

FÍSICA

Olimpíada de enfoque: OBF
Nível: 2 (1º e 2º EM)
Questões e conteúdo teórico
Organizador: Tiago Mendes



Bibliografia:

- Helou, Gualter e Newton - Tópicos de Física (Volume 1)
- Helou, Gualter e Newton - Tópicos de Física (Volume 2)
- H. Moysés Nussenzveig - Curso de Física Básica: Mecânica (Volume 1)
- H. Moysés Nussenzveig - Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor (Volume 2)
- H. Moysés Nussenzveig - Ótica, Relatividade e Física Quântica (Volume 4)
- Mazur - Principles & Practise of Physics
- Kamal - 1000 Solved Problems in Classical Physics
- Saraeva - Problemas Seleccionados de Física Elementar

ÍNDICE

A. Mecânica Clássica	
A.1. Cinemática	3
A.2. Leis de Newton e suas aplicações	18
A.3. Trabalho, potência e energia	26
A.4. Impulso, quantidade de movimento e sua conservação	38
A.5. Estática	44
A.6. Gravitação	53
A.7. Hidrostática	57
A.8. Hidrodinâmica	66
B. Termologia	
B.1. Temperatura	70
B.2. O calor e sua propagação	73
B.3. Calorimetria	82
B.4. Gases perfeitos	89
B.5. Termodinâmica	98
B.6. Dilatação Térmica	106
C. Ondulatória	
C.1. Movimento Harmônico Simples	110
C.2. Ondas	115
D. Óptica Geométrica	
D.1. Fundamentos da Óptica Geométrica e Espelhos	128
D.2. Refração da Luz	137
D.3. Lentes Esféricas	144
D.4. Instrumentos Ópticos e Visão	151
Lista de aproximações e constantes	158

A. Mecânica Clássica

A.1. Cinemática - Teoria

Espaço

Espaço (S) é a medida da origem até um ponto em um determinado instante t . A variação do espaço (ΔS) é a diferença entre a posição final e a posição inicial de um corpo.

Velocidade Média

$$v_m = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

$$\text{km/h} \div 3,6 = \text{m/s}$$

Movimento Retilíneo Uniforme

No MRU, a posição varia com o tempo de forma constante. Função horária:

$$S = S_0 + vt$$

Velocidade Relativa

Para corpos em sentidos opostos: $v_r = v_a + v_b$

Para corpos em sentidos iguais: $v_r = v_a - v_b$

Gráfico do MRU

$S(t)$ = função afim, gráfico é uma linha reta. Velocidade é numericamente igual à tangente do ângulo de inclinação do gráfico.

$v(t)$ = função constante. Área do gráfico é numericamente igual ao ΔS .

Movimento Retilíneo Uniformemente Variado

Movimento definido por uma aceleração constante e diferente de zero.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Movimento acelerado: velocidade e aceleração têm o mesmo sinal.

Movimento retardado: velocidade e aceleração têm sinais opostos.

Funções:

$$v = v_0 + at$$

$$S = S_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta S$$

Gráfico do MRUV

$S(t)$ = função quadrática. Se a aceleração for positiva, a concavidade fica para cima. Se a aceleração for negativa, a concavidade fica para baixo. No vértice ocorre inversão de sentido.

$v(t)$ = função afim. Aceleração é numericamente igual à tangente do ângulo de inclinação da reta. A área do gráfico é numericamente igual ao ΔS .

$a(t)$ = função constante. Área do gráfico é numericamente igual a Δv .

Equações da queda livre

$$v = gt$$

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

$$v^2 = 2gh$$

Lançamento vertical

Utilizar as funções do MRUV, mas tomando cuidado com os sinais. Definir o sentido positivo no início do exercício.

O tempo de subida é igual ao tempo de descida.

Velocidade Instantânea

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{dS}{dt}$$

A velocidade instantânea é numericamente igual à tangente do ângulo de inclinação da reta tangente a um determinado ponto do gráfico $S(t)$.

Movimento Circular

$$\text{Velocidade angular: } \omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

$$\text{Relação: } v = \omega R$$

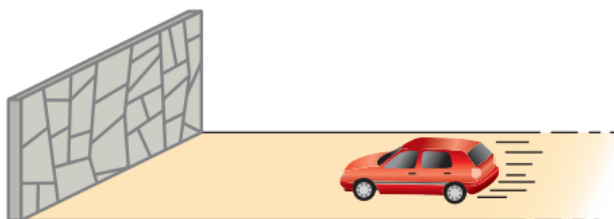
$$\text{Aceleração centrípeta: } a_{cp} = \frac{v^2}{R}$$

A.1. Cinemática - Questões

1. (Tópicos) Enquanto o professor escreve na lousa:

- a) o giz está em repouso ou em movimento em relação à lousa?
- b) a lousa está em repouso ou em movimento em relação ao chão?
- c) a lousa está em repouso ou em movimento em relação ao giz?

2. (Tópicos) Um automóvel aproxima-se de um paredão, como ilustra a figura:



É **incorreto** afirmar que:

- a) o automóvel está em movimento em relação ao paredão.
- b) o paredão está em movimento em relação ao automóvel.
- c) o paredão está em repouso em relação ao solo.
- d) o motorista está em repouso em relação ao automóvel, mas em movimento em relação à superfície da Terra.
- e) o paredão está em repouso em relação ao automóvel.

3. (Tópicos) Sobre uma reta orientada, são dados ordenadamente os pontos **A**, **B** e **C**, tais que $AB = BC = d$. Um ponto material move-se nessa reta com velocidade escalar média v_1 de A a B e com velocidade escalar média v_2 de B a C. Determine a velocidade escalar média desse ponto material de A a C.

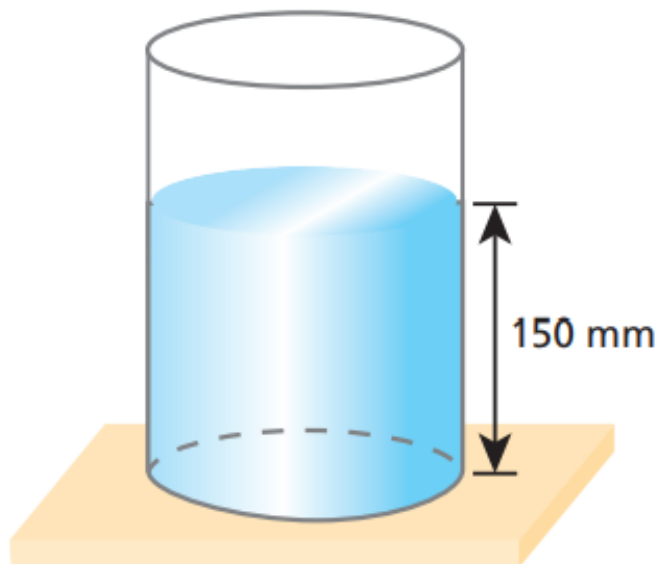
4. (Tópicos) Uma partícula desloca-se do ponto A até o ponto B.



Na primeira terça parte do percurso, sua velocidade escalar média vale v_1 ; na segunda terça parte, vale v_2 , e na terceira, v_3 . Determine a velocidade escalar média no percurso total de A até B.

5. (Tópicos) Há um bom tempo, para multar motoristas com velocidade superior a 90 km/h, um guarda rodoviário acionava seu cronômetro quando avistava o automóvel passando pelo marco A e fazia a leitura no cronômetro quando via o veículo passar pelo marco B, situado a 1500 m de A. Um motorista passou por A a 144 km/h e manteve essa velocidade durante 10 segundos, quando percebeu a presença do guarda. Que velocidade média ele teve de manter em seguida para não ser multado?

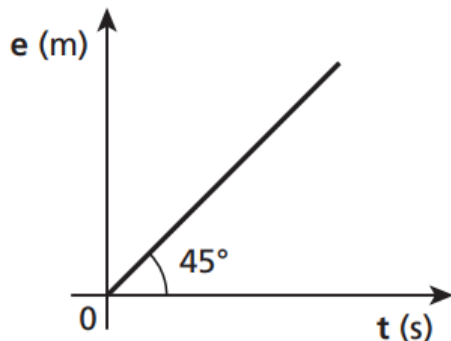
6. (Tópicos) Num dia chuvoso, um vaso cilíndrico, inicialmente vazio, ficou exposto à chuva o dia todo. Cessada a chuva, verificou-se que o nível da água dentro do vaso estava a 150 mm de altura em relação ao fundo, conforme mostra a figura. Diz-se, então, que ocorreu uma chuva de 150 mm. Essa altura seria diferente se o vaso cilíndrico fosse mais largo, ou seja, se o diâmetro de sua embocadura fosse maior?



7. (Fuvest) Um automóvel e um ônibus trafegam em uma estrada plana, mantendo velocidades constantes em torno de 100 km/h e 75 km/h, respectivamente. Os dois veículos passam lado a lado em um posto de pedágio. Quarenta minutos depois, nessa mesma estrada, o motorista do ônibus vê o automóvel ultrapassá-lo. Ele supõe, então, que o automóvel deva ter realizado, nesse período, uma parada com duração aproximada de:

- a) 4 minutos. b) 10 minutos. c) 25 minutos. d) 7 minutos. e) 15 minutos.

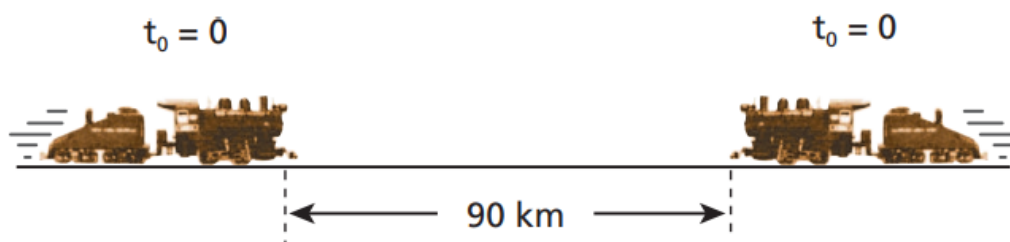
8. (ITA) Um estudante observou o movimento de um móvel durante certo tempo. Verificou que o móvel descrevia um movimento retilíneo e anotou os valores de espaço (e) e de tempo (t) correspondentes, construindo o gráfico da figura abaixo.



Pode-se afirmar que:

- a velocidade do móvel é constante e vale $1,0 \text{ m/s}$, tendo em vista que o ângulo que a reta faz com o eixo dos tempos é de 45° .
- a velocidade do móvel é constante e vale $1/\sqrt{2} \text{ m/s}$
- a velocidade do móvel é constante e vale aproximadamente $1,4 \text{ m/s}$.
- faltam dados para calcular a velocidade do móvel.
- a aceleração e a velocidade do móvel estão indeterminadas.

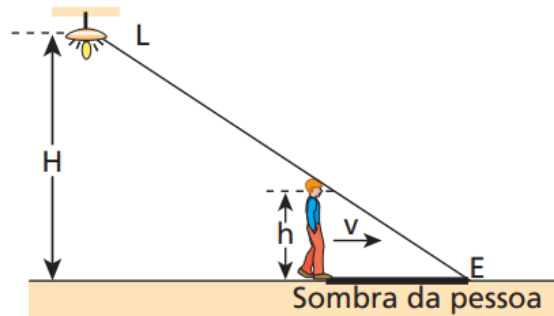
9. (Tópicos) Dois trens movem-se nos mesmos trilhos, ambos a 45 km/h , em sentidos opostos, como representa a figura:



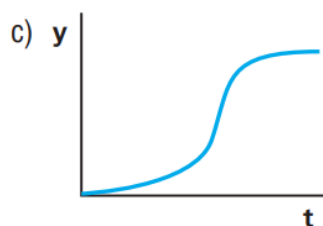
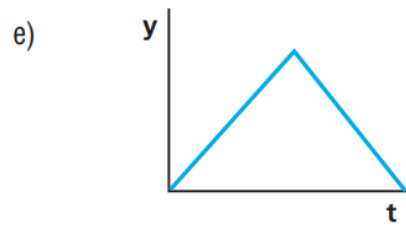
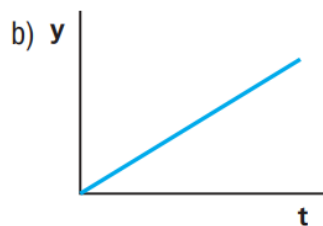
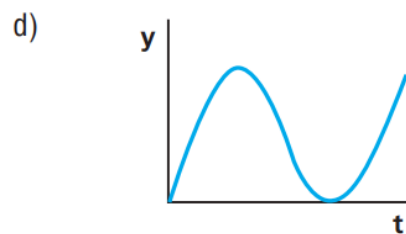
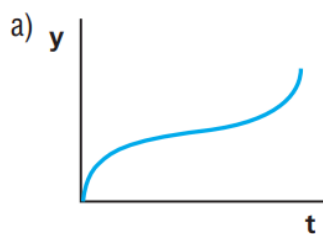
No instante $t_0 = 0$, correspondente à situação da figura, uma supermosca passa a voar em linha reta entre os trens, fazendo um vaivém de um ao outro até ser esmagada. Admitindo que ela voe com velocidade de módulo constante e igual a 120 km/h , determine:

- o instante em que os trens colidem;
- a distância total percorrida pela supermosca desde $t_0 = 0$ até ser esmagada.

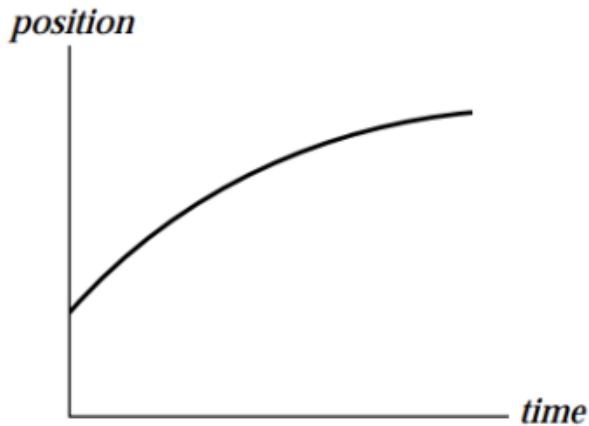
10. (Tópicos) À noite, numa quadra esportiva, uma pessoa de altura h caminha em movimento retilíneo e uniforme com velocidade escalar v . Apenas uma lâmpada L , que pode ser considerada uma fonte luminosa puntiforme e que se encontra a uma altura H do piso, está acesa. Determine, em função de H , h e v , a velocidade escalar média v_E da extremidade E da sombra da pessoa projetada no chão.



11. (Olimpíada Paulista de Física) Uma taça de forma esférica, como mostra a figura ao lado, está sendo cheia com água a uma taxa constante. A altura do líquido, y , em função do tempo, t , pode ser representada graficamente por:

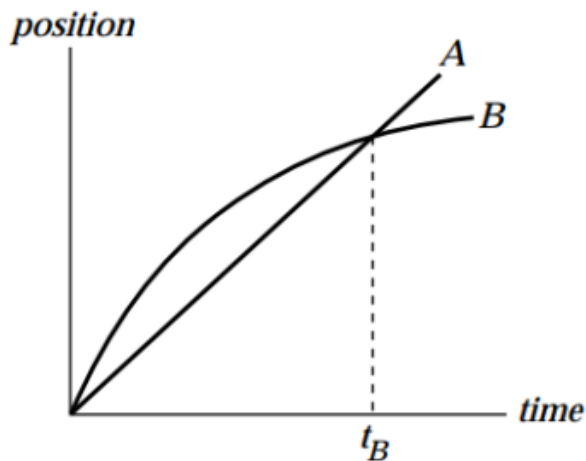


12. (Mazur) Um trem se move ao longo de trilhos retos. O gráfico abaixo mostra sua posição em função do tempo e indica que o trem:



- a) acelera ao longo de todo percurso
- b) freia durante todo o percurso
- c) acelera durante uma parte do percurso e depois freia ao longo da outra parte do caminho
- d) possui velocidade constante durante todo o trajeto

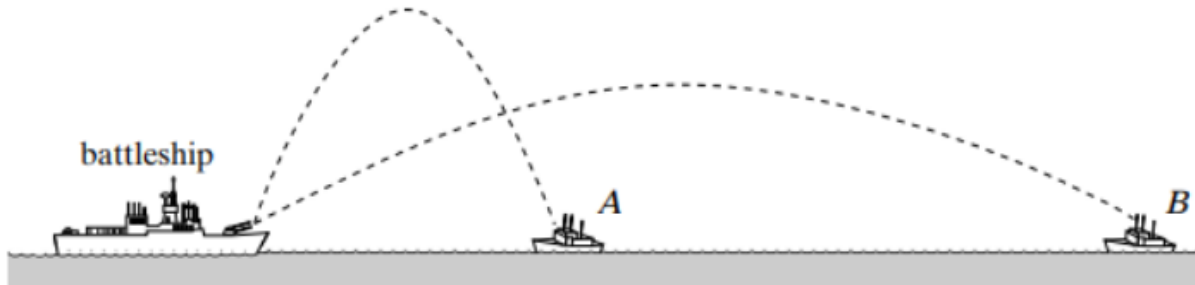
13. (Mazur) O gráfico abaixo ilustra a posição de dois trens que se locomovem em trilhos paralelos.



Marque a(s) opção(ões) corretas:

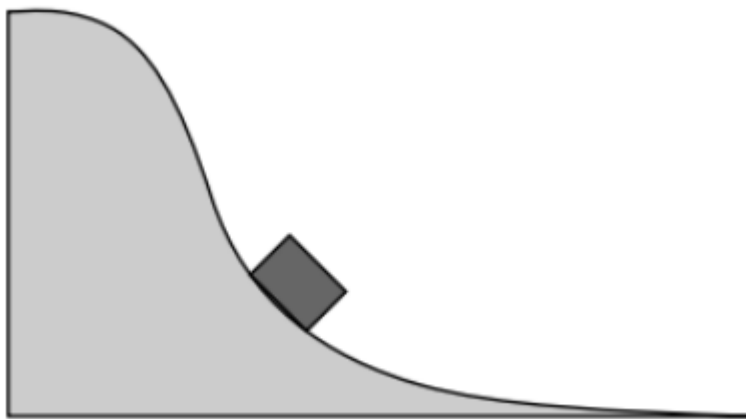
- a) No instante t_B os dois trens possuem a mesma velocidade
- b) Os dois trens estão acelerados durante todo o tempo
- c) Os dois trens possuem a mesma velocidade em algum instante antes de t_B
- d) Em certo instante no gráfico, os dois trens possuem a mesma aceleração

14. (Mazur) Um navio de batalha lança dois mísseis simultaneamente em barcos inimigos. Considerando as trajetórias ilustradas para os mísseis, indique qual barco inimigo é atingido primeiro?



- a) A
- b) B
- c) Ambos são atingidos no mesmo instante
- d) São necessárias mais informações para responder essa questão

15. (Mazur) A ilustração abaixo representa um carrinho descendo o trilho em uma montanha russa. Quando o carrinho desce além do ilustrado o que ocorre com sua velocidade e aceleração? Desconsidere possíveis forças de atrito.



- a) Ambas diminuem
- b) A velocidade diminui e a aceleração aumenta
- c) Ambas permanecem constantes
- d) A velocidade aumenta e a aceleração diminui
- e) Ambas aumentam
- f) Nenhuma das opções acima

16. (OBF 2017) Qual deve ser a aceleração adquirida por um corpo de massa (m), descendo um plano inclinado sem atrito, com uma velocidade inicial de $1,0 \text{ m/s}$, sabendo-se que ao fim do terceiro segundo de movimento, o corpo passou a ter o dobro da velocidade que possuía ao fim do primeiro segundo de movimento.

- a) $2,0 \text{ m/s}^2$
- b) $0,1 \text{ m/s}^2$
- c) $1,5 \text{ m/s}^2$
- d) $0,5 \text{ m/s}^2$
- e) $1,0 \text{ m/s}^2$

17. (OBF 2017) Considere dois blocos de metal de mesmo volume, sendo que o peso de um é o dobro do outro, deslizando sobre uma mesa lisa e horizontal com a mesma velocidade. Desprezando-se a resistência do ar, após abandonarem a mesa:

- a) O bloco mais pesado atinge o solo aproximadamente na metade da distância horizontal que vai da base da mesa até o ponto onde o bloco mais leve bateu no solo;
- b) O bloco mais leve atinge o solo aproximadamente na metade da distância horizontal que vai da base da mesa até o ponto onde o bloco mais pesado bateu no solo;
- c) O bloco mais pesado atinge o solo bem mais próximo da base da mesa do que o bloco mais leve, mas não necessariamente na metade da distância horizontal;
- d) Os blocos atingem o solo a aproximadamente uma mesma distância horizontal da base da mesa;
- e) O bloco mais leve atinge o solo bem mais próximo da base da mesa do que o bloco mais pesado, mas não necessariamente na metade da distância horizontal.

