água recebem calor através de uma fonte geralmente colocada no sub-solo do prédio. O líquido aquecido (sobe; desce) ao passo que o frio ____________ , criando uma corrente de água quente em ascenção e água fria para baixo.

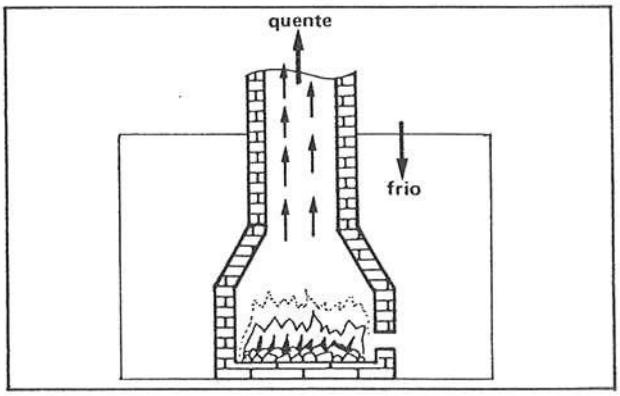
****

sobe; desce

20 ▪ O líquido aquecido através das tubulações atinge os apartamentos e transmite o calor a tubos (calefadores) que aquecem o ambiente, novamente utilizando-se do fenômeno da convecção. O princípio de funcionamento do radiador de um automóvel é baseado no fenômeno da convecção: a água circula do motor (aquecido) para o radiador, que é um conjunto de vários tubos metálicos que apresentam grande superfície de resfriamento. Estes tubos do radiador aquecem o ar externo por ______________ e desta forma ele perde o calor cedido pela água quente proveniente do motor.

****

convecção



21 ▪ O funcionamento de uma chaminé se baseia no fenômeno da convecção. O ar em seu interior é mais quente e menos denso que o do exterior. Devido a isso, origina-se uma corrente de ar quente subindo e de ar frio descendo. Desta forma, as correntes de convecção alimentam a combustão através do ar proveniente do exterior. Uma lareira (necessita; não necessita) de uma chaminé.

****

necessita

22 ▪ A transferência de calor de um lugar para outro, através da convecção, é feita (com; sem) transporte de matéria.

****

com

23 ▪ O calor que nos chega do Sol através do espaço vazio constitui um fenômeno conhecido pelo nome de **irradiação**. Tal tipo de energia (necessita; não necessita) de suporte material para se transmitir de um corpo a outro.

****

não necessita

24 ■ A propagação do calor por irradiação é feita através de **ondas eletromagnéticas (infra-vermelho)** sem intervenção do meio material entre as fontes emissora e receptora. A propagação desta energia irradiante pode ser acompanhada da emissão de luz (ferro em brasa, lâmpada de filamento), ou sem emissão de luz (ferro quente de passar roupa). Quando ascendemos um fósforo, a energia irradiada (é; não é) acompanhada de luz e (há; não há) emissão de calor.

****

é; há

25 ■ Se um corpo absorve energia radiante, ele se aquece e sua temperatura pode subir (a menos que ocorra mudança de estado), ao passo que quando irradia energia sob forma de calor, ele se resfria e sua temperatura pode ________________ .

****

diminuir

26 ■ A energia radiante responsável pela produção de calor é chamada de **radiação infra-vermelha**. Quando esta radiação incide sobre vários corpos distintos, ela não é absorvida da mesma forma. Quando os corpos irradiam calor, também não o fazem da mesma forma. Uma substância escura absorve mais energia radiante que uma clara. Portanto, no verão deve-se usar roupas (escuras; claras).

****

claras

27 ■ Quando uma radiação atinge um corpo, podem ocorrer os fenômenos de: **absorção, reflexão** e **refração**. No 1º caso, o corpo absorve a radiação sob forma de calor, aumentando sua energia interna; no caso da reflexão temos que uma parte da energia incidente é refletida, ou seja, retorna ao meio de origem; e na refração, a radiação atravessa o material. Estes três fenômenos sempre ocorrem quando uma radiação atinge um corpo; entretanto, dependendo da sua natureza um fenômeno preponderá sobre os demais. Nas regiões tropicais, utilizam-se roupas claras porque as mesmas (refletem; absorvem; refratam) mais a radiação que as roupas escuras.