18. (OBF 2017) Um ponto material executa um movimento circular uniforme num dado referencial plano. Do ponto de vista de um observador que percebe este movimento, é correto afirmar que:

- a) A aceleração vetorial da partícula é nula;
- b) A componente normal da aceleração é nula;
- c) A aceleração vetorial da partícula possui módulo constante;
- d) A força que age sobre a partícula é nula;
- e) O módulo da velocidade da partícula é variável.

19. (OBF 2020) Duas esferas de aço, partindo de alturas diferentes, uma a 20,0 m e a outra a 16,0 m do solo, devem atingi-lo ao mesmo tempo. A que está a 20,0 m é solta a partir do repouso. Considerando desprezível a resistência do ar, esta situação será possível se a outra for arremessada com uma velocidade de:

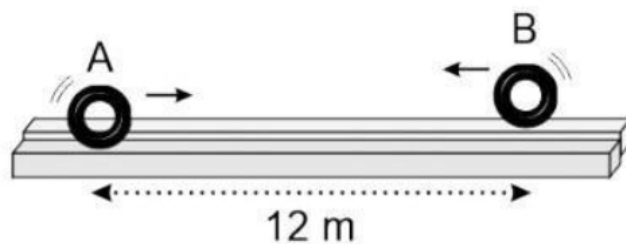
- a) 2,0 m/s vertical para baixo.
- b) 2,0 m/s vertical para cima.
- c) 1,0 m/s vertical para baixo.
- d) 1,0 m/s vertical para cima.
- e) a situação proposta não é possível.

20. (OBF 2021) Um móvel passa por um ponto A descrevendo um movimento circular uniforme em torno de um ponto C. Após 3,0 s alcança, pela primeira vez, seu deslocamento máximo cujo módulo é igual a 12 cm. Qual será o módulo do deslocamento do móvel, em cm, 7,5 segundos após passar por A pela primeira vez? (Dica: deslocamento é uma grandeza vetorial.)

- a) 12
- b) 9,0
- c) 8,4
- d) 6,0
- e) 0,0

21. (OBF 2020) A figura representa dois corpos A e B movendo-se um no sentido do outro, em pistas paralelas, com velocidades iguais de módulo 4,0 m/s. Quando um está a 12 m do outro, A adquire uma aceleração constante de 4,0 m/s² para a esquerda e B adquire uma aceleração de 2,0 m/s² também para a esquerda. (Todas as grandezas medidas em relação à pista.) Considerando como zero o instante no qual se iniciaram as acelerações, os corpos irão se encontrar:

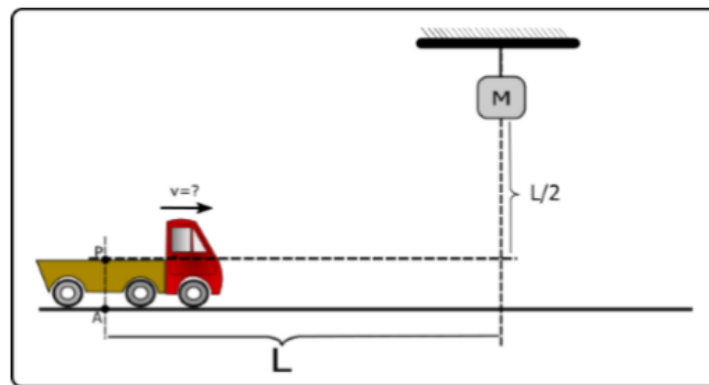
- a) no instante $t = 1,5$ s.
- b) no instante $t = 2,0$ s.
- c) no instante $t = 3,0$ s.
- d) nos instantes $t = 2,0$ s e $t = 3,0$ s.
- e) nos instantes $t = 2,0$ s e $t = 6,0$ s.



22. (OBF 2021) Em uma cena para um filme de ação, uma carreta de 30 metros de comprimento se aproxima de um cruzamento com uma linha férrea. Quando ela está a 20 metros do trilho, o motorista vê um trem muito longo e a 50 metros do cruzamento se aproximando com uma velocidade de 36 km/h. Considere a velocidade do trem constante, que as duas vias são perpendiculares entre si e que o trem tem uma largura de 5 m. A cena exige que a carreta atravesse o cruzamento na frente do trem, sem colidir com ele. Qual é a menor velocidade, considerada constante e em m/s, que a carreta deve ter?

- a) 20
- b) 11
- c) 10
- d) 5
- e) 4

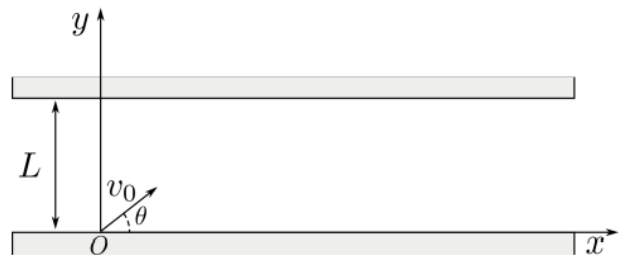
23. (OBF 2017) Um caminhão se desloca em MRU sobre uma estrada plana e horizontal. Um bloco M está suspenso a uma altura $L/2$ da carroceria do caminhão. No momento em que o caminhão passa no ponto A o barbante de sustentação se rompe e o bloco cai em queda livre. Determine a velocidade do caminhão para que o bloco atinja sua carroceria no ponto P.



24. (FEI) Um móvel parte de certo ponto com um movimento que obedece à lei horária $S = 4t^2$, válida no SI. S é a abscissa do móvel e t é o tempo. Um segundo depois, parte outro móvel do mesmo ponto do primeiro, com movimento uniforme e seguindo a mesma trajetória. Qual a menor velocidade que deverá ter esse segundo móvel a fim de encontrar o primeiro?

25. (OBF 2020) Em um laboratório de física, há uma pista plana e lisa, de largura $L = 20,0$ cm, com pequenos furos por onde é forçada a passagem de jatos de ar. Sobre esta pista, desliza um pequeno disco de plástico com ação desprezível de forças dissipativas graças à na camada de ar formada entre a superfície inferior do disco e a pista. Em estabelecimentos de diversão, as máquinas de hóquei de mesa apresentam um arranjo parecido com este. Considere que um disco é lançado do ponto O , no instante $t = 0$, obliquamente, com um ângulo $\theta = 60^\circ$ e velocidade de módulo $v_0 = 28,0$ cm/s, conforme ilustrado na figura. Suponha que o disco deslize pela superfície sem a ação de qualquer força resistiva e, ao colidir, ocorra apenas a inversão da componente y de sua velocidade. Usando o sistema de referências adotado na figura, passados $4,00$ s, determine:

- número de colisões com as paredes;
- distância percorrida pelo disco, em cm;
- módulo do deslocamento em relação à posição inicial, em cm.



26. (OBF 2021) Um estudante de física está relaxando andando de skate que se move retilineamente em uma pista horizontal lisa em direção a um obstáculo composto por duas travessas e uma haste horizontal. Em determinado instante, ele dá um pulo vertical e passa por cima da haste, quase tocando-a, e o skate, sem modificar sua velocidade, passa por baixo da haste. O skatista termina a sua manobra “aterrissando” no mesmo ponto da prancha do skate de onde pulou. Em uma experiência de pensamento, ele imagina que a manobra poderia ser modelada por uma bolinha lançada verticalmente a partir da prancha do skate. Considerando essa experiência de pensamento e sabendo que a altura da haste horizontal em relação à prancha de skate é de 30 cm e que o skate se move com velocidade V_0 constante de módulo 2 m/s, determine:

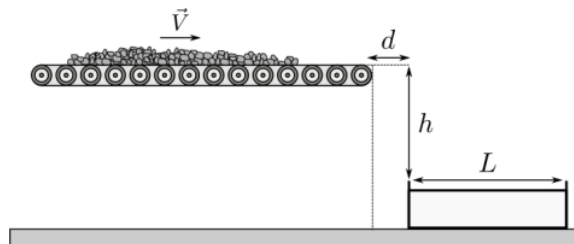


- A distância horizontal do ponto de lançamento da bolinha em relação à haste, em m, no instante em que bolinha é lançada.
- O módulo da velocidade da bolinha, em m/s, em relação à pista de skate, no instante em que é ejetada.

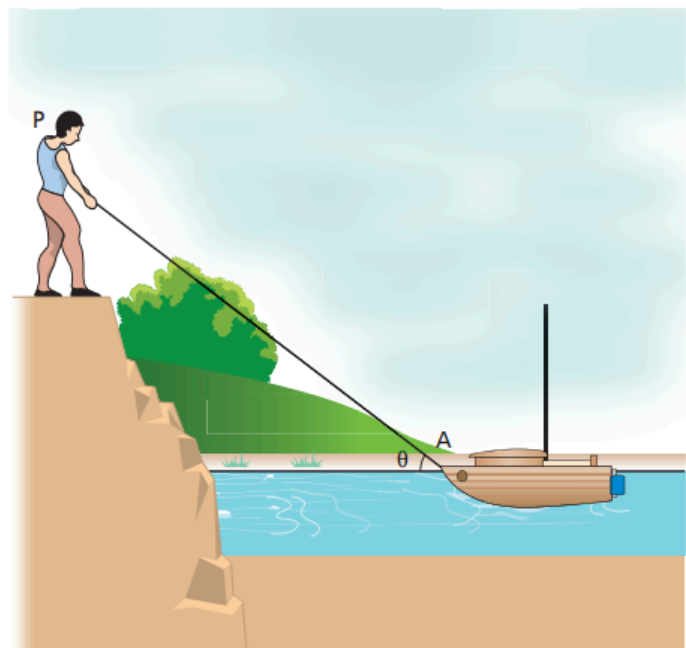
27. (Kamal) Uma partícula jogada para cima passa pela mesma altura H aos 2 e 10 segundos. Encontre H . Considere $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

28. (Adelaid University - adapt.) De um ponto elevado A , uma pedra é projetada verticalmente para cima. Quando a pedra atinge uma distância h abaixo de A , a velocidade é o dobro do que era na altura h acima de A . Determine, em função de h , a altura máxima $H_{\text{máx}}$ atingida pela pedra.

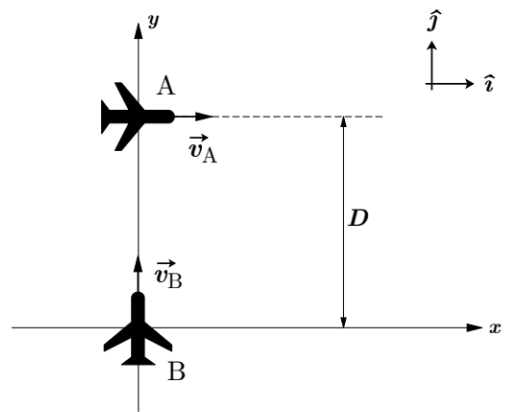
29. (OBF 2019) Uma esteira transporta cascalho até uma caçamba de comprimento $L = 2,00 \text{ m}$ localizada à sua frente. A figura abaixo, na qual $d = 1,50 \text{ m}$ e $h = 2,50 \text{ m}$, representa esquematicamente a situação de seu funcionamento. Suponha que a esteira se mova com velocidade constante e que o cascalho não rola nem escorrega sobre ela. Desconsiderando as dimensões do cascalho e o efeito resistivo do ar, determine o intervalo de velocidades no qual a esteira pode operar sem que o cascalho caia fora da caçamba.



30. (Saraeva) Um pescador P está sobre um barranco à beira de um lago, puxando seu barco por meio de uma corda amarrada em um ponto A do veículo, como está representado na figura ao lado. Iguais comprimentos de corda são recolhidos em iguais intervalos de tempo, ou seja, a corda é puxada com velocidade escalar constante. Seja V o módulo dessa velocidade. Determine o módulo da velocidade do barco no instante em que a corda forma um ângulo θ com a superfície da água.



31. (ITA 2021) Dois aviões de combate, A e B, viajam a uma mesma altitude com velocidades constantes $\vec{v}_A = (100 \text{ m/s})\hat{i}$ e $\vec{v}_B = (200 \text{ m/s})\hat{j}$, respectivamente. A figura ilustra as posições dos aviões no instante $t = 0 \text{ s}$, que estão separadas por uma distância $D = 100 \text{ m}$. Com base nessas informações, calcule a distância mínima entre os dois aviões ao longo do movimento.



A.2. Leis de Newton e suas aplicações - Teoria

1ª Lei de Newton

Inércia = tendência do corpo de manter a sua velocidade vetorial, a menos que seja aplicado sobre ele uma força resultante.

2ª Lei de Newton

$$F_R = ma$$

3ª Lei de Newton

Para toda força existe uma reação de mesma intensidade, mesma direção e sentido oposto. Os pares ação-reação são aplicados em corpos diferentes, de modo que eles nunca se anulam.

Força de Atrito

$f_{at} = \mu N$, onde μ é o coeficiente de atrito e N é a força normal.

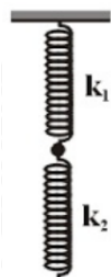
Força Elástica

Lei de Hooke:

$F_{el} = -kx$, onde k é o constante elástica da mola (N/m) e x é a deformação da mola.

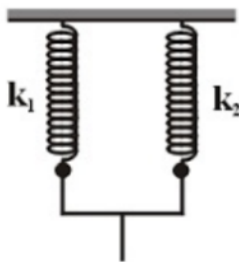
Associação de molas em série:

$$\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$



Associação de molas em paralelo:

$$k_{eq} = k_1 + k_2$$



A.2. Leis de Newton e suas aplicações - Questões

1. Seu colega lhe diz que a inércia é uma força que mantém as coisas em seus lugares, em repouso ou em movimento. Você concorda? Explique por quê.

2. (OBF 2017) Você empurra com velocidade constante um bloco retangular de madeira sobre um determinado piso, aplicando-lhe uma força F_1 . Você decide virar o bloco de tal forma que ele fique agora com a face de menor área (duas vezes menor) sobre o piso. Nessa nova posição, para manter a mesma velocidade anterior, você deve aplicar uma força F_2 que é aproximadamente:

- a) Quatro vezes maior que F_1 ;
- b) Quatro vezes menor que F_1 ;
- c) Igual a F_1 ;
- d) A metade de F_1 ;
- e) O dobro de F_1 .

3. (OBF 2019) Durante uma aula sobre queda livre de corpos próximos à superfície da terra, um dos alunos do Professor Physicson perguntou: “Professor, qual o peso equivalente que uma pedrinha de massa 0,5 kg teria ao chegar ao solo, caindo em queda livre do 5º andar de um edifício?” Para responder a essa pergunta, o Professor escreveu no quadro quatro possíveis respostas:

- I. O peso da pedra não varia pelo fato de ela estar em repouso ou caindo;
- II. Considerando a altura total igual a 10,0 m, seria de 50,0 N;
- III. O peso da pedra varia conforme o solo, se ele é fofo ou duro;
- IV. A força que a pedra exerce sobre o solo depende se ele é fofo ou duro.

Analisando as afirmações, podemos acertadamente afirmar que:

- a) Somente III e IV estão corretas;
- b) Somente II e III estão corretas;
- c) Somente I e IV estão corretas;
- d) Todas estão corretas;
- e) Todas estão erradas.

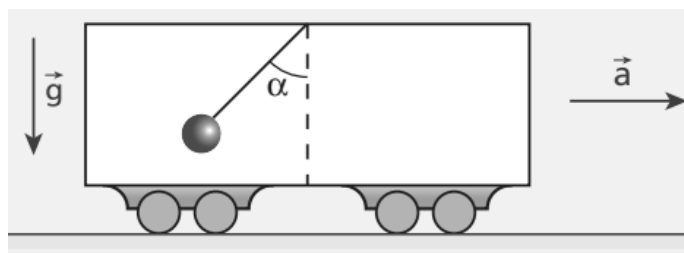
4. (OBF 2019) Considere as seguintes situações do cotidiano:

- I. Um carro, subindo uma rua de forte declive, em movimento retilíneo e uniforme;
- II. Um carro, percorrendo uma pista circular, com movimento uniforme;
- III. Um menino, lançando uma bola vertical para cima e atingindo o ponto mais alto de sua trajetória.

Analisando essas informações e identifique em qual(is) dela(s) a força resultante é nula:

- a) Somente em III;
- b) Somente em II;
- c) Em I e II;
- d) Em I, II e III;
- e) Somente em I.

5. (Tópicos) Considere um veículo, como o representado abaixo, em movimento retilíneo sobre um plano horizontal. Pelo fato de estar acelerado para a direita, um pêndulo preso ao seu teto desloca-se em relação à posição de equilíbrio, formando um ângulo α com a vertical.

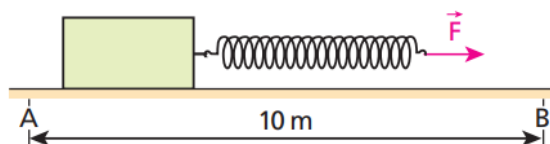


São conhecidos o ângulo α , o módulo da aceleração da gravidade (g) e a massa da esfera (m) atada ao fio ideal.

- Qual o módulo da aceleração a do veículo?
- O módulo de a depende de m ?

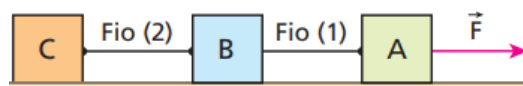
6. (Tópicos) Um corpo de massa $4,0 \text{ kg}$ cai, a partir do repouso, no campo gravitacional terrestre, suposto de intensidade constante, de módulo 10 m/s^2 . A força de resistência que o corpo recebe do ar durante a queda tem intensidade dada, em newtons, pela expressão $F_r = 10v^2$, em que v é o módulo de sua velocidade. Admitindo que a altura de queda seja suficientemente grande, calcule a velocidade-limite atingida pelo corpo.

7. (FEI) O bloco da figura, de massa $m = 4,0 \text{ kg}$, desloca-se sob a ação de uma força horizontal constante de intensidade F . A mola ideal, ligada ao bloco, tem comprimento natural (isto é, sem deformação) $\ell_0 = 14,0 \text{ cm}$ e constante elástica $K = 160 \text{ N/m}$.



Desprezando-se as forças de atrito e sabendo-se que as velocidades escalares do bloco em A e B são, respectivamente, iguais a $4,0 \text{ m/s}$ e $6,0 \text{ m/s}$, qual é, em centímetros, o comprimento da mola durante o movimento?

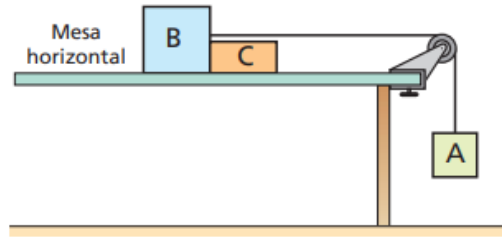
8. (Tópicos) Na montagem esquematizada na figura, os blocos A, B e C têm massas iguais a $2,0 \text{ kg}$ e a força F , paralela ao plano horizontal de apoio, tem intensidade 12 N .



Desprezando todas as forças resistentes, calcule:

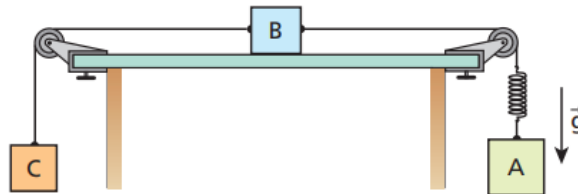
- o módulo da aceleração do sistema;
- as intensidades das forças de tração estabelecidas nos fios ideais (1) e (2).

9. (Tópicos) Na figura, os blocos A, B e C têm massas respectivamente iguais a $3M$, $2M$ e M ; o fio e a polia são ideais. Os atritos são desprezíveis e a aceleração da gravidade tem intensidade g .