****

refletem

28 ■ As substâncias escuras absorvem melhor o calor que um corpo claro. Desta forma, quando a energia irradiada pelo Sol atinge as regiões polares ela é, em sua maior parte, (refletida; absorvida; refratada).

****

refletida

29 ■ Quando a radiação atinge uma superfície transparente, ela é pouco absorvida e refletida. Este fenômeno é chamado ________________ .

****

refração

30 ■ Os corpos escuros absorvem mais radiação que os claros. Da mesma forma, um corpo escuro perde mais facilmente calor que um claro. Num dia ensolarado o asfalto da rua se apresenta numa temperatura (mais; menos) elevada que uma parade caiada.

****

mais

31 ■ As investigações realizadas com as mais variadas substâncias revelaram que a emissão e absorção térmica, além da natureza do corpo, dependem em grande parte da temperatura do corpo. Verificou-se que esta dependência é proporcional à 4ª potência da temperatura do corpo (T^4). Portanto, quando a temperatura de um corpo dobra, sua irradiação térmica aumenta _______ vezes.

****

16

32 ■ Quando um corpo absorve toda a radiação nele incidente, ele passa a ser chamado **corpo negro**. Como na realidade tal substância não existe, define-se um corpo negro ideal como sendo aquele que teoricamente absorve toda a radiação que sobre ele incide. Há substâncias que chegam a absorver cerca de 99% da radiação incidente sobre elas. Quando um corpo é bom irradiador de calor, ele também será (bom; mal) absorvedor de radiação e, conseqüentemente, será (bom; mal) refletor de energia radiante.

****

bom; mal

33 ■ Embora à primeira vista a irradiação térmica nos dê idéia de que o fenômeno somente ocorre quando os objetos que irradiam energia térmica estão a altas temperaturas, isto entretanto não é verdade. Todos os objetos irradiam energia térmica. Quando a temperatura de um objeto permanece constante, dizemos que a energia que ele irradia é (igual à; diferente da) energia que ele absorve sob forma de energia irradiante.

****

igual a

34 ■ Podemos ilustrar a afirmação feita no item 33 através de uma experiência: isolando-se 3 corpos distintos e de temperaturas também diferentes, num recipiente isolado termicamente e no qual foi feito o vácuo, verifica-se ao fim de certo tempo que todos eles estão à mesma temperatura. Este fato mostra que (houve; não houve) um processo de transferência de energia por (convecção; condução; irradiação).

****

houve; irradiação

QUESTÕES DE ESTUDO

1 ■ Como se dá a transferência de calor por condução?

2 ■ O que é convecção?

3 ■ Como se dá a transferência de calor por irradiação?

4 ■ O processo de propagação de calor por condução se realiza com transferência de matéria?

5 ■ A transferência de calor por condução é característica das substâncias em que estado físico?

6 ■ Na Lua, onde não existe fluidos (líquidos ou gases), quais os processos de transferência de calor que lá tem lugar?

7 ■ Todas as substâncias conduzem da mesma forma o calor?

8 ■ A convecção é o melhor modo de propagação do calor através (escolha as alternativas corretas): do vácuo; do cobre; da água; da cortiça; do hélio; do vidro.

9 ■ Em dias de sol intenso, nas regiões à beira mar, sopram brisas marítimas. Explique sua formação.

10 ■ A irradiação térmica é mais pronunciada num corpo quando ele estiver a baixas ou altas temperaturas?

11 ■ Quando uma radiação atinge um objeto, quais os fenômenos que ocorrem?

12 ■ Quando toda energia irradiada que atinge um corpo é absorvida por este, qual o nome que este corpo recebe?

13 ■ Quando a maior parte da energia radiante que atinge um corpo retorna de novo ao meio de onde se originou, qual o nome deste fenômeno?

14 ■ Uma superfície prateada é boa absorvedora ou refletora de energia radiante?

15 ■ Por que se utilizam caixas de isopor para depósito de gelo?

Após isso, você deve estar apto para:

a. definir condução térmica.
b. definir convecção.
c. definir irradiação térmica.
d. identificar o processo de transmissão de calor num fenômeno dado.

QUESTÕES A RESOLVER

1 ■ Uma garrafa térmica conserva uma substância quente ou fria em seu interior por muito tempo. Que tipo de propagação de calor ela evita? Por quê?

2 ■ Quando passamos roupa com um ferro, de que forma o calor é transmitido à roupa?

3 ■ Quando se tem uma geladeira doméstica que funciona colocando-se num depósito uma barra de gelo, onde deve localizar tal depósito? Por quê?

4 ■ É comum se observar que uma chaminé retira mal a fumaça logo quando se acende o fogo e depois melhora (o mesmo fenômeno se observa numa churrasqueira). Por quê?

5 ■ Tem-se dois pedaços de gelo de massas iguais e mesmas temperaturas. Um dos pedaços está envolto em jornal ou serragem; o outro sem ser envolvido por nada é colocado sobre o solo. Qual dos dois derreterá primeiro?

6 ■ Em recente guerra no Oriente Médio, os jornalistas descreviam o palco de umas frentes de luta – o deserto do Sinai – como um autêntico inferno. Escreviam: "De dia, um calor infernal com temperaturas elevadíssimas e à noite um frio de rachar". Explique o fenômeno.

7 ■ Qual é o nome do processo de propagação de calor mais comum nos fluidos?

8 ■ Qual a finalidade das roupas chamadas de inverno?

9 ■ Para refrigerar um barril de chope deve-se colocar uma barra de gelo sobre o barril ou debaixo dele? Por quê?

10 ■ O que acontece com um corpo que emite energia calorífica?

11 ■ Quando nos aproximamos de uma fogueira sentimos calor. Este aquecimento é devido principalmente a que processos de transmissão de calor?

12 ■ O resfriamento de um motor a explosão é feito utilizando-se que processo de transferência de calor?

13 ■ É possível transferir calor de um corpo a outro sem que haja nada entre eles?

14 ■ Qualquer corpo emite energia radiante?

15 ■ A Terra perde energia? Por quê?

16 ■ Como são chamados os corpos maus condutores de calor? Existe alguma substância que consegue impedir completamente a transmissão de calor a outro?

RESPOSTAS

1 ■ a) Condução, porque o vidro é isolante; b) convecção, porque entre as paredes da garrafa (ela é feita de vidro duplo) existe vácuo; c) irradiação, porque as paredes espelhadas refletem as irradiações.

2 ■ Condução.

3 ■ Na parte superior da geladeira, para haver circulação de ar (correntes de convecção) no seu interior.

4 ■ Porque enquanto não houver formação de correntes de convecção a circulação de ar não é boa, dificultando a alimentação das chamas de oxigênio.

5 ■ Aquele que é colocado sobre o solo.

6 ■ Em virtude do seu baixo calor específico, a areia se aquece rapidamente durante o dia graças à irradiação de energia proveniente do Sol que absorve. Seu aquecimento provoca o aquecimento, por convecção, das massas de ar sobre o solo. À noite o fenômeno é o contrário; como bom absorvente de energia, ela será também bom irradiador. Desta forma, as areias do deserto irradiam rapidamente a energia recebida durante o dia e a temperatura cai violentamente. Este fenômeno é comum a todos os desertos.

7 ■ Convecção.

8 ■ Evitar as perdas de calor pelo organismo para o exterior.

9 ■ Em cima. Porque quando o líquido se resfria, seu volume diminui e sua densidade aumenta. Assim, formam-se correntes de convecção do líquido: frio para baixo e o mais quente para cima. Desta forma se processa o resfriamento do líquido.

10 ■ Sua temperatura diminui.

11 ■ Convecção e irradiação.

12 ■ Convecção.

13 ■ Sim. Por irradiação.

14 ■ Sim. Desde que sua temperatura não seja zero absoluto.

15 ■ Sim. Ela irradia para o espaço uma parte da energia que recebe do Sol.

16 ■ Isolantes. Não, nenhum corpo é isolante perfeito.

SEÇÃO 5 — QUESTÕES E PROBLEMAS A RESOLVER

1 ■ O calor específico depende da massa da substância? E a capacidade térmica?

2 ■ Quando dois corpos apresentam massas iguais e calores específicos diferentes, qual terá maior capacidade calorífica?

3 ■ Qual a diferença existente entre calor sensível e calor latente?

4 ■ É possível fornecer-se calor a uma substância sem que a temperatura dela varie?

5 ■ É possível uma mesma substância coexistir em dois estados de agregação?

6 ■ O que acontece com a temperatura de um corpo quando este sofre mudança de estado?