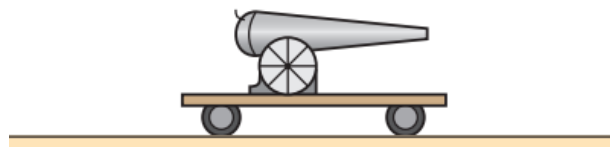
Admitindo os blocos em movimento sob a ação da gravidade, calcule as intensidades da força de tração no fio (T) e da força de contato trocada por B e C (F).

10. (Tópicos) Na montagem experimental abaixo, os blocos A, B e C têm massas $m_A = 5,0 \text{ kg}$, $m_B = 3,0 \text{ kg}$ e $m_C = 2,0 \text{ kg}$. Desprezam-se os atritos e a resistência do ar. Os fios e as polias são ideais e adota-se $|g| = 10 \text{ m/s}^2$.



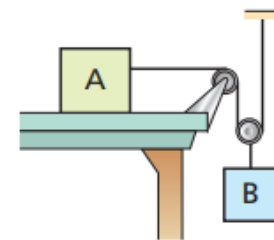
No fio que liga A com B, está intercalada uma mola leve, de constante elástica $3,5 \cdot 10^3 \text{ N/m}$. Com o sistema em movimento, calcule, em centímetros, a deformação da mola.

11. (Tópicos) O esquema seguinte representa um canhão rigidamente ligado a um carrinho, que pode deslizar sem atrito sobre o plano horizontal.



O sistema, inicialmente em repouso, dispara horizontalmente um projétil de 20 kg de massa, que sai com velocidade de $1,2 \cdot 10^2 \text{ m/s}$. Sabendo que a massa do conjunto canhão-carrinho perfaz $2,4 \cdot 10^3 \text{ kg}$ e desprezando a resistência do ar, calcule o módulo da velocidade de recuo do conjunto canhão-carrinho após o disparo.

12. (AFA) Os corpos A e B da figura ao lado têm massas M e m respectivamente. Os fios são ideais. A massa da polia e todos os atritos podem ser considerados desprezíveis. O módulo da aceleração de B é igual a:

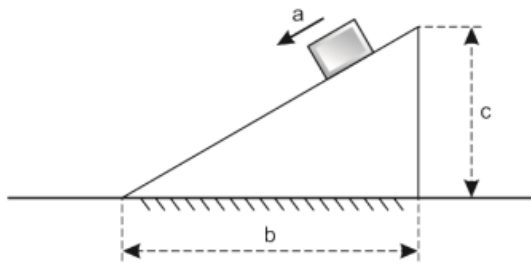


- a) $\frac{m g}{M + m}$ c) $\frac{2M g}{M + m}$
 b) $\frac{m g}{4M + m}$ d) $\frac{2m g}{4M + m}$

13. (OBF 2017) Considere um cavalo puxando um caixote que pesa 1300,0 kg, sobre um plano horizontal rugoso, à velocidade constante. A ação produzida pelo cavalo tem uma correspondente reação do caixote, evidenciada por um dinamômetro entre eles que indica 260,0 N de força. Nesse sentido, o coeficiente de atrito cinético entre a superfície e o caixote deve ser igual a:

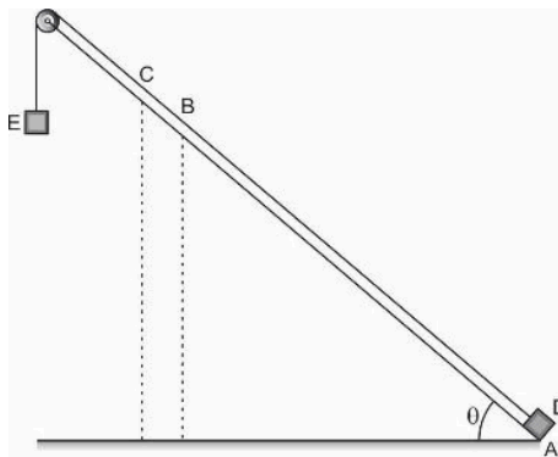
- a) 0,01
- b) 0,20
- c) 0,10
- d) 0,30
- e) 0,02

14. (OBC) Um pequeno bloco de massa m desce um plano inclinado, fixo no solo. Seja μ coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco e o plano inclinado. São dadas as dimensões b e c indicadas na figura. Seja g o módulo da aceleração da gravidade. A aceleração escalar a do bloco é dada por:



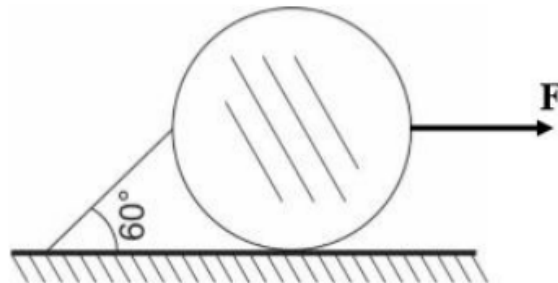
- a) $a = g \cdot b \cdot c (1 - \mu) / \sqrt{b^2 + c^2}$
- b) $a = g \cdot (c + \mu \cdot b)$
- c) $a = g \cdot (c - \mu \cdot b)$
- d) $a = g \cdot (c + \mu \cdot b) / \sqrt{b^2 + c^2}$
- e) $a = g \cdot (c - \mu \cdot b) / \sqrt{b^2 + c^2}$

15. (OBC - adapt.) Um bloco D, parte do ponto A puxado pelo bloco E. Os dois blocos, de dimensões desprezíveis, têm mesma massa m . Sabe-se que $\sin\theta = 0,60$ e $\cos\theta = 0,80$. O coeficiente de atrito entre o bloco D e o plano inclinado é $\mu = 0,40$. Despreze a resistência do ar e considere o módulo da aceleração da gravidade $g = 10 \text{ m/s}^2$. Ao atingir o ponto B, o fio se rompe. O bloco D sobe até chegar ao ponto C e, a seguir, desce.



Determine o módulo das acelerações do bloco D durante a subida nos trechos AB e BC.

16. (OBF 2017) Uma bola homogênea de peso $100\sqrt{3}$ N encontra-se apoiada sobre uma superfície plana, sem atrito e presa por uma corda inextensível, conforme a figura abaixo. Considerando que a mesma se encontra em equilíbrio e submetida à ação de uma força F de intensidade igual a 50 N, determine a intensidade da reação normal entre a bola e o plano, considerando o centro da bola como sendo o ponto de intersecção das forças aplicadas sobre ela, além de desprezar qualquer tipo de rotação na mesma.

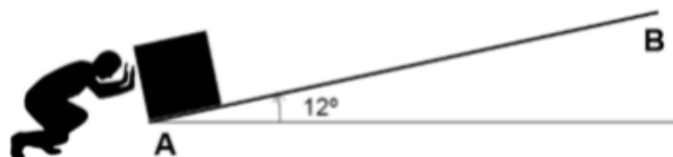


- a) 300 N
- b) $150\sqrt{3}$ N
- c) $300\sqrt{3}$ N
- d) 100 N
- e) $125\sqrt{3}$ N

17. (OBF 2020) Uma caixa de massa 5,0 kg em repouso no ponto A de um plano inclinado sofre um impulso instantâneo de um menino. Após percorrer 4,5 m, a caixa para no ponto B. Considerando desprezível a resistência do ar e sabendo que o coeficiente de atrito cinético entre as superfícies em contato é $\mu = 0,20$, determine aproximadamente a velocidade, em m/s, imprimida no caixote no ponto A.

Dados: $\text{sen}12^\circ = 0,20$ e $\text{cos}12^\circ = 0,98$.

- a) 9,4
- b) 8,4
- c) 6,0
- d) 4,6
- e) 5,2



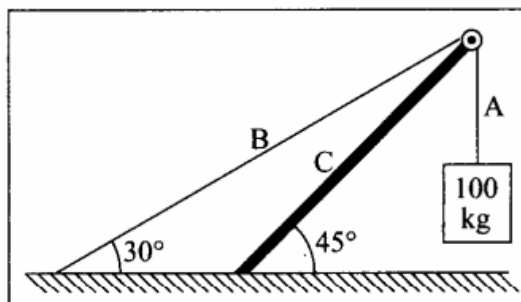
18. (Moisés) Uma partícula está em equilíbrio sob a ação de 3 forças, F_1 , F_2 , e F_3 . Mostre que

$$\frac{|F_1|}{\text{sen}(\theta_{23})} = \frac{|F_2|}{\text{sen}(\theta_{31})} = \frac{|F_3|}{\text{sen}(\theta_{12})}$$

onde θ_{ij} é o ângulo entre F_i e F_j .

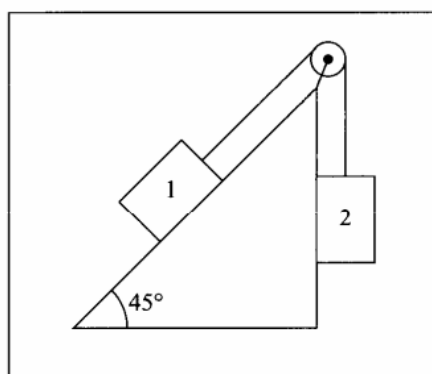
19. (Moysés) Um acrobata de 60 kg se equilibra no centro de uma corda bamba de 20 m de comprimento. O centro desceu 30 cm em relação às extremidades, presas em suportes fixos. Qual é a tensão em cada metade da corda?

20. (Moysés) No sistema representado na figura, calcule as tensões nas cordas A e B e a compressão na viga C, desprezando as massas da viga e das cordas.

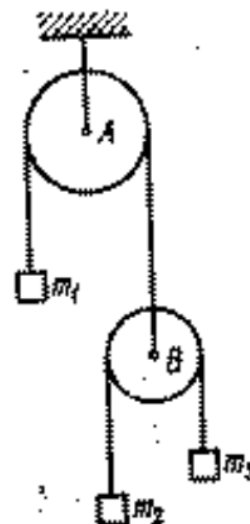


21. (Moysés) Uma bala de fuzil de massa igual a 20 g atinge uma árvore com velocidade de 500 m/s, penetrando nela a uma profundidade de 10 cm. Calcule a força média (em N e em kgf) exercida sobre a bala durante a penetração.

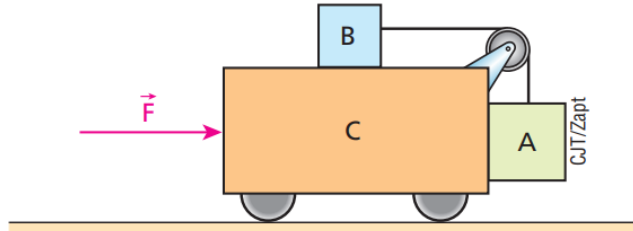
22. (Moysés) No sistema da figura, o bloco 1 tem massa de 10 kg e seu coeficiente de atrito estático com o plano inclinado é 0,5. Entre que valores mínimo e máximo pode variar a massa m do bloco 2 para que o sistema permaneça em equilíbrio?



23. (Saraeva) Determinar as acelerações dos blocos de massas m_1 , m_2 e m_3 e a tensão das cordas no sistema representado, se $m_1 = m_2 + m_3$. As massas das cordas e das polias são insignificantes em comparação com as massas dos blocos.

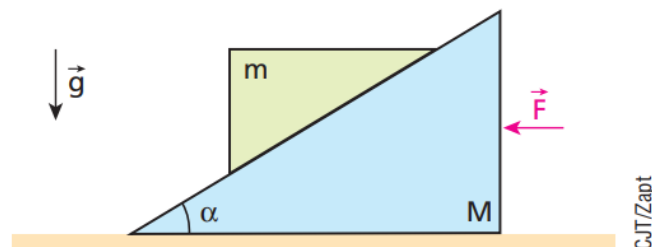


24. (Tópicos - adapt.) Na figura, o sistema está sujeito à ação da resultante externa F , paralela ao plano horizontal sobre o qual o carrinho está apoiado. Todos os atritos são irrelevantes e as inércias do fio e da polia são desprezíveis. As massas dos corpos A, B e C valem, respectivamente, 2,0 kg, 1,0 kg e 5,0 kg e, no local, o módulo da aceleração da gravidade é 10 m/s^2 .



Supondo que A esteja apenas encostado em C, determine a intensidade de F de modo que A e B não se movimentem em relação ao carrinho C.

24. (ITA) O plano inclinado da figura tem massa M e sobre ele apoia-se um objeto de massa m . O ângulo de inclinação é α e não há atrito nem entre o plano inclinado e o objeto, nem entre o plano inclinado e o apoio horizontal. Aplica-se uma força F horizontal no plano inclinado e constata-se que todo o sistema se move horizontalmente, sem que o objeto deslize em relação ao plano inclinado. Podemos afirmar que, sendo g a aceleração da gravidade local:



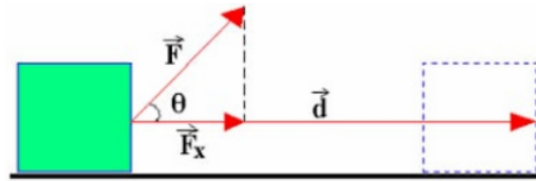
- $F = m g$.
- $F = (M + m) g$.
- F tem de ser infinitamente grande.
- $F = (M + m) g \operatorname{tg} \alpha$.
- $F = M g \operatorname{sen} \alpha$.

A.3. Trabalho, potência e energia - Teoria

Trabalho

Trabalho é transferência de energia. É a energia recebida ou perdida por um corpo, em sua relação com o meio, devido à atuação de uma força F ao longo de um deslocamento d .

$$\tau = F \cdot d \cdot \cos \theta$$



Se a força atuante não for constante, para encontrar o trabalho temos que fazer uma integral, isto é, calcular a área entre a função e o eixo horizontal do gráfico $F(d)$.

Trabalho positivo = trabalho motor

Trabalho negativo = trabalho resistente

Potência

$$P = \frac{\tau}{\Delta t}$$

$$P = F \cdot v \cdot \cos \theta$$

Rendimento

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{total}}}$$

Energia

Energia é a capacidade de realizar trabalho.

$$\text{Energia cinética: } E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{Energia potencial gravitacional: } E_{pg} = mgh$$

$$\text{Energia potencial elástica: } E_{pe} = \frac{1}{2}kx^2$$

Teorema da Energia Cinética

$$\tau = \Delta E_c$$

Trabalho de uma força conservativa

Força conservativa: força cujo trabalho entre dois pontos independe da trajetória escolhida.

Exemplos: força peso, força elástica e força elétrica.

$$\tau_{FC} = - \Delta E_P$$

Teorema da Energia Mecânica

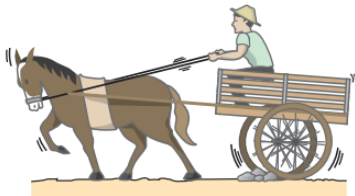
$$\tau_{FNC} = \Delta E_m$$

Onde FNC = força não conservativa ou força dissipativa (exemplo: força de atrito), E_m = energia mecânica, que é a soma de todas as formas de energia de um corpo.

Sem ação de forças dissipativas, a energia mecânica de um sistema se conserva.

A.3. Trabalho, potência e energia - Questões

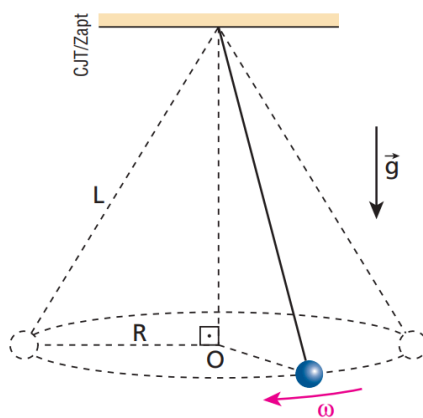
1. (Tópicos) Na figura abaixo, embora puxe a carroça com uma força horizontal de 1000 N, o burro não consegue tirá-la do lugar devido ao entrave de uma pedra:



Qual o trabalho da força do burro sobre a carroça?

2. (Tópicos) Um homem empurra um carrinho ao longo de uma estrada plana, comunicando a ele uma força constante, paralela ao deslocamento, e de intensidade $3,0 \cdot 10^2$ N. Determine o trabalho realizado pela força aplicada pelo homem sobre o carrinho, considerando um deslocamento de 15 m.

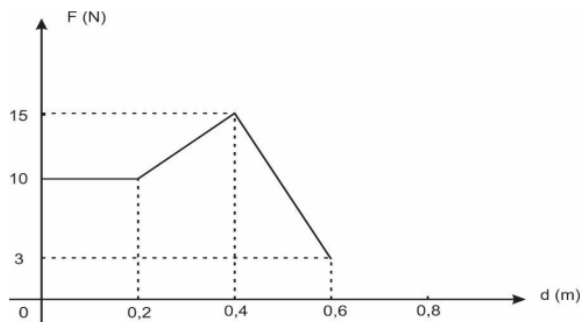
3. (Tópicos) Na situação representada na figura, uma pequena esfera de massa $m = 2,4$ kg realiza movimento circular e uniforme com velocidade angular ω em torno do ponto O. A circunferência descrita pela esfera tem raio $R = 30$ cm e está contida em um plano horizontal. O barbante que prende a esfera é leve e inextensível e seu comprimento é $L = 50$ cm.



Sabendo que no local a influência do ar é desprezível e que $g = 10$ m/s², determine:

- a intensidade da força de tração no barbante;
- o valor de ω ;
- o trabalho da força que o barbante exerce sobre a esfera em uma volta.

4. (OBF 2017) A figura abaixo mostra o gráfico da força (F) que atua sobre um corpo de massa 1000,0 g em função do deslocamento produzido. Sabe-se que inicialmente o corpo estava em repouso. Para este caso, determine o trabalho realizado entre 0,0 m e 0,6 m.

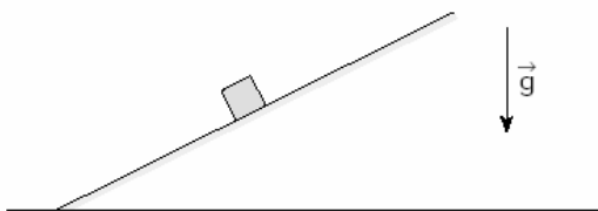


- a) 4,5 N.m
- b) 6,3 N.m
- c) 3,6 J
- d) 4,8 J
- e) 4,8 N.m

5. (Fuvest) Um carregador em um depósito empurra, sobre o solo horizontal, uma caixa de massa 20 kg, que inicialmente estava em repouso. Para colocar a caixa em movimento, é necessária uma força horizontal de intensidade 30 N. Uma vez iniciado o deslizamento, são necessários 20 N para manter a caixa movendo-se com velocidade constante.

- a) Determine os coeficientes de atrito estático e cinético entre a caixa e o solo.
- b) Qual seria o trabalho realizado pelo carregador se a força horizontal aplicada inicialmente fosse de 20 N? Justifique sua resposta.

6. (UFSCar 2001) O bloco da figura desce espontaneamente o plano inclinado com velocidade constante, em trajetória retilínea.



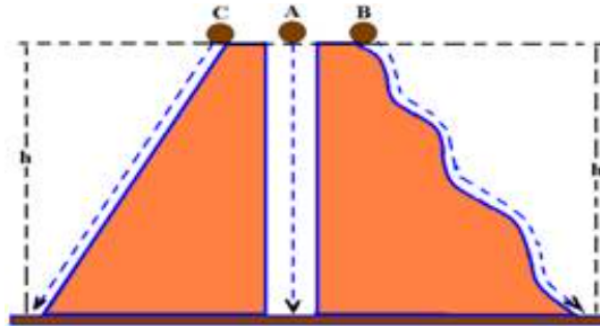
Desprezando-se qualquer ação do ar, durante esse movimento, atuam sobre o bloco:

- a) duas forças, e ambas realizam trabalho.
- b) duas forças, mas só uma realiza trabalho.
- c) três forças, e todas realizam trabalho.
- d) três forças, mas só duas realizam trabalho.
- e) três forças, mas só uma realiza trabalho.

7. (ITA) O átomo de hidrogênio no modelo de Bohr é constituído de um elétron de carga e que se move em órbitas circulares de raio r , em torno do próton, sob a influência da força de atração coulombiana. O trabalho efetuado por esta força sobre o elétron ao percorrer a órbita do estado fundamental é:

- a) $-e^2 / (2\epsilon_0 r)$.
- b) $e^2 / (2\epsilon_0 r)$.
- c) $-e^2 / (4\pi\epsilon_0 r)$.
- d) e^2 / r .
- e) n.d.a.