7 ■ Quando um corpo solidifica, ele absorve ou cede calor?

8 ■ O calor específico é sempre constante, qualquer que seja a temperatura considerada?

9 ■ Num sistema isolado, é possível que alguns corpos percam calor sem que outros o adquiram?

10 ■ Dispende-se mais energia para transformar uma substância no estado sólido em líquido, ou em líquido para vapor, à pressão constante?

11 ■ Calcular o calor específico de uma substância, sabendo-se que 10,0 g dessa substância a 100°C misturados com 18,0 g de água a 15°C, em um recipiente que não absorve calor, atingem a temperatura de equilíbrio de 20°C.

12 ■ Qual é a quantidade de gelo a 0°C que se transforma em água quando sobre um grande bloco são despejados 200 g de água a 80°C?

13 ■ Tem-se 20 g de álcool de calor específico 0,64 cal/g°C à temperatura de 50°C, que são misturados com 10 g de água a 10°C. Qual a temperatura de equilíbrio? Admita as trocas de calor apenas entre a água e o álcool.

14 ■ O gráfico ao lado representa a quantidade de calor Q absorvida por um corpo de massa 20 g, inicialmente sólido, em função da temperatura.

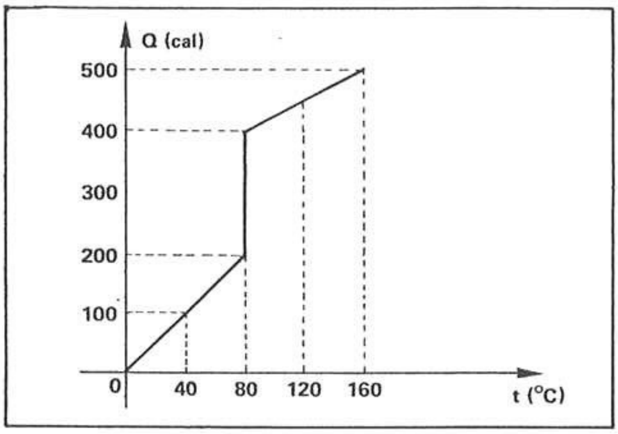
a) Qual é a capacidade térmica do corpo no estado sólido?

b) Qual é o calor específico da substância no estado sólido?

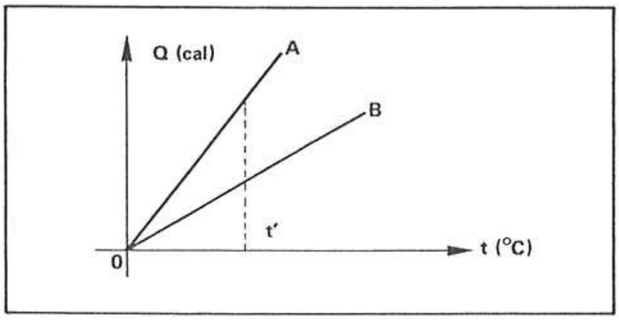
c) Qual é a temperatura da mudança de estado da substância?

d) Qual é o valor do calor latente de fusão do corpo?

e) Qual é o calor específico da substância em estado líquido?



15 ■ O gráfico mostra a variação da quantidade de calor absorvida por dois corpos A e B que possuem massas iguais, em função da temperatura. Qual dos corpos possui maior capacidade térmica?



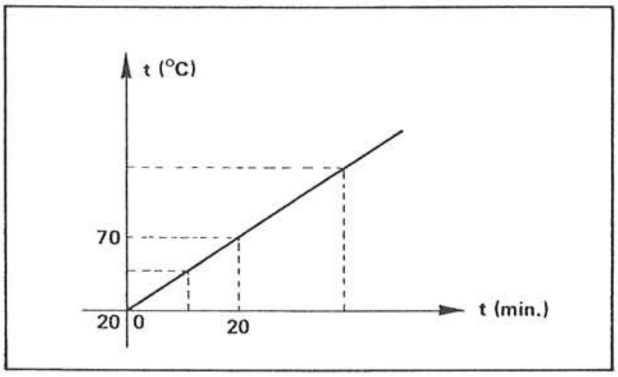
16 ■ Misturam-se 10 g de água a 10°C e 2 g de gelo a 0°C. Qual a temperatura do equilíbrio térmico?

17 ■ Uma fonte de calor leva 5 minutos para transformar em água a 0°C uma massa de gelo de 5 gramas também a 0°C. Sendo constante a potência da fonte fornecedora de energia, uma massa de 100 g de um líquido gasta, para passar de 20°C para 60°C, 10 minutos. Qual é o calor específico desse líquido?

18 ■ Um corpo absorve calor de uma fonte a 100 cal/min. A variação da temperatura com o tempo é dada na figura ao lado.

a) Qual é a capacidade térmica do corpo?

b) Sendo 1 000 g a massa do corpo, qual é o seu calor específico?



19 ■ Um certo calorímetro contém 50 g de água a 20°C. Adiciona-se à água do calorímetro 40 g de água a 50°C e observa-se que a temperatura do sistema atinge o equilíbrio térmico a 30°C. Determine a capacidade térmica do calorímetro.

20 ■ Desprezando-se os efeitos térmicos com o termômetro e outros acessórios do calorímetro da questão 19, determine o calor específico do vaso calorímetro, sabendo que sua massa é de 200 g.

21 ■ Para fundir 50 g de uma substância, sem variação de temperatura, foram necessárias 1 400 calorias. Qual o calor de fusão desta substância?

22 ■ Quantos joules são necessários fornecer a 100 g de água a 0°C para transformá-la inteiramente em vapor de água a 100°C? Considere 1 cal = 4,2 J.

23 ■ Um calorímetro que possui capacidade calorífica igual a 20 cal/°C contém 80 g de água a 20°C. Coloca-se em seu interior 400 g de uma substância a 90°C e o equilíbrio térmico estabelece-se a 40°C. Determine o calor específico dessa substância.

24 ■ Qual a quantidade de calor necessária para aquecer 200 g de uma substância de calor específico 0,12 cal/g°C de 20°C a 30°C?

25 ■ Fornecem-se 7 255 cal para 10 g de gelo a -10°C. O que acontece?

26 ■ Uma barra de chumbo de 300 g de massa é aquecida até a temperatura de 80°C e em seguida é mergulhada em 200 g de água existente num calorímetro de alumínio. Sabendo-se que os calores específicos do chumbo e alumínio são respectivamente iguais a 0,030 e 0,22 cal/g°C e que a temperatura de equilíbrio estabeleceu-se em 30°C, sendo a temperatura inicial da água de 28°C, qual a massa do vaso calorimétrico?

27 ■ Que quantidade de calor se necessita para elevar de 20°C para 100°C a temperatura de um bloco de alumínio de 1,0 kg? Se em seguida, colocarmos esse alumínio dentro de um recipiente com 800 g de água a 10°C, qual será a temperatura final do sistema? c_{Al} = 0,2 cal/g°C.

28 ■ Uma bala de chumbo com uma velocidade de 800 m/s atinge uma parede. Admitindo-se que toda a energia cinética da bala é transformada em calor e absorvido pela bala de chumbo que possui massa de 10 g e temperatura de 30°C, qual é a temperatura final da bala?

29 ■ Um bloco de cobre de 75 g é retirado de um forno e jogado num vaso de vidro de 300 g, contendo 200 g de água. A temperatura da água se eleva de 12 a 37°C. Qual era a temperatura do forno? Dados: calor específico do cobre: c_{Cu} = 0,093 cal/g°C; calor específico do vidro: c_V = 0,118 cal/g°C.

30 ■ Misturou-se 1 000 g de água com certa quantidade de vapor d'água a 100°C; a temperatura de equilíbrio foi de 40°C. Qual foi a massa de vapor d'água utilizada? Temperatura da água = 10°C.

31 ■ Sobre uma barra de gelo a -20°C colocou-se 200 g de água a 40°C. Sabendo-se que toda a água congelou-se e resultou em gelo a -10°C, qual a massa de gelo? Utilize c_{gelo} = 0,5 cal/g°C.

32 ■ Que quantidade de calor é necessária para transformar 10 g de gelo a -5°C em vapor d'água a 115°C?

33 ■ Um calorímetro contém 200 g de água a 15°C. Acrescenta-se 25 g de água a 80°C. A temperatura de equilíbrio é de 20°C. Qual a capacidade térmica do calorímetro?

34 ■ Misturam-se iguais quantidades de água quente e gelo a 0°C. Dessa mistura resulta apenas água a 0°C. Admitindo-se as trocas de calor apenas entre a água e o gelo, determine a temperatura da água quente.