8. (UNIRIO) Três corpos idênticos de massa M deslocam-se entre dois níveis como mostra a figura. A caindo livremente; B deslizando ao longo de um tobogã e C descendo uma rampa, sendo, em todos os movimentos, desprezíveis as forças dissipativas.



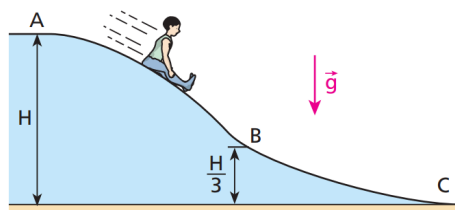
Com relação ao módulo do trabalho (W) realizado pela força peso dos corpos, pode-se afirmar que:

- a) $W_C > W_B > W_A$
- b) $W_C = W_B > W_A$
- c) $W_C > W_B = W_A$
- d) $W_C = W_B = W_A$
- e) $W_C < W_B > W_A$

9. (Fuvest) A equação da velocidade de um móvel de 20 quilogramas é dada por $v = 3,0 + 0,2t$ (SI). Podemos afirmar que a energia cinética desse móvel, no instante $t = 10$ s, vale:

- a) 45 J
- b) $1,0 \cdot 10^2$ J
- c) $2,0 \cdot 10^2$ J
- d) $2,5 \cdot 10^2$ J
- e) $2,0 \cdot 10^3$ J

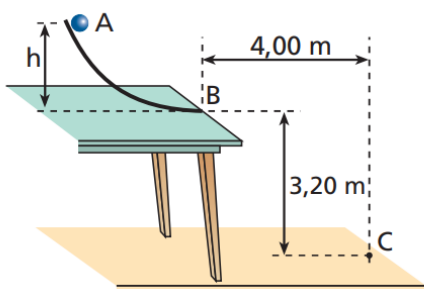
10. (Tópicos) Um garoto de massa $m = 30 \text{ kg}$ parte do repouso do ponto A do escorregador perfilado na figura e desce, sem sofrer a ação de atritos ou da resistência do ar, em direção ao ponto C:



Sabendo que $H = 20 \text{ m}$ e que $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule:

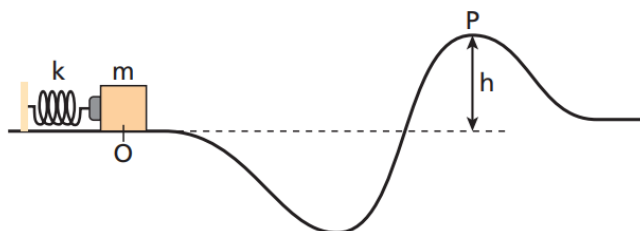
- a energia cinética do garoto ao passar pelo ponto B;
- a intensidade de sua velocidade ao atingir o ponto C.

11. (Mack) Uma bolinha é abandonada do ponto A do trilho liso AB e atinge o solo no ponto C. Supondo que a velocidade da bolinha no ponto B seja horizontal, a altura h vale:



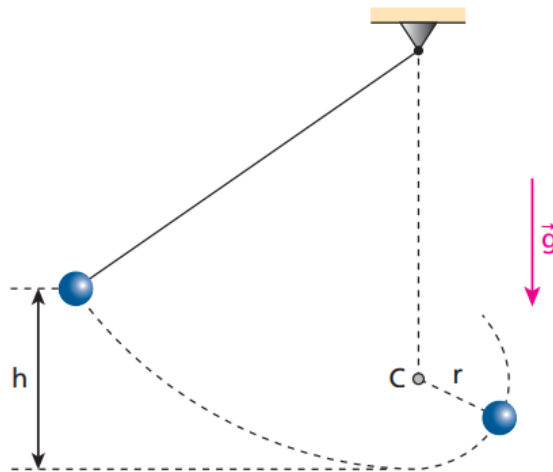
- 1,25 m.
- 1,75 m.
- 2,00 m.
- 2,25 m.
- 2,50 m.

12. (OBF) Um bloco de massa $m = 0,60 \text{ kg}$, sobre um trilho de atrito desprezível, comprime uma mola de constante elástica $k = 2,0 \cdot 10^3 \text{ N/m}$, conforme a figura abaixo.



Considere que a energia potencial gravitacional seja zero na linha tracejada. O bloco, ao ser liberado, passa pelo ponto P ($h = 0,60 \text{ m}$), onde 75% de sua energia mecânica é cinética. Adote $g = 10,0 \text{ m/s}^2$ e despreze o efeito do ar. Qual foi a compressão da mola, em cm?

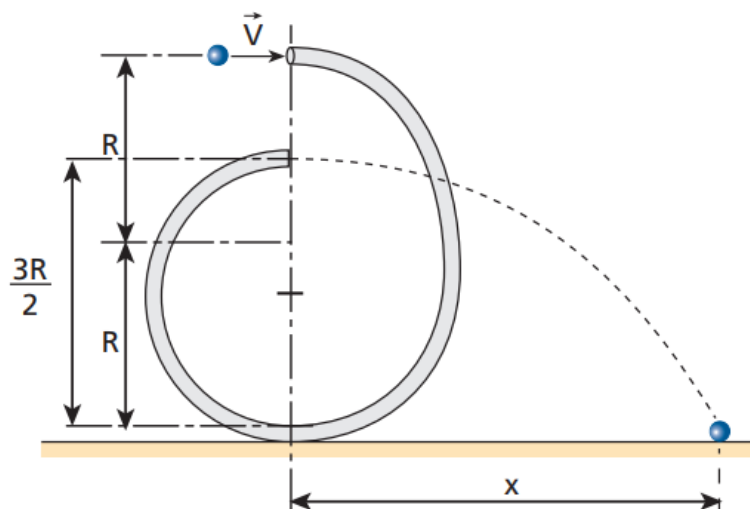
13. (Vunesp - UFTM) A figura, fora de escala, mostra um pêndulo simples abandonado à altura h do ponto mais baixo da trajetória. Na vertical que passa pelo ponto de sustentação, um pino faz o fio curvar-se e o pêndulo passa a descrever uma trajetória circular de raio r e centro C .



O menor valor de h para que a esfera pendular descreva uma circunferência completa é igual a:

- a) $1,0r$.
- b) $1,5r$.
- c) $2,0r$.
- d) $2,5r$.
- e) $3,0r$.

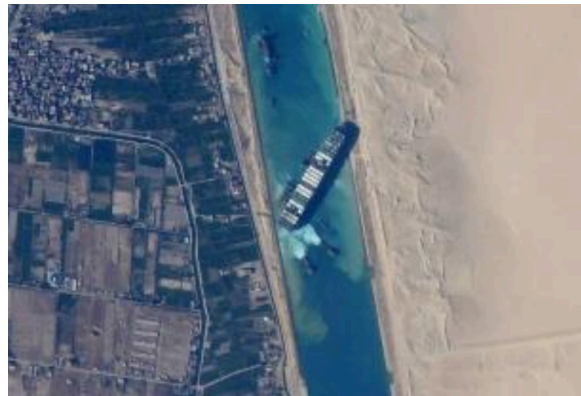
14. (ITA) Uma pequena esfera penetra com velocidade V em um tubo oco, recurvado e colocado em um plano vertical, como mostra a figura, num local onde a aceleração da gravidade tem módulo igual a g . Supondo que a esfera percorra a região interior do tubo sem atrito e acabe saindo horizontalmente pela extremidade, pergunta-se: que distância x , horizontal, ela percorrerá até tocar o solo?



15. (OBF 2020) Para facilitar a exploração espacial, os cientistas buscam desenvolver motores que possam acelerar as naves durante um período de tempo longo e com baixo consumo de combustível. Uma alternativa é o sistema de propulsão elétrica de íons. Atualmente estão sendo desenvolvidos propulsores deste tipo que podem proporcionar até 100 kW de potência e alcançar velocidades de 15 km/s a 30 km/s. Considere um foguete de massa 6000 kg equipado com um sistema deste. Quanto tempo, em horas, o sistema de propulsão deve funcionar, a plena potência (100 kW), para alcançar a velocidade de 20 km/s partindo do repouso? (Admita em suas considerações que o jato de íons tem massa desprezível.)

- a) $1,2 \times 10^7$
- b) $6,0 \times 10^4$
- c) $2,0 \times 10^4$
- d) $3,3 \times 10^3$
- e) $6,0 \times 10^2$

16. (OBF 2021) No dia 23/03/2021, o mega navio cargueiro Ever Given encalhou no canal de Suez. Suas dimensões são colossais: 399,94 metros de comprimento, 58,8 metros de largura e 14,5 metros de altura, com peso bruto de 220 940 toneladas vazio, e DWT Summer de 199 692 toneladas. No âmbito náutico, o porte (DWT ou dwt) é soma de todos os pesos variáveis que um navio é capaz de embarcar em segurança. É constituído pelo somatório dos pesos do combustível, água, mantimentos, consumíveis, tripulantes, passageiros, bagagens e carga embarcados.



Frear um navio deste porte também é bastante complexo. Navios deste porte, em alto mar, viajando a velocidade máxima percorrem aproximadamente 3,0 km para atingirem o repouso deste o momento em que o giro do motor é invertido. A força resultante necessária para, em alto mar, levar um navio como este, com carga total, da velocidade máxima de 42,2 km/h ao repouso é, em N, aproximadamente:

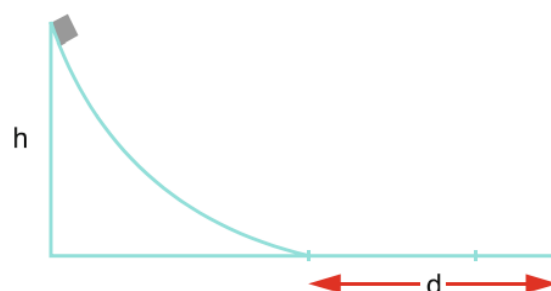
- a) $9,0 \times 10^3$
- b) $5,1 \times 10^6$
- c) $9,6 \times 10^6$
- d) $6,4 \times 10^8$
- e) $1,2 \times 10^8$

17. (OBF 2021) Uma das formas de armazenar a energia é o uso de uma usina hidrelétrica reversível (UHR), que opera entre dois reservatórios de água localizados em diferentes altitudes. Considere, por exemplo, um parque eólico que, em condições favoráveis de vento, produz mais energia do que é consumida. Sem armazenamento, essa energia é desperdiçada. Com uma UHR, a energia excedente é usada pelo motor-gerador da UHR para bombear água do reservatório inferior para o superior. Quando a energia eólica não é suficiente para atender à demanda, o processo se inverte: a água do reservatório superior move o motor-gerador da UHR e gera energia elétrica que é distribuída aos consumidores (veja figura abaixo).

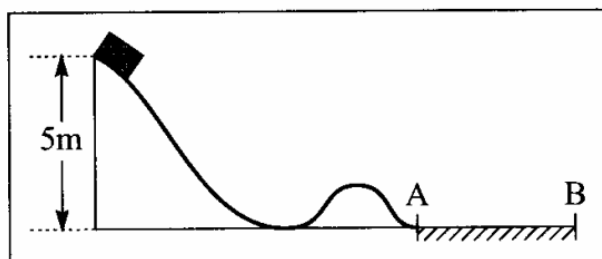


Considere o parque eólico de Osório, no Rio Grande do Sul, que tem uma potência instalada de cerca de 400 MW (capacidade de produção energia a uma taxa máxima de 400 MJ de energia por segundo). Este parque está localizado em uma planície costeira com vários lagos e ao lado da Serra Geral, ou seja, em princípio, oferece as condições para a instalação de uma UHR. Suponha uma época do ano, com condições de vento favoráveis, quando as turbinas eólicas operam, em média, com 70% de sua potência máxima. Suponha ainda, que nesta época, em média, durante 8 horas, há baixo consumo de energia e 60% da energia produzida não pode ser entregue na rede elétrica por falta de consumo. Considere que uma UHR deve ser construída para armazenar a energia excedente e que opera entre um reservatório localizado na Serra, cujo nível de água está 500 m acima do nível da água do reservatório inferior localizado na planície. Para seus cálculos, desconsidere todas as transformações de energia dissipativas. Qual a quantidade de água por dia, em m^3 , que uma UHR bombearia para o reservatório superior para armazenar o excedente de energia elétrica produzida?

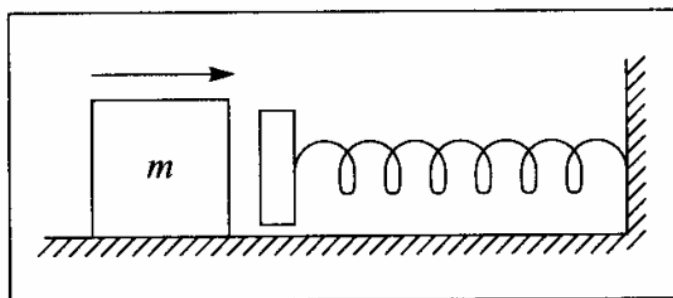
18. (Kamal) Num parque de diversão há um tobogã sem atrito. Uma pessoa desce uma altura h , deslizando pelo brinquedo, sem qualquer resistência. Após a rampa há um tablado horizontal rugoso, com objetivo de cessar o movimento da pessoa. Qual a distância horizontal d necessária para frear completamente a pessoa considerando que o coeficiente de atrito é μ ? A distância depende da massa da pessoa?



19. (Moisés) Um carrinho desliza do alto de uma montanha russa de 5 m de altura, com atrito desprezível. Chegando ao ponto A, no sopé da montanha, ele é freado pelo terreno AB coberto de areia (veja a Figura), parando em 1,25 s. Qual é o coeficiente de atrito cinético entre o carrinho e a areia?

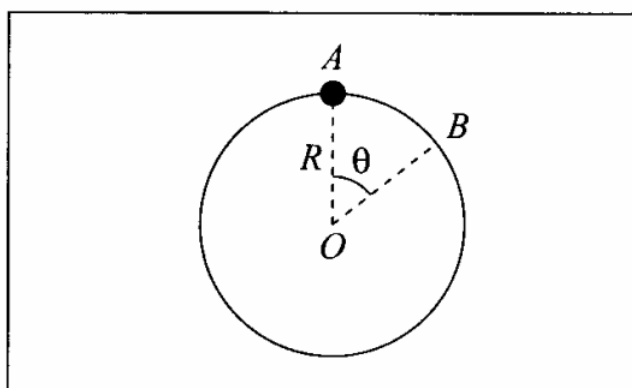


20. (Moisés) Um bloco de massa $m = 5 \text{ kg}$, deslizando sobre uma mesa horizontal, com coeficiente de atrito cinético e estático 0,5 e 0,6, respectivamente, colide com uma mola de massa desprezível, de constante de mola $k = 250 \text{ N/m}$, inicialmente na posição relaxada (veja Figura). O bloco atinge a mola com velocidade de 1 m/s .



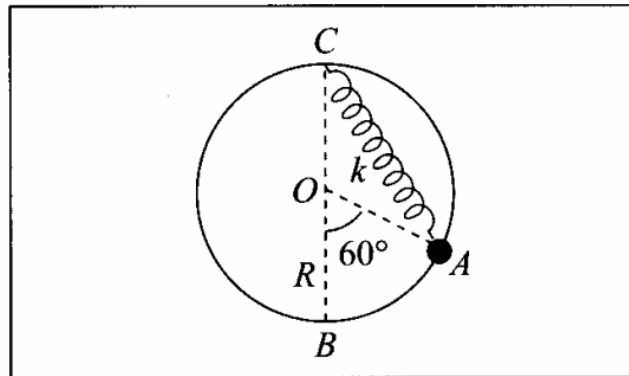
- Qual é a deformação máxima da mola?
- Que acontece depois que a mola atinge sua deformação máxima?
- Que fração da energia inicial é dissipada pelo atrito nesse processo?

21. (Moisés) Uma conta de massa m enfiada num aro circular de raio R que está num plano vertical desliza sem atrito da posição A, no topo do aro, para a posição B, descrevendo um ângulo θ (Figura).

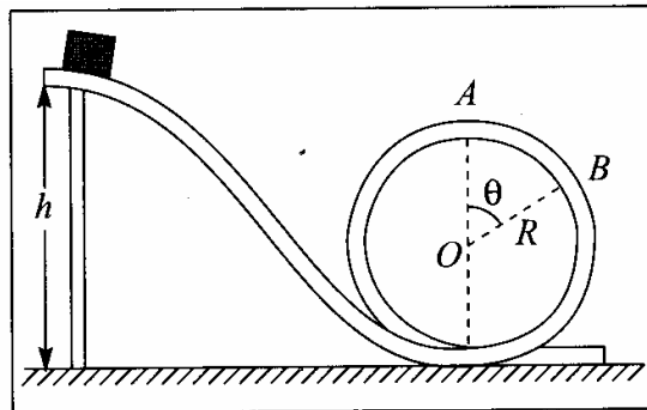


- Qual é o trabalho realizado pela força de reação do aro sobre a conta?
- Qual é a velocidade da conta em B?

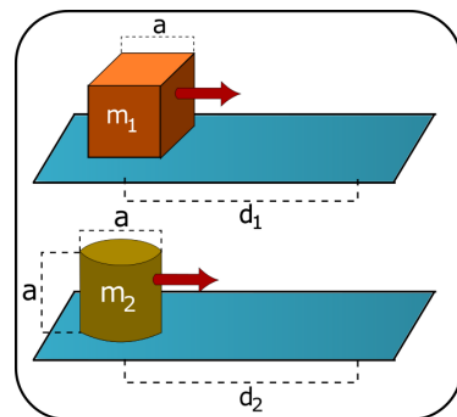
22. (Moysés) Um corpo de massa $m = 300 \text{ g}$, enfiado num aro circular de raio $R = 1 \text{ m}$ situado num plano vertical, está preso por uma mola de constante $k = 200 \text{ N/m}$ ao ponto C , no topo do aro. Na posição relaxada da mola, o corpo está em B , no ponto mais baixo do aro. Se soltarmos o corpo em repouso a partir do ponto A indicado na figura, com que velocidade ele chegará a B ?



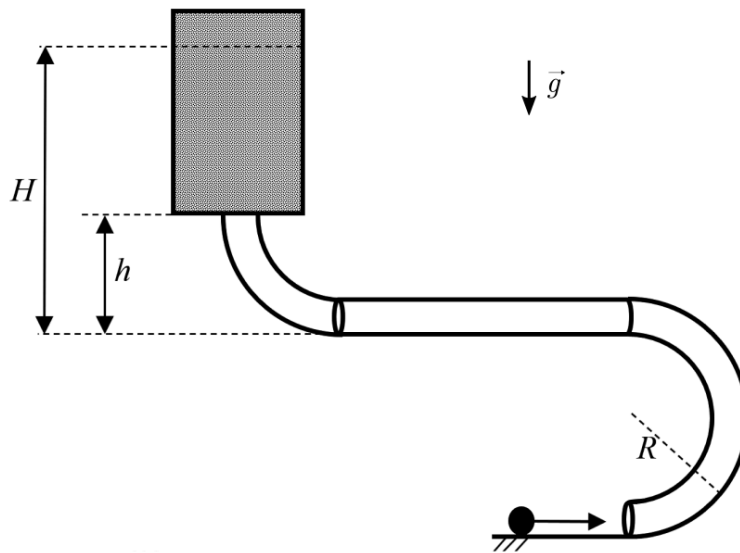
23. (Moysés) Num parque de diversões, um carrinho desce de uma altura h para dar a volta no “loop” de raio R indicado na figura. Desprezando o atrito do carrinho com o trilho, qual é o menor valor h_1 de h necessário para permitir ao carrinho dar a volta toda?



24. (OBF 2018) As figuras abaixo mostram duas situações, nas quais dois blocos de formas cúbica e cilíndrica feitos do material, homogêneo, isotrópico com distribuição uniforme e que serão lançados sobre as superfícies horizontais e rugosas de mesmo coeficiente de atrito. Os blocos cúbico e cilíndrico são lançados com as energias cinéticas K_1 e K_2 respectivamente. Sejam d_1 e d_2 as distâncias percorridas pelos blocos cúbico e cilíndrico respectivamente sobre a superfície rugosa até parar, de forma que $d_1 = 3 d_2$. Determine a razão K_1/K_2 .