RESPOSTAS

1 ■ Não; sim.
2 ■ Aquele que é feito de material com maior calor específico.
3 ■ O calor sensível provoca alteração na temperatura do corpo ao passo que o latente provoca mudança de estado físico.
4 ■ Sim; durante a fusão ou solidificação ou durante a ebulição ou condensação.
5 ■ Sim: sólido-líquido; líquido-vapor; sólido-vapor.
6 ■ Permanece constante.
7 ■ Cede.
8 ■ Não
9 ■ Não
10 ■ Líquido em vapor.
11 ■ c = 0,11 cal/g°C
12 ■ 200 g
13 ■ t ≅ 32,5 °C
14 ■ a) 2,5 cal/°C
b) 0,125 cal/g°C
c) 80°C
d) 10 cal/g
e) 0,0625 cal/g°C
15 ■ O corpo A (a inclinação da reta, que mede a capacidade térmica, é maior).
16 ■ 0°C
17 ■ 0,2 cal/g · °C
18 ■ a) 40 cal/°C
b) 0,04 cal/g°C
19 ■ 30 cal/°C
20 ■ 0,15 cal/g·°C
21 ■ 28 cal/g
22 ■ $2,7 \times 10^5$ J
23 ■ 0,1 cal/g·°C
24 ■ 240 cal
25 ■ Teremos vapor de água a 100°C
26 ■ m ≅ 114 g
27 ■ Q = $1,6 \times 10^4$ cal
t = 28°C
28 ■ t_f ≅ 44°C
29 ■ t_{forno} ≅ 892°C
30 ■ m = 50 g
31 ■ m ≅ 4,9 kg
32 ■ Q ≅ $7,3 \times 10^3$ cal
33 ■ C = 100 cal/°C
34 ■ t = 80°C

EXPERIÊNCIA 1. PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES

OBJETIVO: Verificar que a força de empuxo sobre um corpo imerso num líquido é igual ao peso do volume do líquido deslocado por esse corpo.

MATERIAL UTILIZADO:

a) mola calibrada em Newtons;
b) frasco graduado;
c) bolinhas de vidro, aço, etc;
d) líquidos diferentes — água, álcool.

PROCEDIMENTO:

a) Meça o peso de uma bolinha no ar e num líquido (álcool por exemplo).
b) Determine o valor do empuxo.
c) Meça o peso de um determinado volume de álcool e, através das relações $\rho = \frac{m}{v}$ e $P = mg$, determine o valor de ρ.
d) Determine o valor do volume da bolinha (usando seu diâmetro ou pela imersão da mesma no frasco graduado).
e) Determine o valor do peso e do volume do líquido deslocado.
f) Compare os itens b e e.
g) Repita o experimento variando as bolinhas e o líquido na qual são imersas.

ANÁLISE E QUESTÕES:

a) Dois corpos diferentes porém de mesma massa, quando imersos num líquido, sofrem o mesmo empuxo?
b) Dois corpos diferentes porém de mesmo volume, quando imersos no mesmo líquido, sofrem o mesmo empuxo?
c) Como a densidade do líquido influi no empuxo?
d) Quando determinamos o peso da esfera usando a mola calibrada, a esfera não sofre empuxo devido ao ar? Como calcular o peso verdadeiro da esfera? Qual é a diferença entre o peso aparente e o real?

RELATÓRIO: Você deverá fazer um relatório da experiência, desenvolvendo:

a) objetivos da experiência;
b) parte teórica;
c) procedimento experimental;
d) conclusões.

EXPERIÊNCIA 2. LEI DE BOYLE

OBJETIVO: Determinar o valor da constante R.

MATERIAL UTILIZADO:

a) seringa de $20\ cm^3$.
b) saco plástico e barbante.
c) frasco graduado ou recipiente com capacidade de $100\ cm^3$.
d) termômetro.
e) tubinho de borracha.
f) prendedor de roupa.
g) suporte para seringa.