25. (ITA 2023) Um corpo de massa m é lançado em um plano horizontal sem atrito, sob ação da gravidade g , e, ao entrar em um tubo, executa uma trajetória circular de raio R . A força exercida no corpo pelo tubo logo após o início do movimento circular tem intensidade F . Após meia volta, o corpo percorre uma trajetória retilínea em movimento uniforme até certa distância e depois sobe até certa altura h . O corpo sai do tubo em movimento vertical e imediatamente passa a se mover dentro de um fluido viscoso até atingir a altura máxima H , conforme mostra a figura. Considere que o corpo se desloca pelo tubo sem atrito; que o diâmetro do tubo é desprezível em relação a R , h e H ; e que o módulo do trabalho realizado pela força de atrito viscoso até a massa atingir H é equivalente a um terço da energia cinética da partícula, quando esta adentra o fluido.



Assinale a alternativa que expressa H em função das variáveis fornecidas.

- a) $\frac{1}{3} \left(h - 4R + \frac{FR}{mg} \right)$.
- b) $\frac{1}{6} \left(4h - 5R + \frac{FR}{mg} \right)$.
- c) $\frac{1}{3} \left(h - 5R + \frac{FR}{mg} \right)$.
- d) $\frac{1}{6} \left(2h - 3R + \frac{FR}{mg} \right)$.
- e) $\frac{1}{6} \left(h - 2R + \frac{FR}{mg} \right)$.

A.4. Impulso, quantidade de movimento e sua conservação - Teoria

Impulso

O impulso é o resultado da ação de uma força em um corpo ao longo do tempo.

$$I = F \cdot \Delta t$$

Se a força atuante não for constante, para encontrar o impulso temos que fazer uma integral, isto é, calcular a área entre a função e o eixo horizontal do gráfico $F(t)$.

Quantidade de Movimento (ou Momento Linear)

$$Q = mv$$

Importante! Momento linear é uma grandeza vetorial, portanto atente-se ao sinal da velocidade (positivo ou negativo).

Teorema do Impulso

$$I = \Delta Q$$

Conservação do momento linear

Em sistemas em que não existe a atuação de uma força externa, a quantidade de movimento sempre se conserva.

Colisões mecânicas

Colisões sempre constituem um sistema mecanicamente isolado, isto é, sempre conservam a quantidade de movimento.

Coeficiente de restituição:

$$e = \frac{v_2' - v_1'}{v_1 - v_2}$$

onde v_1 e v_2 são as velocidades dos corpos 1 e 2 antes da colisão, e v_1' e v_2' são as velocidades dos corpos 1 e 2 após a colisão.

O coeficiente de restituição é a razão entre a velocidade relativa de afastamento e a velocidade relativa de aproximação.

Os tipos de colisão são os seguintes:

a) Elásticas ou perfeitamente elásticas: há conservação de energia, por não haver dissipação, e o coeficiente de restituição de velocidade relativa é total, ou 100% ($e = 1$).

b) Parcialmente elásticas: não há conservação de energia. A restituição de velocidade relativa não é nula, mas não é 100% tampouco ($0 < e < 1$).

c) Inelásticas: não há conservação de energia. Nessa colisão há perda máxima de energia, e a restituição de velocidade relativa é nula, os corpos acabam tendo as mesmas velocidades vetoriais finais após a colisão ($e = 0$).

Colisões bidimensionais

Quando temos uma colisão bidimensional devemos decompor o problema em duas direções perpendiculares, x e y . O sistema é isolado, isto é, não há a ação de forças externas, logo o momento linear se conserva antes e depois da colisão. Faz-se a conservação da quantidade de movimento na direção x e depois na direção y , separadamente.

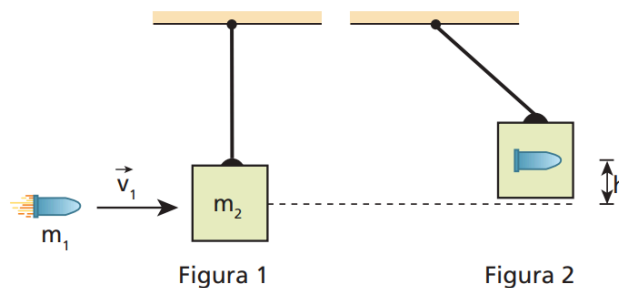
A.4. Impulso, quantidade de movimento e sua conservação - Questões

1. (Tópicos) Um garoto de massa 48 kg está de pé sobre um skate de massa 2,0 kg, inicialmente em repouso sobre o solo plano e horizontal. Em determinado instante, ele lança horizontalmente uma pedra de massa 5,0 kg, que adquire uma velocidade de afastamento (relativa ao garoto) de módulo 11 m/s. Sendo v_G e v_P , respectivamente, os módulos da velocidade do garoto e da pedra em relação ao solo imediatamente após o lançamento, calcule v_G e v_P .
2. (Moysés) Um atirador, com um rifle de 2 kg apoiado ao ombro, dispara uma bala de 15 g, cuja velocidade na boca da arma (extremidade do cano) é de 800 m/s.
 - a) Com que velocidade inicial a arma recua?
 - b) Que impulso transmite ao ombro do atirador?
 - c) Se o recuo é absorvido pelo ombro em 0,05 s, qual é a força média exercida sobre ele?
3. (Moysés) Calcule a magnitude da força impulsiva que atua em cada um dos exemplos seguintes:
 - a) Num saque de jogo de tênis, a bola, de massa igual a 60 g, é lançada com uma velocidade de 40 m/s; o tempo de contato com a raquete é da ordem de 0,005 s.
 - b) Um jogador de futebol cobra um pênalti, chutando a bola com uma velocidade de 20 m/s. A massa da bola é de 450 g e a duração do chute é da ordem de 0,01 s.
 - c) Uma pessoa de 80 kg pula do alto de um muro de 2,5 m de altura, caindo em pé (sem dobrar os joelhos). A duração do impacto é de 0,01 s.
 - d) Um carro de 1,5 tonelada, a 60 km/h, bate num muro. A duração do choque é de 0,1 s.
4. (Moysés) Durante a madrugada, um carro de luxo, de massa total igual a 2.400 kg, bate na traseira de um carro de massa total 1.200 kg, que estava parado num sinal vermelho. O motorista do carro de luxo alega que o outro estava com as luzes apagadas, e que ele vinha reduzindo a marcha ao aproximar-se do sinal, estando a menos de 10 km/h quando o acidente ocorreu. A perícia constata que o carro de luxo arrastou o outro de uma distância igual a 10,5 m, e estima o coeficiente de atrito cinético com a estrada no local do acidente em 0,6. Calcule a que velocidade o carro de luxo vinha realmente.
5. (Fuvest) Dois patinadores de massas iguais deslocam-se numa mesma trajetória retilínea, com velocidades escalares respectivamente iguais a 1,5 m/s e 3,5 m/s. O patinador mais rápido persegue o outro. Ao alcançá-lo, salta verticalmente e agarra-se às suas costas, passando os dois a deslocarem-se com velocidade escalar v . Desprezando o atrito, calcule o valor de v .

6. (Tópicos) Duas partículas 1 e 2, de massas respectivamente iguais a 3,0 kg e 2,0 kg, percorrem uma mesma reta orientada com velocidades escalares $v_1 = 2,0$ m/s e $v_2 = -8,0$ m/s. Supondo que essas partículas colidam e que o coeficiente de restituição do impacto seja 0,5, determine:

- as velocidades escalares de 1 e de 2 imediatamente após o impacto;
- a relação entre as energias cinéticas do sistema (partículas 1 e 2) imediatamente após e imediatamente antes do impacto.

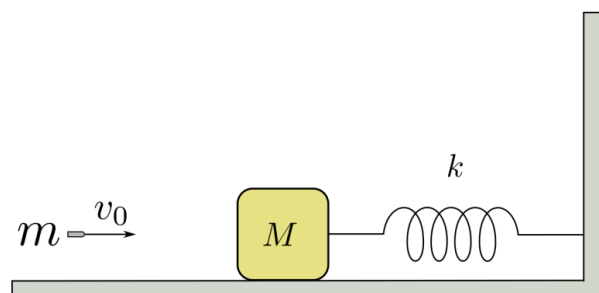
7. (UFJF) A figura 1 a seguir ilustra um projétil de massa $m_1 = 20$ g disparado horizontalmente com velocidade de módulo $v_1 = 200$ m/s contra um bloco de massa $m_2 = 1,98$ kg, em repouso, suspenso na vertical por um fio de massa desprezível. Após sofrerem uma colisão perfeitamente inelástica, o projétil fica incrustado no bloco e o sistema projétil-bloco atinge uma altura máxima h , conforme representado na figura 2.



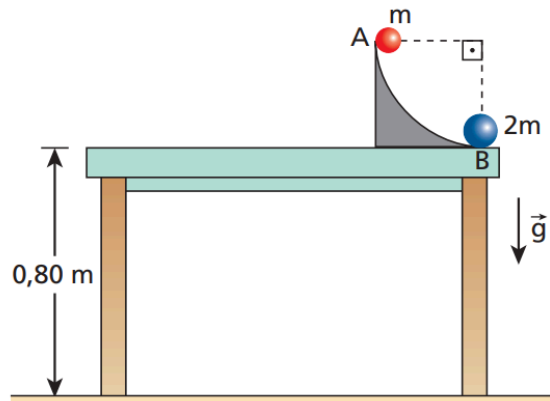
Desprezando-se a força de resistência do ar e adotando-se $g = 10$ m/s², resolva os itens abaixo.

- Calcule o módulo da velocidade que o sistema projétil-bloco adquire imediatamente após a colisão.
- Calcule o valor da altura máxima h atingida pelo sistema projétil-bloco após a colisão.

8. (OBF 2020) Em um laboratório de física, é usado um sistema massa-mola para determinar a velocidade com que um projétil é disparado. O sistema é constituído por um bloco de massa $M = 5,00$ kg que está apoiado em uma superfície horizontal de atrito desprezível e está preso a uma parede rígida vertical através de uma mola de constante elástica $k = 4500$ N/m. Para fazer a medida da velocidade v_0 de um projétil de massa $m = 10,0$ g, o mesmo é disparado contra o bloco, que está inicialmente em repouso, nas condições mostradas na figura. A parte do bloco que recebe o impacto é feita de um material deformável que aloja o projétil em seu interior. Considere que a mola se deforma apenas depois do projétil se alojar completamente no bloco (colisão projétil-bloco instantânea). Determine a velocidade v_0 do projétil, em m/s, no caso em que a medida da amplitude de oscilação do bloco após o impacto é de 2,50 cm.



9. (UFU) Sobre uma mesa fixa, de altura 0,80 m, está conectada uma rampa perfeitamente polida em forma de quadrante de circunferência de raio 45 cm, conforme representa a figura. Do ponto A da rampa, abandona-se uma partícula de massa m , que vai chocar-se de modo perfeitamente elástico com outra partícula de massa $2m$, em repouso no ponto B, o mais baixo da rampa.

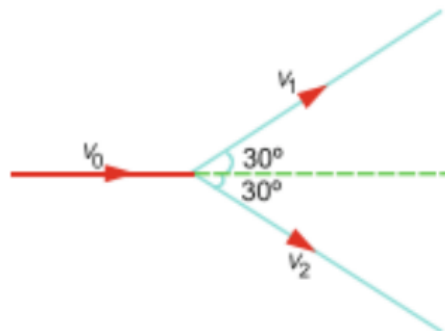


Sabendo que no local a influência do ar é desprezível e que $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:

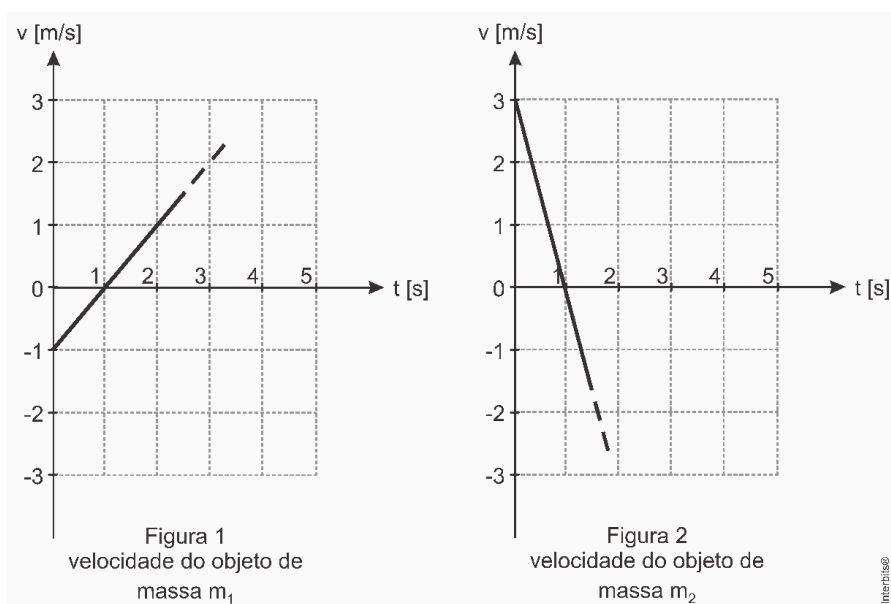
- a intensidade da velocidade da partícula de massa $2m$ ao atingir o solo;
- a altura, acima do tampo da mesa, atingida pela partícula de massa m após a colisão com a partícula de massa $2m$;
- a distância entre os pontos de impacto das partículas com o solo.

10. (Kamal) Uma bala de massa 5 g é lançada horizontalmente dentro de um bloco de madeira de 2 kg, apoiado sobre uma mesa. A bala permanece presa dentro do bloco que se move por 2 m. Se o coeficiente de atrito entre o bloco e a mesa é 0,2, encontre a velocidade inicial da bala.

11. (Kamal) Uma esfera que se move a 9 m/s colide com outra idêntica que está em repouso. Após a colisão, a direção de cada bola faz um ângulo de 30° com a direção original de movimento (ver figura). Encontre as velocidades das duas bolas após a colisão. A energia cinética do sistema é conservada no processo de colisão?



12. (IME 2022)



Em um experimento, dois objetos de massas m_1 e m_2 partem, respectivamente, das posições 0 e 30 m do mesmo eixo horizontal. Suas velocidades são programadas de acordo com os gráficos lineares mostrados nas Figuras 1 e 2, até que, na iminência de colisão perfeitamente inelástica entre elas, o sistema de controle das velocidades é desativado, mantendo-se a inércia de seus movimentos.

A razão m_2/m_1 para que, após a colisão, os objetos retornem unidos à posição 0 e com velocidade constante de módulo 2 é:

- a) 1/7
- b) 1/5
- c) 1/3
- d) 3/7
- e) 3/5

A.5. Estática - Teoria

Equilíbrio

Quando um corpo tem velocidade constante, isto significa que está em equilíbrio. Esse equilíbrio pode ser dinâmico, se a velocidade for diferente de zero, e pode ser estático, se a velocidade for igual a zero. O equilíbrio estático pode ser dividido em 3 casos:

- Indiferente: qualquer perturbação no corpo o leva a uma nova posição, onde permanece parado;
- Instável: qualquer perturbação no corpo o tira do equilíbrio e da posição inicial de maneira definitiva, repouso não ocorre mais;
- Estável: qualquer perturbação no corpo o tira do equilíbrio e da posição inicial, mas a força é restauradora, isto é, o corpo entra em oscilação, dissipa energia, e retorna à posição inicial de equilíbrio.

Equilíbrio de um ponto material

$$\text{Condição: } \sum F_x = \sum F_y = \sum F_z = 0$$

Torque (ou Momento de uma força)

Torque representa a facilidade de uma força para realizar uma rotação em um corpo em relação a um determinado eixo.

$$\tau = F \cdot b$$

onde b é o braço da força, que é a menor distância entre o eixo e a linha de ação da força.

O valor de b normalmente é $d \cdot \sin\theta$, onde d é a distância do eixo ao ponto de aplicação da força.

Condições de equilíbrio do corpo extenso

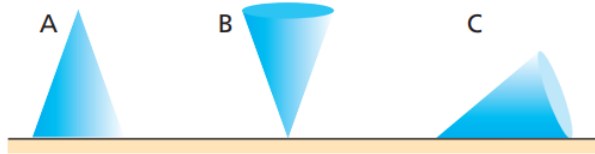
$$\sum F_x = \sum F_y = \sum F_z = 0$$

e

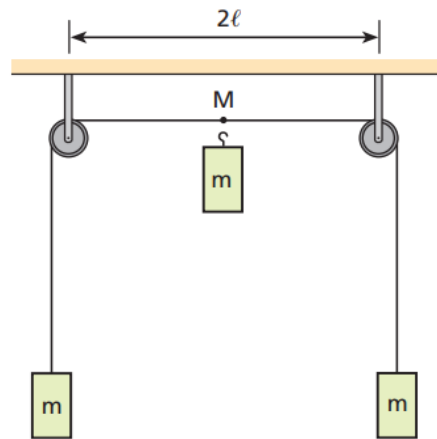
$$\sum \tau_x = 0, \text{ o que significa, na prática: } \sum \tau_{\text{horários}} = \sum \tau_{\text{anti-horários}}$$

A.5. Estática - Questões

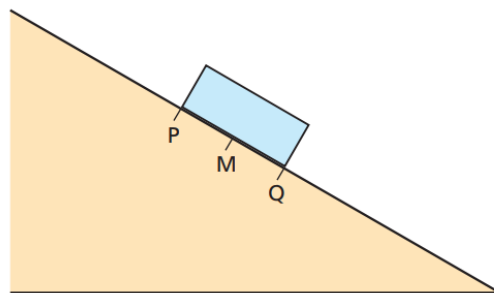
1. (Tópicos) De que tipo é o equilíbrio dos cones homogêneos A, B e C representados na figura: estável, instável ou indiferente?



2. (Tópicos) Em cada uma das extremidades de um fio considerado ideal, que passa por duas pequenas polias também supostas ideais, está suspenso um corpo de massa igual a m . Um terceiro corpo de massa m é suspenso do ponto médio M do fio e baixado até a posição de equilíbrio. Determine, em função de ℓ , (ver figura), quanto desceu o terceiro corpo.



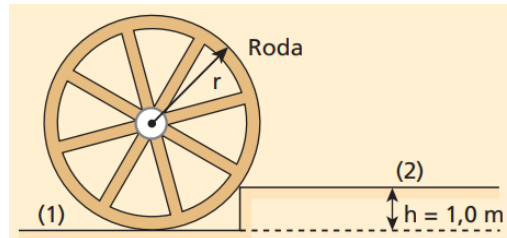
3. (Tópicos) A figura representa um paralelepípedo homogêneo em repouso num plano inclinado. M é o ponto médio do segmento PQ.



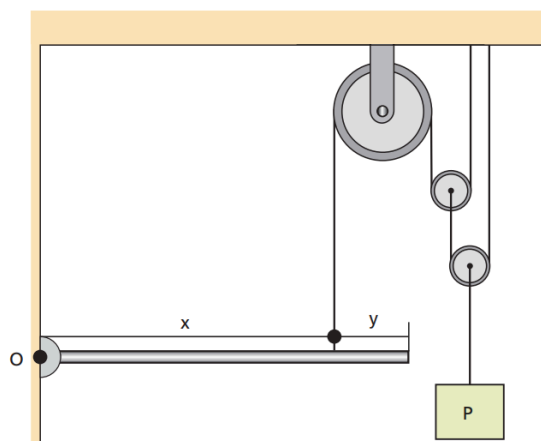
A força normal resultante que o paralelepípedo recebe do plano está aplicada:

- a) no ponto M.
- b) no ponto Q.
- c) entre P e M.
- d) entre M e Q.
- e) talvez no ponto P.

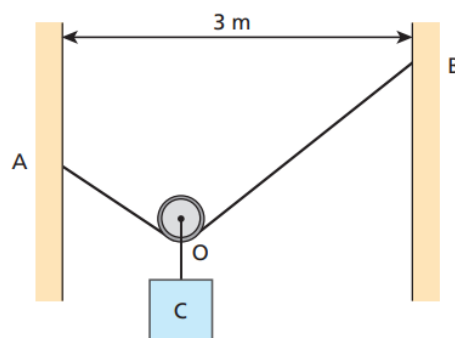
4. (Tópicos) Na figura, temos uma roda, de peso igual a $100\sqrt{3}$ kgf e raio r igual a 2,0 m, que deve ser erguida do plano horizontal (1) para o plano horizontal (2). Calcule a intensidade da força horizontal, aplicada no centro de gravidade da roda, capaz de erguê-la, sabendo que o centro de gravidade da roda coincide com seu centro geométrico.