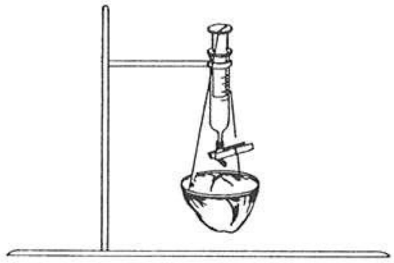


fig.1

PROCEDIMENTO:

a) Amarre o saco plástico no êmbolo da seringa.
b) Eleve o êmbolo da seringa até o valor $20\ cm^3$ e feche a saída do ar prendendo o tubo de borracha com o prendedor (vide nota 1).
c) Despeje $100\ cm^3$ de água no saco plástico e anote o valor do volume do ar contido na seringa (vide nota 2).
d) Despeje mais $100\ cm^3$ e anote o novo volume. Repita esta operação várias vezes (vide nota 3).
e) Meça a área do êmbolo.

Notas

1) O êmbolo da seringa muitas vezes se prende no corpo da mesma por atrito. Para que isso não aconteça, molhe o êmbolo com água antes de introduzi-lo no corpo da seringa.
2) Muitas vezes, na leitura do volume, o êmbolo atinge uma posição entre dois traços. Neste caso, devemos avaliar o volume do gás pela situação do êmbolo (fig. 2).
3) A água, além de lubrificar a seringa, serve para observar se o êmbolo da seringa está vedando suficientemente a saída do ar (fig. 3).

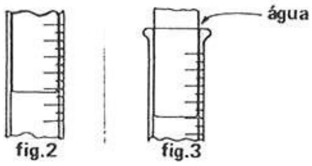


fig.2 fig.3

ANÁLISE E QUESTÕES:

a) Determine a pressão exercida no êmbolo pelo peso da água contida no saco plástico: $P_{\text{êmbolo}} = \dfrac{\text{peso da água}}{\text{área do êmbolo}}$
b) Determine a pressão total sobre o gás.
c) Faça um gráfico de P em função de V.
d) Determine o nº de moles de ar contido na seringa na temperatura que é feita a experiência, para cada repetição do item d.
Os resultados obtidos (devem, não devem) ser iguais.
e) Para cada repetição do item d do procedimento, faça o produto $P \cdot V$. Tal produto (é, não é) aproximadamente constante.
f) Ache a média dos produtos $P \cdot V$ e do valor do nº de moles.
g) Usando estes valores médios (de n e $P \cdot V$), determine o valor de R usando $PV = nRT$.

RELATÓRIO: Você deverá fazer um relatório da experiência, desenvolvendo:

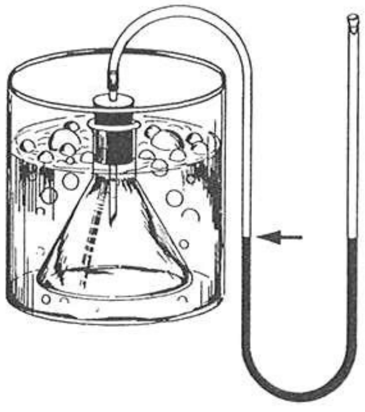
a) objetivos da experiência;
b) parte teórica;
c) procedimento experimental;
d) conclusões.

EXPERIÊNCIA 3. TRANSFORMAÇÃO ISOMÉTRICA

OBJETIVO: Determinar o valor de γ_V.

MATERIAL UTILIZADO:

a) tubo de borracha (ou plástico) flexível e transparente de mais ou menos 1,5 m de comprimento.
b) frasco contendo água quente.
c) termômetro.
d) frasco vazio.



PROCEDIMENTO:

a) Coloque uma certa quantidade de água dentro do tubo de borracha. Encaixe o tubo no frasco vazio. Vede bem a saída do ar. Se for preciso lacre a rolha com vela.
b) Marque (no tubo de borracha) o volume inicial do gás, usando, por exemplo, um pedaço de fita adesiva.
c) Coloque o recipiente contendo gás dentro da água quente.
d) Faça com que o volume do gás volte a ser o inicial, elevando o ramo do tubo de borracha.
e) Meça agora a diferença de alturas dos dois níveis da água.
f) Repita mais quatro vezes o procedimento descrito, variando a temperatura da água (despeje água fria no frasco). Em cada caso, a temperatura deve ser lida em cada etapa de experiência.

ANÁLISE E QUESTÕES:

a) Antes de realizado o item d, a transformação era isométrica? Por quê?
b) Qual é o valor da pressão do gás em cada uma das temperaturas? Use para densidade da água o valor 1,0 g/cm^3 na relação P = hdg.
c) Faça um gráfico da pressão em função da temperatura.
d) Qual é o significado do coeficiente angular da reta obtida?
e) Obtenha o valor γ_V; usando o item 4.