5. (ITA) Uma barra homogênea, articulada no pino O, é mantida na posição horizontal por um fio fixado a uma distância x de O. Como mostra a figura, o fio passa por um conjunto de três polias que também sustentam um bloco de peso P. Desprezando efeitos de atrito e o peso das polias, determine a força de ação do pino O sobre a barra.



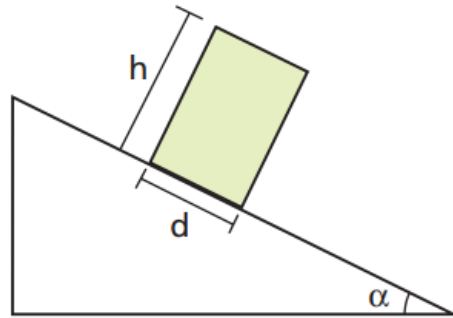
6. (Tópicos) Na figura, temos duas paredes verticais, um fio ideal de 5 m de comprimento preso aos pontos A e B das paredes, uma polia ideal e um corpo C, suspenso em equilíbrio do eixo da polia, de 400 N de peso:



Responda:

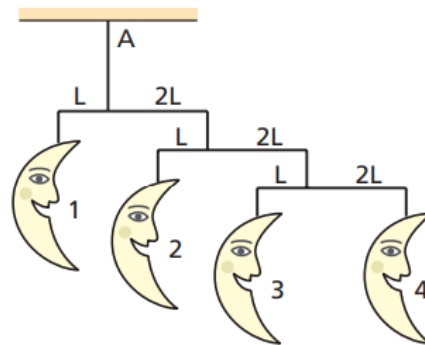
- Qual a intensidade da tração no fio?
- A intensidade da tração no fio depende do desnível entre A e B?

7. (ITA) Considere um bloco de base d e altura h em repouso sobre um plano inclinado de ângulo α . Suponha que o coeficiente de atrito estático seja suficientemente grande para que o bloco não deslize pelo plano. O valor máximo da altura h do bloco para que a base d permaneça em contato com o plano é:



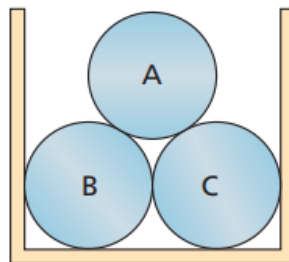
- a) d/α .
- b) $d/\sin \alpha$.
- c) $d/\sin^2 \alpha$.
- d) $d \cotg \alpha$.
- e) $d \cotg \alpha / \sin \alpha$.

8. (ITA) Um brinquedo que as mães utilizam para enfeitar quartos de crianças é conhecido como móbile. Considere o móbile de luas esquematizado na figura. As luas estão presas, por meio de fios de massas desprezíveis, a três barras horizontais, também de massas desprezíveis. O conjunto todo está em equilíbrio e suspenso de um único ponto A. Se a massa da lua 4 é de 10 g, então a massa da lua 1, em kg, é igual a:



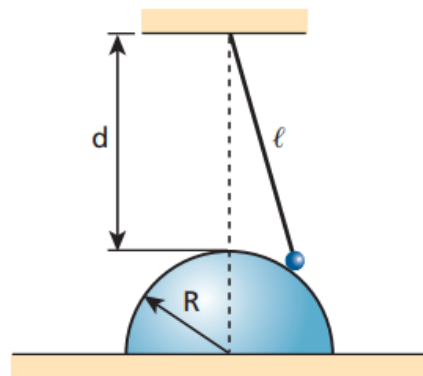
- a) 180
- b) 80
- c) 0,36
- d) 0,18
- e) 9

9. (Fuvest) Três cilindros iguais, A, B e C, cada um com massa M e raio R , são mantidos empilhados com seus eixos horizontais, por meio de muretas laterais verticais, como mostra a figura. Suponha que os cilindros B e C, ao serem introduzidos no sistema, ficaram apenas justapostos, sem qualquer compressão entre eles. Desprezando qualquer efeito de atrito, determine, em função de M e g :

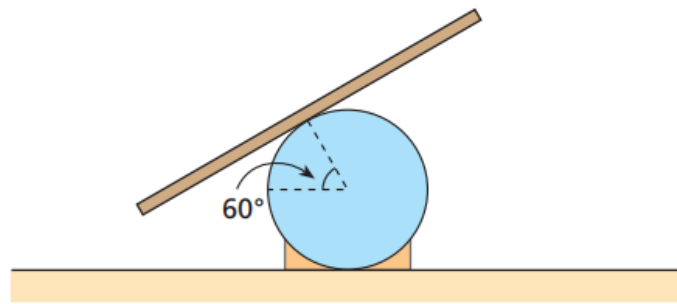


- a) o módulo da força F_{AB} que o cilindro A exerce sobre o cilindro B;
- b) o módulo da força F_{PB} que o piso exerce sobre o cilindro B;
- c) o módulo da força F_{MC} que a mureta exerce sobre o cilindro C.

10. (Tópicos) Uma bolinha de aço, de peso P , encontra -se em repouso presa em um fio suposto ideal, de comprimento ℓ , e apoiada em um hemisfério fixo de raio R , praticamente sem atrito. Sendo d a distância do polo do hemisfério ao ponto de suspensão do fio, determine a intensidade da força de tração exercida pelo fio em função de P , ℓ , d e R .

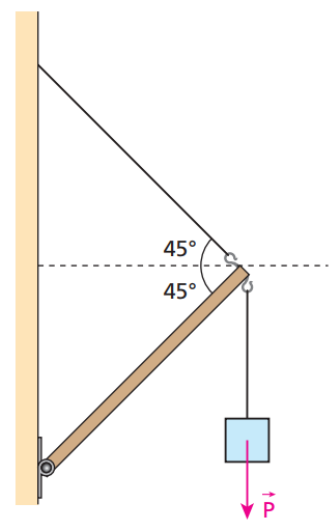


11. (Mack) Uma tábua rígida é colocada sobre um cilindro fixo, ficando em equilíbrio e na iminência de escorregar, como mostra a figura. Determine o coeficiente de atrito estático entre a tábua e o cilindro.

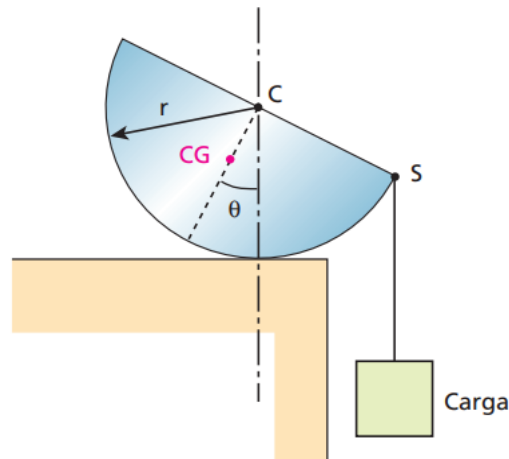


12. (Aman) Veja a figura ao lado. A tração máxima que a corda superior pode suportar é de $400\sqrt{2}$ N e a compressão máxima que a escora pode aguentar é de $600\sqrt{2}$ N. A corda vertical é suficientemente resistente para tolerar qualquer peso envolvido no problema. O maior peso de um corpo em repouso que pode ser sustentado pela estrutura da figura, considerando desprezível o peso da escora, é:

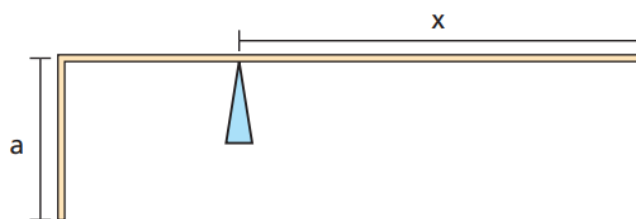
- a) 800 N.
- b) 1000 N.
- c) 200 N.
- d) 600 N.
- e) 400 N.



13. (Tópicos) A figura representa uma seção transversal de um semicilindro homogêneo de peso P e base de raio r , apoiado em uma superfície plana e horizontal. O centro de gravidade do semicilindro (CG) e o ponto S pertencem à referida seção. O sólido citado se mantém em equilíbrio, como na figura, quando uma carga de peso Q está suspensa do ponto S por meio de uma corda leve. Sendo d a distância do ponto C ao centro de gravidade CG , determine Q em função de P , d , r e do ângulo θ indicado.

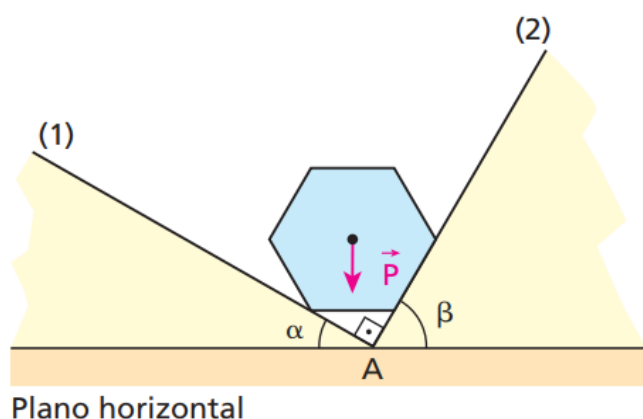


14. (UFPI) Um arame homogêneo de 23 cm de comprimento é dobrado, como indica a figura, em que $a = 5$ cm.



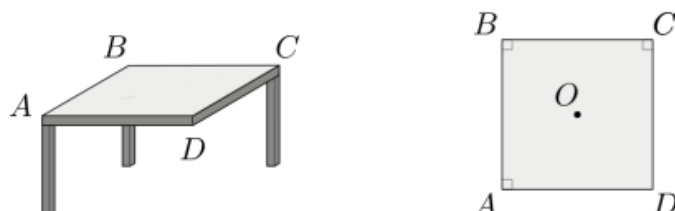
Para que o arame apoiado se mantenha em equilíbrio, qual deve ser o comprimento x ?

15. (Tópicos) Na figura ao lado, (1) e (2) são duas rampas planas perfeitamente lisas que se interceptam em uma reta horizontal, que passa por A e é perpendicular ao plano do papel. Nas rampas, apoia-se um prisma reto, hexagonal, regular e homogêneo, cujo peso P tem intensidade de 100 N.



Sabendo que $\sin \alpha = 3/5$ e $\cos \alpha = 4/5$, determine as intensidades das forças aplicadas pelo prisma sobre as rampas.

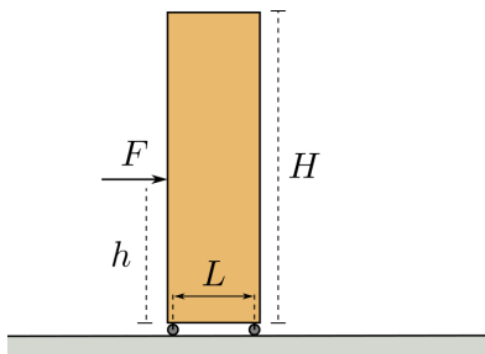
16. (OBF 2021) Uma mesa de tampo quadrado de lado $L = 120$ cm e apenas três pernas está apoiada em um piso horizontal liso. O tampo da mesa é homogêneo, tem espessura constante e massa $3,00$ kg. Nos três cantos A, B e C, estão fixadas pernas finas de mesmas características, cada uma de massa $0,50$ kg. A figura à esquerda abaixo representa a mesa em perspectiva, e a figura à direita, como ela é vista de cima. Também está disponível uma garrafa de bebida de massa $2,00$ kg.



(a) Se a garrafa é apoiada no ponto O, situado exatamente no centro do tampo da mesa, qual a intensidade da força, em N, que o piso exerce na perna da mesa que está fixada no canto A?

(b) Considere os pontos sobre o tampo da mesa localizado no triângulo ADC nos quais se pode apoiar a garrafa sem desequilibrar a mesa. Determine a maior distância, em cm, que um ponto desses pode ter em relação ao centro da mesa.

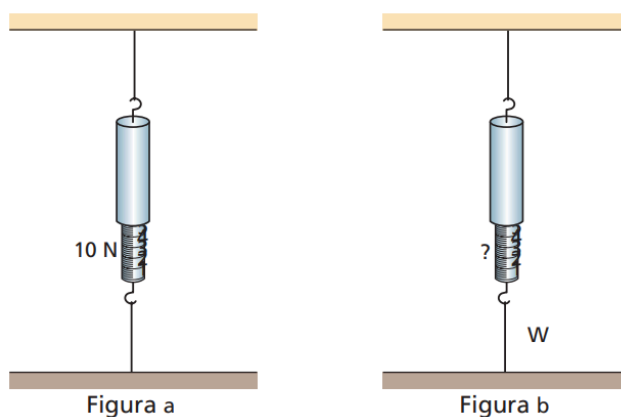
17. (OBF 2020) Uma prateleira vazia de massa $25,0$ kg, altura $H = 1,80$ m e largura $L = 40,0$ cm está montada sobre pequenos rodízios ideais que rolam pelo piso liso com ação desprezível de forças dissipativas. A prateleira, inicialmente em repouso, é empurrada por uma força horizontal F , de intensidade $F = 100$ N, aplicada a uma altura h , conforme ilustrado na figura. Considere que os rodízios têm massa e dimensões desprezíveis e que o centro de massa da prateleira está em seu centro geométrico.



Determine:

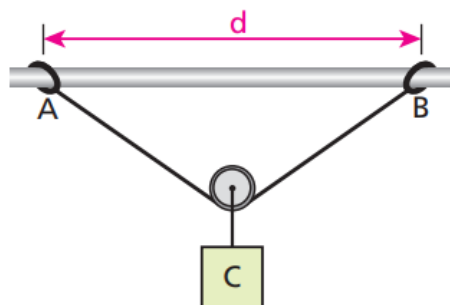
- a aceleração a do centro de massa da prateleira, em m/s^2 ;
- a menor altura h_{\min} , em m, na qual F pode ser aplicada sem que a prateleira tombe;
- a maior altura h_{\max} , em m, na qual F pode ser aplicada sem que a prateleira tombe.

18. (Olimpíada Ibero-americana de Física) Um dinamômetro é preso por uma corda ao teto e logo é tensionado por outra corda presa ao piso, de forma que sua leitura seja de 10 N (figura a). Coloca-se então um peso W no gancho inferior do dinamômetro. Qual será a nova leitura do dinamômetro nos seguintes casos:



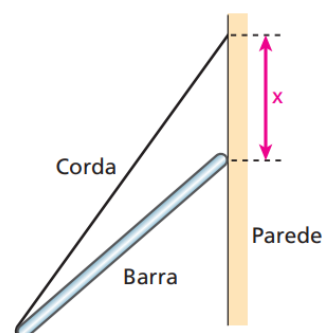
- a) $W = 7 \text{ N}$
 b) $W = 16 \text{ N}$

19. (Tópicos) Na figura abaixo, temos um cano metálico horizontal e duas argolas leves, A e B, nas quais está amarrado um fio considerado ideal, de 1,20 m de comprimento. Desse fio, está suspenso, em equilíbrio, um corpo C de massa 10 kg por meio de uma pequena polia também considerada ideal.

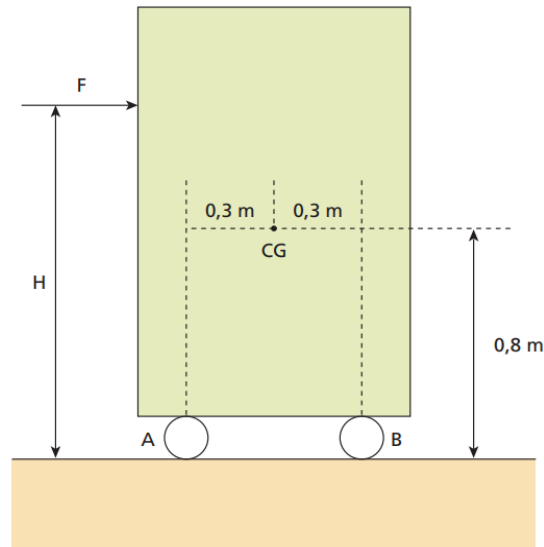


Determine a máxima distância d permitida entre as argolas para que o sistema permaneça em equilíbrio, sendo 0,75 o coeficiente de atrito estático entre cada argola e o cano.

20. (Tópicos) Uma barra cilíndrica e homogênea, de comprimento igual a 300 cm, encontra-se em equilíbrio sustentada por uma corda de comprimento igual a 400 cm e apoiada em uma parede vertical praticamente sem atrito, como representa a figura. Determine a distância x entre o ponto da parede onde a corda está amarrada e o ponto da parede onde a barra se apoia.

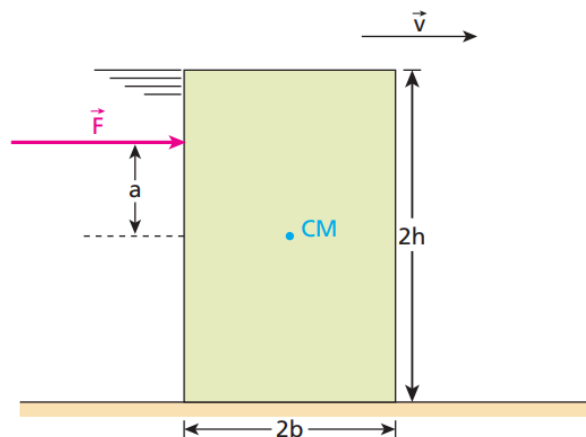


21. (Aman) Um armário de massa 20 kg é colocado sobre pequenas rodas A e B equidistantes das extremidades. As rodas permitem um movimento livre de atritos sobre o pavimento horizontal. O centro de gravidade (CG) do armário situa-se na posição mostrada na figura. Considere 10 m/s^2 a aceleração devida à gravidade. Se uma força F de módulo 150 N for aplicada horizontalmente em um ponto acima do centro de gravidade, podemos afirmar que o armário ficará na iminência de tombar para a frente quando a distância H medir:



- a) 1,20 m. b) 1,30 m. c) 1,45 m. d) 1,50 m. e) 1,80 m.

22. (Tópicos) Um paralelepípedo homogêneo de massa m , base quadrada de aresta $2b$ e altura $2h$ encontra-se em movimento retilíneo uniformemente variado, escorregando numa superfície plana e horizontal. Em certo instante, passa a atuar nele uma força constante F , na mesma direção e no mesmo sentido do movimento. A linha de ação dessa força e o centro de massa (CM) do corpo são coplanares e ela dista a de CM. Sendo μ o coeficiente de atrito cinético entre o paralelepípedo e a superfície em que se apoia, e g a intensidade do campo gravitacional:



- a) determine a intensidade de F para que o corpo não tombe;
 b) determine o máximo valor de μ compatível com o não tombamento ($F = 0$);
 c) supondo satisfeita a condição do item b, qual é o valor de a que garante o não tombamento, independentemente da intensidade de F ?

A.6. Gravitação - Teoria

Leis de Kepler

1ª lei - Lei das Órbitas: os planetas descrevem órbitas elípticas ao redor do Sol.

2ª lei - Lei das Áreas: a velocidade areolar dos planetas é constante, ou seja, em um mesmo intervalo de tempo é sempre percorrida a mesma área.

3ª lei - Lei dos Períodos: $\frac{T^2}{R^3}$ é constante para um mesmo sistema, sendo T o período de translação do astro e R a distância dele até o astro central (Sol, no caso do sistema solar).

Lei da Gravitação Universal

$$F = \frac{GMm}{r^2}$$

Energia potencial gravitacional

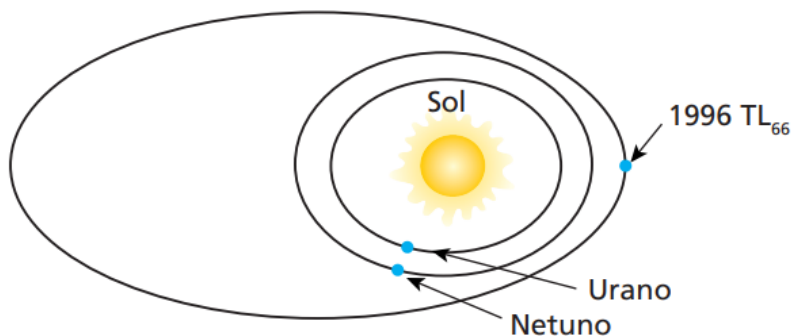
$$E = - \frac{GMm}{r}$$

Velocidade de escape

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

A.6. Gravitação - Questões

1. (PUC) A figura abaixo representa o Sol, três astros celestes e suas respectivas órbitas em torno do Sol: Urano, Netuno e o objeto recentemente descoberto [década de 1990], de nome 1996 TL₆₆.



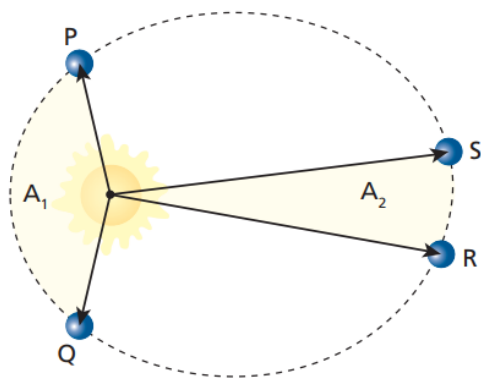
Analise as afirmativas a seguir:

- I. Essas órbitas são elípticas, estando o Sol em um dos focos dessas elipses.
- II. Os três astros representados executam movimento uniforme em torno do Sol, cada um com um valor de velocidade diferente dos outros.
- III. Dentre os astros representados, quem gasta menos tempo para completar uma volta em torno do Sol é Urano.

Indique:

- a) se todas as afirmativas são corretas.
- b) se todas as afirmativas são incorretas.
- c) se apenas as afirmativas I e II são corretas.
- d) se apenas as afirmativas II e III são corretas.
- e) se apenas as afirmativas I e III são corretas.

2. (Tópicos) Na figura a seguir, está representada a órbita elíptica de um planeta em torno do Sol:



Se os arcos de órbita PQ e RS são percorridos em intervalos de tempo iguais, qual a razão entre as áreas A₁ e A₂?

3. (Tiago) Considere um planeta hipotético gravitando em órbita circular em torno do Sol. Admita que o raio da órbita desse planeta seja o quádruplo do raio da órbita da Terra. Nessas condições, qual o período de translação do citado planeta, expresso em anos terrestres?

4. (Tiago) Considerando que a distância de Marte ao Sol seja de aproximadamente 1,52 U.A., calcule o período de translação de Marte (em anos terrestres).

5. (Unifor) A força de atração gravitacional entre dois corpos de massas M e m , separados de uma distância d , tem intensidade F . Então, a força de atração gravitacional entre dois outros corpos de massas $M/2$ e $m/2$, separados de uma distância $d/2$, terá intensidade:

- a) $F/4$
- b) $F/2$
- c) F
- d) $2F$
- e) $4F$

6. (Tópicos) Um meteorito adentra o campo gravitacional terrestre e, sob sua ação exclusiva, passa a se mover de encontro à Terra, em cuja superfície a aceleração da gravidade tem módulo 10 m/s^2 . Calcule o módulo da aceleração do meteorito quando ele estiver a uma altitude de nove raios terrestres.

7. (OBF 2020) Um estudante analisa uma situação hipotética na qual os planos de translação da Lua em torno da Terra e da Terra em torno do Sol seriam coincidentes e concluiu que nesta condição:

I. A fase da Lua Cheia coincidiria com o eclipse lunar.

II. Seria possível ver, da Terra, todas as faces da Lua.

III. Não haveria eclipses solares.

É (são) correta(s) a(s) conclusões:

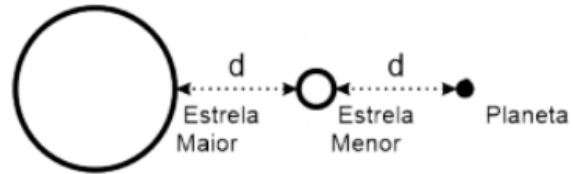
- a) I
- b) II
- c) I e II
- d) I e III
- e) II e III

Texto para questões 8 e 9:

Um dos focos da astronomia é o estudo dos sistemas binários, sistemas onde uma estrela orbita em torno de outra. Um destes sistemas é o HD 142527. Para compreender melhor como tais sistemas se formam e evoluem, os astrônomos se valeram do Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) para fazer uma nova e detalhada observação do disco protoplanetário em torno do sistema HD 142527, um sistema binário a cerca de 450 anos-luz da Terra em um aglomerado estelar jovem, conhecido como Associação Escorpião-Centauro. O sistema HD 142527 consiste de uma estrela principal com um pouco mais que o dobro da massa do Sol e uma pequena companheira com apenas cerca de um terço da massa do Sol. Elas estão separadas mais ou menos pela distância entre o Sol e Saturno.

8. (OBF 2020) Considere que um planeta com massa aproximadamente igual a massa de Saturno orbite essas estrelas. Quando esse planeta passar pela posição representada na figura, a razão entre a força gravitacional resultante que essas estrelas nele exercem e a força gravitacional que o Sol exerce em Saturno é

- a) 7/3
- b) 4/3
- c) 6/5
- d) 5/6
- e) 3/7



9. (OBF 2020) Durante um debate sobre o texto são feitas três afirmações:

- I. Qualquer sonda lançada da Terra irá levar 450 anos para alcançar o HD 142527.
- II. Um evento, ocorrido no HD 142527 e observado aqui da Terra hoje, aconteceu há 450 anos atrás.
- III. As trajetórias de eventuais planetas desse sistema são elipses na qual cada estrela do binário ocupa um dos focos.

É (são) correta(s) a(s) afirmativa(s):

- a) I
- b) II
- c) III
- d) I e II
- e) II e III

10. (OBF 2021) Dois corpos celestes, que orbitam em torno de um terceiro, estão em ressonância orbital quando exercem influência gravitacional periódica entre si. Este fenômeno ocorre quando a razão entre os períodos orbitais dos planetas é um número inteiro pequeno. Em geral, a ressonância orbital faz com que o corpo menos massivo seja expulso de sua órbita. Suponha que, em determinada época da formação de um sistema planetário, duas luas A e B se movam em órbitas circulares em torno de planeta P, com períodos orbitais T_A e $T_B = 8T_A$, respectivamente. As massas das luas e do planeta P obedecem às seguintes relações $m_A = 6m_B$ e $m_P = 1000m_B$, onde os índices, A, B e P, referem-se, respectivamente às luas A e B e ao planeta P.

a) Determine a razão entre R_B/R_A , onde R_A e R_B , são respectivamente, os raios das órbitas das luas A e B.

b) Seja $f_{BA,max}$ a intensidade da maior força gravitacional exercida pela lua A na lua B e F_{BP} a intensidade da força gravitacional exercida pelo planeta na lua B. Determine a razão $f_{BA,max}/F_{BP}$.

A.7. Hidrostática - Teoria

Massa específica

A massa específica é a massa do corpo pelo volume do corpo, suposto puro, maciço e compacto. A massa específica é uma característica do material do corpo.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Densidade

A densidade é a massa pelo volume do corpo também, mas para qualquer corpo, poroso ou não, puro ou liga de materiais, oco ou não. A densidade é uma característica do corpo.

$$d = \frac{m}{V}$$

Pressão

$$p = \frac{F}{A}$$

1 atm = 1×10^5 Pa = 1×10^5 N/m² = 780 mmHg = 10 mca (metros de coluna de água).

Pressão hidrostática

$$p = \rho gh$$

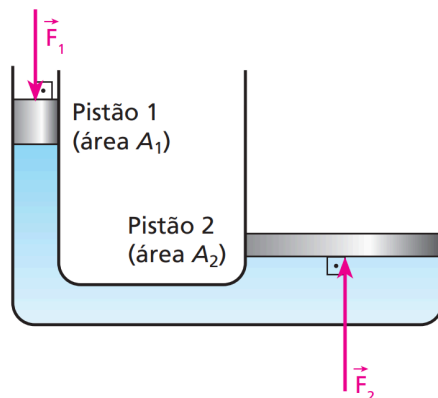
onde h é a profundidade do corpo no fluido (ou a altura da coluna de líquido acima do corpo).

Princípio de Pascal

Um incremento de pressão comunicado a um ponto qualquer de um líquido incompressível em equilíbrio transmite-se integralmente a todos os demais pontos do líquido, bem como às paredes do recipiente.

Consequências:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$



Teorema de Arquimedes

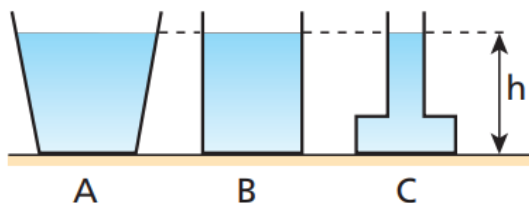
Quando um corpo é imerso total ou parcialmente em um fluido em equilíbrio sob a ação da gravidade, ele recebe do fluido uma força denominada empuxo (ou impulsão de Arquimedes). Tal força sempre têm direção vertical, sentido de baixo para cima e intensidade igual à do peso do fluido deslocado pelo corpo.

$$E = \rho_F \cdot V_{Fd} \cdot g$$

onde ρ_F é a densidade do fluido e V_{Fd} é o volume do fluido deslocado, ou seja, o volume submerso do corpo.

A.7. Hidrostática - Questões

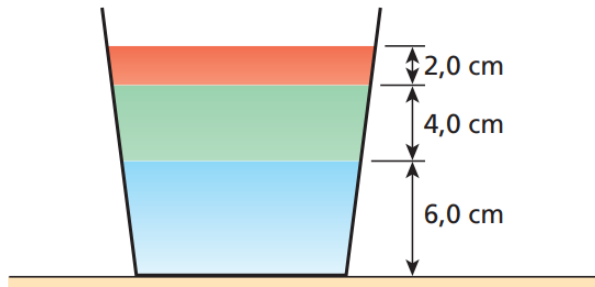
1. Você sabe que uma faca afiada corta melhor do que uma faca cega. Você sabe a razão disso? Justifique sua resposta.
2. Por que a pressão sanguínea é medida no antebraço, na altura de seu coração?
3. Por que caixas d'água são localizados em locais elevados?
4. Um pequeno aquário preenchido até a metade com água é colocado sobre uma balança de molas. A leitura da escala aumentará ou permanecerá inalterada se um peixe for colocado dentro do aquário? (Sua resposta seria diferente se o aquário estivesse inicialmente cheio até a borda?)
5. Um pedaço de aço afunda em água. Porém, uma lâmina de barbear, feita de aço, colocada suavemente sobre a superfície da água, não afunda. Qual é a sua explicação para isso?
6. (Fuvest) Os chamados “Buracos negros”, de elevada densidade, seriam regiões do Universo capazes de absorver matéria, que passaria a ter a densidade desses Buracos. Se a Terra, com massa da ordem de 10^{27} g, fosse absorvida por um “Buraco negro” de densidade igual a 10^{24} g/cm³, ocuparia um volume comparável ao:
 - a) de um nêutron.
 - b) de uma gota d'água.
 - c) de uma bola de futebol.
 - d) da Lua.
 - e) do Sol.
7. (Tópicos) Considere os recipientes A, B e C da figura, cujas áreas das paredes do fundo são iguais. Os recipientes contêm o mesmo líquido homogêneo em equilíbrio, e em todos eles o nível livre do líquido atinge a altura h .



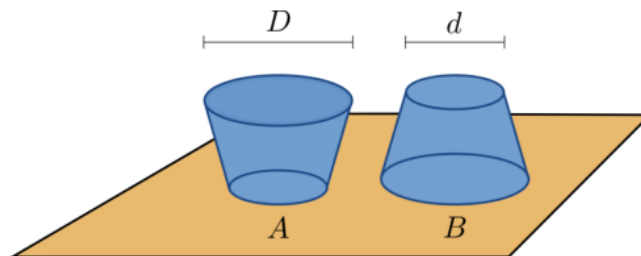
Sejam p_A , p_B e p_C e F_A , F_B e F_C , respectivamente, as pressões e as intensidades das forças exercidas pelo líquido nas paredes do fundo dos recipientes A, B e C. Compare:

- a) p_A , p_B e p_C
- b) F_A , F_B e F_C

8. (PUC) Em um vaso em forma de cone truncado, são colocados três líquidos imiscíveis. O menos denso ocupa um volume cuja altura vale 2,0 cm; o de densidade intermediária ocupa um volume de altura igual a 4,0 cm, e o mais denso ocupa um volume de altura igual a 6,0 cm. Supondo que as densidades dos líquidos sejam $1,5 \text{ g/cm}^3$, $2,0 \text{ g/cm}^3$ e $4,0 \text{ g/cm}^3$, respectivamente, responda: qual é a força extra exercida sobre o fundo do vaso devido à presença dos líquidos? A área da superfície inferior do vaso é 20 cm^2 e a área da superfície livre do líquido que está na primeira camada superior vale 40 cm^2 . A aceleração gravitacional local é 10 m/s^2 .



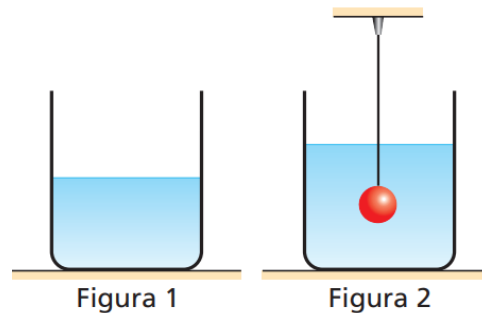
9. (OBF 2021) Uma pessoa possui duas vasilhas construídas com características idênticas, exceto pelo fato de uma ter a tampa larga e fundo estreito (vasilha A) e a outra ter tampa estreita e fundo largo (vasilha B). A pessoa enche completamente as duas com água. O diâmetro da parte larga D é o dobro do da parte estreita d . As vasilhas são apoiadas em uma superfície plana e horizontal. Sejam P_A e P_B as pressões que as vasilhas A e B fazem, respectivamente, na superfície de apoio e sejam P_1 e P_2 as pressões que os líquidos fazem, respectivamente, no fundo dos recipientes A e B.



- a) $P_A = P_B$ e $P_1 = P_2$
- b) $P_A = 2P_B$ e $P_1 = P_2$
- c) $P_A = 4P_B$ e $P_1 = P_2$
- d) $P_A = 2P_B$ e $P_1 = 2P_2$
- e) $P_A = 4P_B$ e $P_1 = 4P_2$

10. Quando um cubo de gelo derrete em um copo com água, o nível da água no copo subirá, baixará ou permanecerá inalterado?

11. (UFRJ) Um recipiente cilíndrico contém água em equilíbrio hidrostático (figura 1). Introduce-se na água uma esfera metálica maciça de volume igual a $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$, suspensa, por um fio ideal de volume desprezível, de um suporte externo. A esfera fica totalmente submersa na água sem tocar as paredes do recipiente (figura 2).

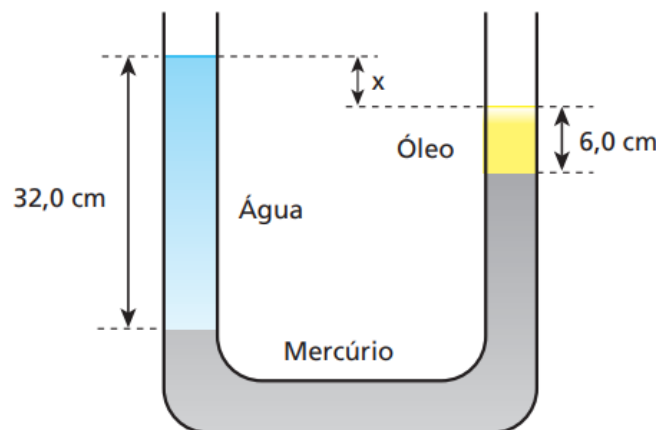


Restabelecido o equilíbrio hidrostático, verifica-se que a introdução da esfera na água provocou um acréscimo de pressão Δp no fundo do recipiente. A densidade da água é igual a $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ e a área da base do recipiente é igual a $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$. Calcule o acréscimo de pressão Δp .

12. (OBF 2020) Uma esfera oca de alumínio fica estacionária quando completamente submersa em água pura. Sendo o peso da esfera igual a $5,4 \text{ N}$, qual o volume aproximado, em cm^3 , de ar em seu interior? Dados: densidade do alumínio $\rho_{\text{Al}} = 2,7 \text{ g/cm}^3$.

- a) 200
- b) 270
- c) 340
- d) 540
- e) 740

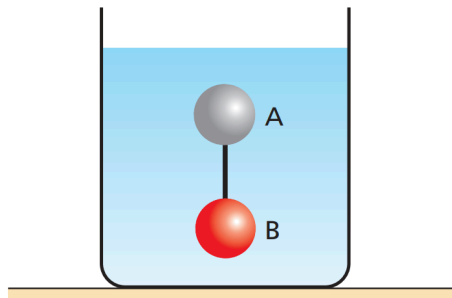
13. (Tópicos) Na situação esquematizada fora de escala na figura, um tubo em U, longo e aberto nas extremidades, contém mercúrio, de densidade $13,6 \text{ g/cm}^3$. Em um dos ramos desse tubo, coloca-se água, de densidade $1,0 \text{ g/cm}^3$, até ocupar uma altura de $32,0 \text{ cm}$. No outro ramo, coloca-se óleo, de densidade $0,80 \text{ g/cm}^3$, que ocupa uma altura de $6,0 \text{ cm}$.



Qual é o desnível x entre as superfícies livres da água e do óleo nos dois ramos do tubo?

14. (UFC) Um corpo flutua em água com $\frac{7}{8}$ do seu volume emersos. O mesmo corpo flutua em um líquido X com $\frac{5}{6}$ do seu volume emersos. Qual a relação entre a massa específica do líquido X e a massa específica da água?

15. (Unip) Para medirmos a densidade do álcool, utilizado como combustível nos automóveis, usamos duas pequenas esferas, A e B, de mesmo raio, unidas por um fio de massa desprezível. As esferas estão em equilíbrio, totalmente imersas, como mostra a figura, e o álcool é considerado homogêneo.



Sendo a densidade de A igual a $0,50 \text{ g/cm}^3$ e a densidade de B igual a $1,0 \text{ g/cm}^3$, podemos concluir que:

- a) não há dados suficientes para obtermos a densidade do álcool.
- b) a densidade do álcool vale $1,5 \text{ g/cm}^3$.
- c) a densidade do álcool vale $0,50 \text{ g/cm}^3$.
- d) a densidade do álcool vale $0,75 \text{ g/cm}^3$.
- e) a densidade do álcool vale $1,0 \text{ g/cm}^3$.

16. (OBF 2006) “R”, “S” e “T” são três bolas maciças que apresentam um mesmo volume mas são compostas, cada uma, com um material distinto das demais. Imersas totalmente em água, percebe-se que a bola “R” sempre sobe, “S” sempre afunda e “T” é capaz de permanecer em repouso quando submersa. Tomando como referência essas informações, indique as proposições verdadeiras:

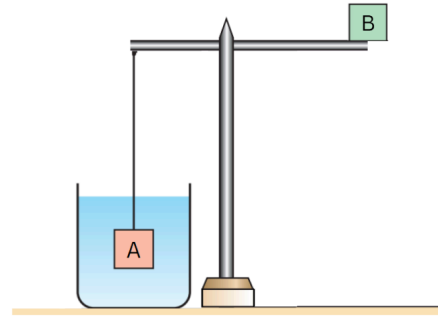
I - Dentre as três, o empuxo maior acontece sobre a bola “R”.

II - A bola “S” apresenta o maior peso porém o menor empuxo dentre as bolas do experimento.

III - A densidade da bola “T” é igual à densidade da água.

- a) I e III apenas
- b) I e II apenas
- c) I apenas
- d) II apenas
- e) III apenas

17. (Tiago) Um bloco A de massa m_A e densidade ρ_A é suspenso por uma barra homogênea de massa M , apoiada em uma haste fixa no chão. O bloco A está completamente imerso em um líquido de densidade ρ_f . Para equilibrar a barra na horizontal, é necessário colocar um bloco B de massa m_B na extremidade direita da barra, distante $3d/2$ do ponto fixo, onde d é a distância do bloco A até esse mesmo ponto. Determine m_B em função das variáveis fornecidas.