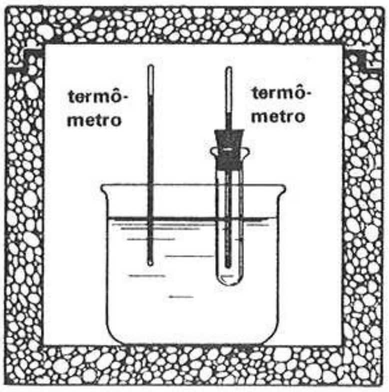
RELATÓRIO: Você deverá fazer um relatório da experiência, desenvolvendo:

a) objetivos da experiência;
b) parte teórica;
c) procedimento experimental;
d) conclusões.

EXPERIÊNCIA 4. CURVA DE EQUILÍBRIO TÉRMICO

OBJETIVO: Traçado da curva de equilíbrio térmico entre dois corpos. Determinação da temperatura de equilíbrio.

MATERIAL UTILIZADO:
a) recipiente de isopor.
b) vasilha.
c) tubo de ensaio.
d) dois termômetros.
e) relógio com ponteiro de segundos ou cronômetro.
f) água quente (70°C aproximadamente).



PROCEDIMENTO:
a) Coloque a vasilha quente dentro do recipiente de isopor e anote a sua temperatura.
b) Coloque no tubo de ensaio água à temperatura ambiente e introduza o outro termômetro no tubo, utilizando uma rolha furada.
c) Anote as temperaturas lidas nos dois termômetros de 1 em 1 minuto.
d) Faça um gráfico das temperaturas em função do tempo.

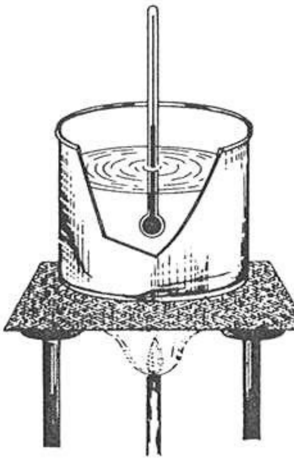
ANÁLISE E QUESTÕES:
a) As temperaturas da água nos dois recipientes tendem a se igualar?
b) As velocidades de esfriamento e aquecimento variam quando a diferença de temperatura diminui?
c) Qual é a temperatura de equilíbrio?

RELATÓRIO: Você deverá fazer um relatório da experiência, desenvolvendo:
a) objetivos da experiência;
b) parte teórica;
c) procedimento experimental;
d) conclusões.

EXPERIÊNCIA 5. CURVA DE AQUECIMENTO DE LÍQUIDOS

OBJETIVO: Determinação do calor específico do óleo.

MATERIAL UTILIZADO:
a) base.
b) recipiente para aquecer o líquido (por ex. uma lata).
c) lamparina de álcool.
d) termômetro.
e) relógio com ponteiro de segundos ou cronômetro.



PROCEDIMENTO:
a) Monte o esquema como o da figura acima.
b) Coloque dentro do recipiente 100 cm^3 de água ou então uma quantidade que você possa introduzir.
c) Acenda a lamparina e coloque-a sob o recipiente. A chama da lamparina deve se distribuir por todo recipiente. Não mude a lamparina de posição.
d) Anote a temperatura da água de $\frac{1}{2}$ em $\frac{1}{2}$ minuto.
e) Repita o experimento usando 200 cm^3 de água e depois 100 cm^3 de óleo.
f) Construa, no mesmo diagrama, as curvas temperatura X tempo para os três casos.

ANÁLISE E QUESTÕES:
a) Use os resultados do 1º experimento para determinar a quantidade de calor absorvida pela água, por minuto.
b) Para um mesmo intervalo de tempo, a massa de 200 g de água absorveu o dobro do calor absorvido pela massa de 100 g?
c) Compare as quantidades de calor absorvido pela água (100 g) e pelo óleo.
d) Determine o calor específico do óleo, supondo que o da água é 1 cal/g°C.

RELATÓRIO: Você deverá fazer um relatório da experiência, desenvolvendo:
a) objetivos da experiência;
b) parte teórica;
c) procedimento experimental;
d) conclusões.