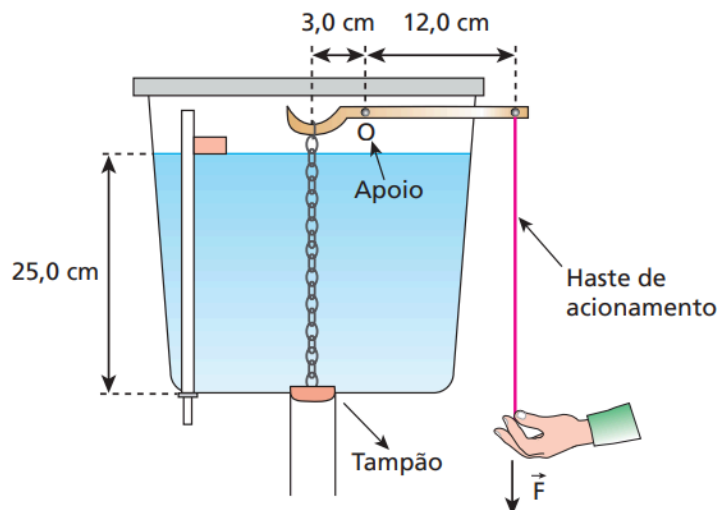


18. (OBF) Uma bola homogênea de densidade igual a $2/3$ da densidade da água é solta de uma altura $h = 10 \text{ m}$ acima do nível da água de uma piscina bem profunda. Despreze o efeito do ar e adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

a) Qual a profundidade máxima que a bola atinge em relação à superfície da água? Despreze quaisquer efeitos de turbulência que poderão ocorrer durante o movimento. Considere que a força que a água aplica na bola seja apenas o empuxo de Arquimedes, isto é, despreze a força de resistência viscosa. Não considere perdas de energia mecânica na colisão da bola com a água.

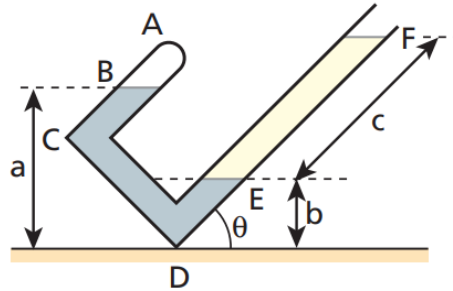
b) Qual é o tempo gasto pela bola durante a sua primeira permanência dentro da água?

19. (OBF) A superfície livre da água em uma caixa de descarga residencial está a uma altura de $25,0 \text{ cm}$ de sua base, onde existe um orifício de diâmetro $4,0 \text{ cm}$ para a saída da água. Um tampão de massa desprezível fecha o orifício, devido à ação das forças de pressão exercidas pela água. A descarga é disparada por meio de uma alavanca, também de massa desprezível, com apoio O a $3,0 \text{ cm}$ da vertical sobre o tampão e a $12,0 \text{ cm}$ da haste de acionamento. Um esboço da caixa está na figura a seguir.



A densidade da água vale $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ e a aceleração da gravidade tem módulo $g = 10 \text{ m/s}^2$. Adotando-se $\pi = 3$, responda: Qual a intensidade da força vertical F necessária para liberar o tampão?

20. (Tópicos) Um tubo de vidro, com uma extremidade fechada, A, e outra aberta, conforme a figura, apoia-se em D sobre um plano horizontal. O trecho AB do tubo contém ar, o trecho BCDE contém mercúrio e o trecho EF contém um líquido que não se mistura nem se combina com o mercúrio. Verifica-se que, girando o tubo em torno do ponto D num plano vertical, a pressão do trecho AB se torna igual à pressão atmosférica reinante, quando $\theta = 30^\circ$. Nessa posição, tem-se $a = 10$ cm, $b = 8$ cm e $c = 45$ cm. Sendo a densidade absoluta do mercúrio igual a $13,5$ g/cm³, calcule a densidade do líquido contido no trecho EF do tubo.



21. (Fuvest) Imagine que, no final deste século XXI, habitantes da Lua vivam em um grande complexo pressurizado, em condições equivalentes às da Terra, tendo como única diferença a aceleração da gravidade, que é menos intensa na Lua. Considere as situações imaginadas bem como as possíveis descrições de seus resultados, se realizadas dentro desse complexo, na Lua:

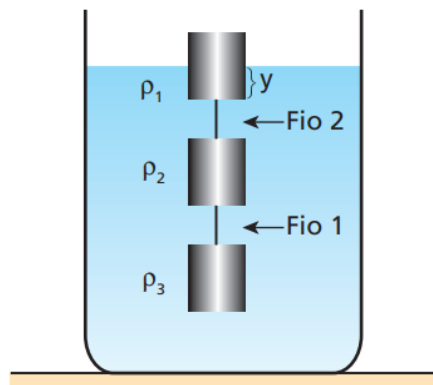
- I. Ao saltar, atinge-se uma altura maior que quando o salto é realizado na Terra.
- II. Se uma bola está boiando em uma piscina, essa bola manterá maior volume fora da água que quando o experimento é realizado na Terra.
- III. Em pista horizontal, um carro, com velocidade v_0 , consegue parar completamente em uma distância maior que quando o carro é freado na Terra.

Assim, pode-se afirmar que estão corretos apenas os resultados propostos em:

- a) I.
- b) I e II.
- c) I e III.
- d) II e III.
- e) I, II e III.

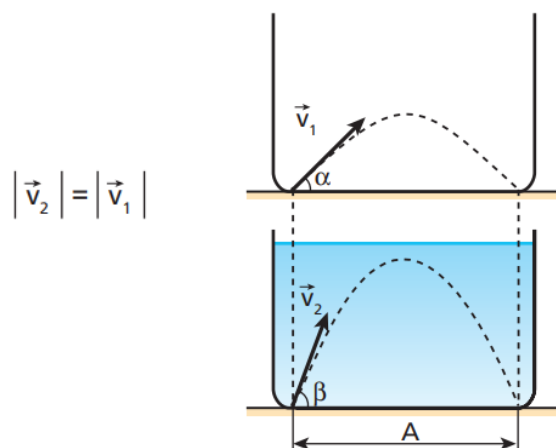
22. (Tópicos) Um barqueiro dispõe de uma chata que permite o transporte fluvial de cargas até 10000 N. Ele aceitou um trabalho de transporte de um lote de 50 barras maciças de ferro (10 g/cm³) de 200 N cada. Por um erro de contagem, a firma enviou 51 barras. Não querendo perder o freguês, mas também procurando não ter prejuízo com duas viagens, o barqueiro resolveu amarrar certo número n de barras embaixo do barco, completamente submersas. Qual deve ser o número n mínimo para que a travessia das 51 barras seja feita numa só viagem? Densidade da água: $1,0$ g/cm³.

23. (Olimpíada Brasileira de Física) Três cilindros de mesma área da base A e altura h têm densidades $\rho_1 = 0,3\rho$, $\rho_2 = 1,1\rho$ e $\rho_3 = 1,2\rho$, em que ρ é a densidade da água. Esses três objetos estão ligados entre si por fios de massas desprezíveis e estão em equilíbrio num reservatório com água, como representado na figura abaixo.



Calcule as intensidades das trações nos fios 1 e 2 e o comprimento y da parte submersa do cilindro de densidade ρ_1 . A aceleração da gravidade tem módulo g .

24. (Tópicos) Um projétil de densidade ρ_p é lançado com um ângulo α em relação à horizontal no interior de um recipiente vazio. A seguir, o recipiente é preenchido com um superfluido de densidade ρ_s , e o mesmo projétil é novamente lançado dentro dele, só que sob um ângulo β em relação à horizontal. Observa-se, então, que, para uma velocidade inicial v do projétil, de mesmo módulo que a do experimento anterior, não se altera seu alcance horizontal A . Veja as figuras abaixo.



Sabendo-se que são nulas as forças de atrito num superfluido, pode-se então afirmar, com relação ao ângulo β de lançamento do projétil, que:

- a) $\sin \beta = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_p}\right) \sin \alpha$ c) $\sin 2\beta = \left(1 + \frac{\rho_s}{\rho_p}\right) \sin 2\alpha$
 b) $\sin 2\beta = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_p}\right) \sin 2\alpha$ d) $\cos \beta = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_p}\right) \cos \alpha$

A.8. Hidrodinâmica - Teoria

Vazão

$$Z = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

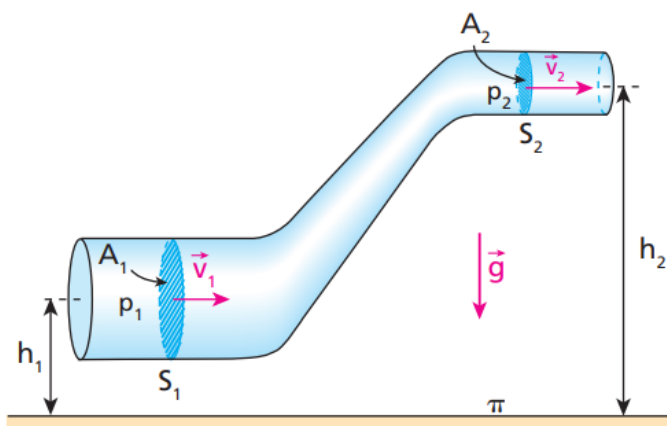
$Z = Av$, onde A é a área do fluxo e v a velocidade do fluxo.

Equação da continuidade

Quando a vazão é constante, podemos dizer que quanto menor a área, maior a velocidade, e vice-versa.

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

Equação de Bernoulli



$$p_1 + \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 + \rho_1 g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 + \rho_2 g h_2$$

A.8. Hidrodinâmica - Questões

1. (Tópicos) Uma mangueira tem em sua extremidade um esguicho de boca circular cujo diâmetro pode ser ajustado. Admita que essa mangueira, operando com vazão constante, consiga encher um balde de 30 L em 2 min 30s.

a) Se a área da boca do esguicho for ajustada em $1,0 \text{ cm}^2$, com que velocidade a água sairá da mangueira?

b) Reduzindo-se o diâmetro da boca do esguicho à metade, com que velocidade a água sairá da mangueira nessa nova situação?

2. (UFJF) Um fazendeiro decide medir a vazão de um riacho que passa em sua propriedade e, para isso, escolhe um trecho retilíneo de 30,0 m de canal. Ele observa que objetos flutuantes gastam em média 60,0 s para percorrer esse trecho. No mesmo lugar, observa que a profundidade média é de 0,30 m e a largura média, 1,50 m. A vazão do riacho, em litros de água por segundo, é:

a) 1,35

b) 3,65

c) 225

d) 365

e) 450

3. (ITA) Durante uma tempestade, Maria fecha as janelas do seu apartamento e ouve o zumbido do vento lá fora. Subitamente o vidro de uma janela se quebra. Considerando-se que o vidro tenha soprado tangencialmente à janela, o acidente pode ser mais bem explicado pelo(a):

a) princípio de conservação da massa.

b) princípio de Bernoulli.

c) princípio de Arquimedes.

d) princípio de Pascal.

e) princípio de Stevin.

4. (Tópicos) O ar de um furacão sopra sobre o telhado de uma casa com velocidade de módulo igual a 108 km/h. A densidade do ar vale $1,2 \text{ kg/m}^3$. A diferença entre a pressão do lado interno e do lado externo do telhado vale:

a) zero

b) 500 Pa

c) 520 Pa

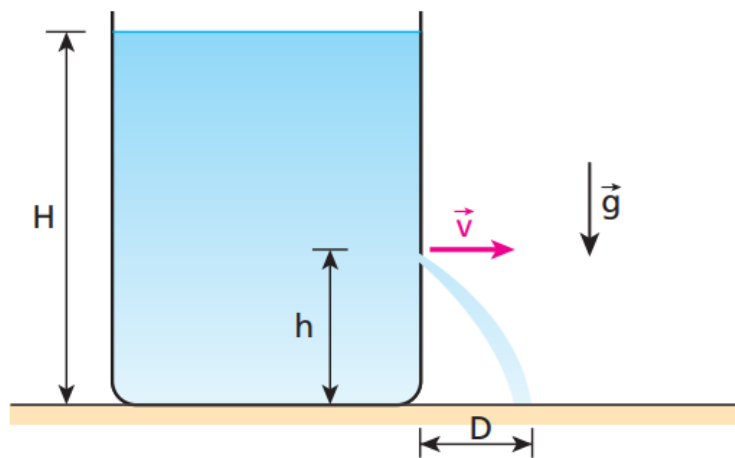
d) 540 Pa

e) 560 Pa

5. (Tópicos) O aneurisma é uma dilatação anormal verificada em um trecho de uma artéria pela distensão parcial de suas paredes. Essa patologia, de origem congênita ou adquirida, pode provocar o rompimento do duto sanguíneo com escape de sangue, o que em muitos casos é fatal. Trata-se do que popularmente se denomina derrame. Admita que uma pessoa tenha um aneurisma de aorta, de modo que a área da secção reta de sua artéria dobre. Considere o sangue um fluido ideal, de massa específica $1,2 \text{ g/cm}^3$, escoando inicialmente com velocidade 20 cm/s . Devido ao aneurisma, qual a variação da pressão estática do sangue no local da lesão, expressa em unidades do SI?

6. (ITA) Considere uma tubulação de água que consiste de um tubo de $2,0 \text{ cm}$ de diâmetro por onde a água entra com velocidade de módulo $2,0 \text{ m/s}$ sob uma pressão de $5,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Outro tubo de $1,0 \text{ cm}$ de diâmetro encontra-se a $5,0 \text{ m}$ de altura, conectado ao tubo de entrada. Considerando-se a densidade da água igual $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ e desprezando-se as perdas, calcule a pressão da água no tubo de saída. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

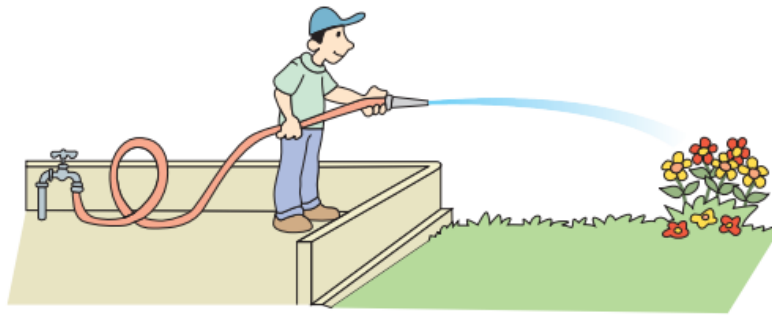
7. (Tópicos) Na figura a seguir está esquematizado um grande tanque aberto cheio de água até uma altura H apoiado sobre uma superfície horizontal.



Faz-se um pequeno furo na parede lateral do reservatório, a uma altura h em relação à sua base, por onde jorra um filete d'água com velocidade horizontal de intensidade v . No local, a resistência do ar é desprezível e a aceleração da gravidade tem módulo igual a g . Sendo D o alcance horizontal da água, determine em função de H , h e g :

- o valor de v ;
- o valor de D .
- o valor máximo de D .

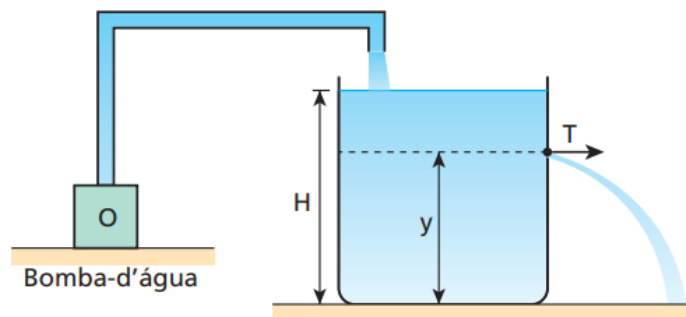
8. (Unirio) Um menino deve regar o jardim de sua mãe e pretende fazer isso da varanda de sua residência, segurando uma mangueira na posição horizontal, conforme a figura abaixo.



Durante toda a tarefa, a altura da mangueira, em relação ao jardim, permanecerá constante. Inicialmente, a vazão de água, que pode ser definida como o volume de água que atravessa a área transversal da mangueira na unidade de tempo, é ϕ_0 . Para que a água da mangueira atinja a planta mais distante no jardim, ele percebe que o alcance inicial deve ser quadruplicado. A mangueira tem em sua extremidade um dispositivo com orifício circular de raio variável. Para que consiga molhar todas as plantas do jardim sem molhar o resto do terreno, ele deve:

- reduzir o raio do orifício em 50% e quadruplicar a vazão de água.
- manter a vazão constante e diminuir a área do orifício em 50%.
- manter a vazão constante e diminuir o raio do orifício em 50%.
- manter constante a área do orifício e dobrar a vazão de água.
- reduzir o raio do orifício em 50% e dobrar a vazão de água.

9. (Unirio) Uma bomba-d'água enche o reservatório representado na figura a seguir até a altura H . Assim que a água atinge esse nível, a tampa T de um escoadouro é aberta. A tampa está a uma altura y do fundo do reservatório e sua vazão é igual à da bomba, que permanece ligada o tempo todo. Sabendo que a água sai horizontalmente pela tampa, determine a expressão para o alcance máximo, $A_{\text{máx}}$, atingido pela água e a altura y do escoadouro. (Despreze os atritos.)



- | | |
|---|---|
| a) $A_{\text{máx}} = 2 \sqrt{y(H - y)}$; $y = \frac{H}{2}$ | c) $A_{\text{máx}} = 2 \sqrt{y(H - y)}$; $y = \frac{H}{3}$ |
| b) $A_{\text{máx}} = 2 \sqrt{y(H - y)}$; $y = \frac{H}{4}$ | d) $A_{\text{máx}} = 2 \sqrt{y(H - y)}$; $y = \frac{H}{6}$ |

B. Termologia

B.1. Temperatura - Teoria

Definições

Calor: energia térmica em trânsito.

Temperatura: grandeza que mede o grau de agitação das moléculas de um sistema.

Equilíbrio Térmico: dois corpos estão em equilíbrio térmico se suas temperaturas são iguais.

Escala Fahrenheit

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9}$$

Escala Kelvin

$$T(K) = \theta(^{\circ}C) + 273$$

B.1. Temperatura - Questões

1. (Tópicos) Um professor de Física inventou uma escala termométrica que chamou de escala X. Comparando-a com a escala Celsius, ele observou que $-4\text{ }^\circ\text{X}$ correspondiam a $20\text{ }^\circ\text{C}$, e $44\text{ }^\circ\text{X}$ equivaliam a $80\text{ }^\circ\text{C}$. Que valores essa escala X assinalaria para os pontos fixos fundamentais?

2. (Unaerp) Durante um passeio em outro país, um médico, percebendo que seu filho está “quente”, utiliza um termômetro com escala Fahrenheit para medir sua temperatura. O termômetro, após o equilíbrio térmico, registra $98,6\text{ }^\circ\text{F}$. O médico, então:

a) deve correr urgente para o hospital mais próximo, o garoto está mal, $49,3\text{ }^\circ\text{C}$.

b) não se preocupa, ele está com $37\text{ }^\circ\text{C}$, manda o garoto brincar e mais tarde mede novamente sua temperatura.

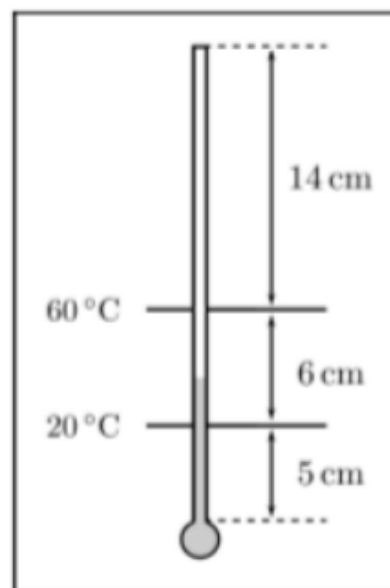
c) fica preocupado, ele está com $40\text{ }^\circ\text{C}$, então lhe dá para ingerir uns quatro comprimidos de antitérmico.

d) faz os cálculos e descobre que o garoto está com $32,8\text{ }^\circ\text{C}$.

e) fica preocupado, ele está com $39\text{ }^\circ\text{C}$, dá um antitérmico ao garoto e o coloca na cama sob cobertores.

3. (Tópicos) Um termômetro foi graduado, em graus Celsius, incorretamente. Ele assinala $1\text{ }^\circ\text{C}$ para o gelo em fusão e $97\text{ }^\circ\text{C}$ para a água em ebulição, sob pressão normal. Qual a única temperatura que esse termômetro assinala corretamente, em graus Celsius?

4. (OBF) Em um laboratório didático, uma estudante deve fazer as marcas para a escala linear de um termômetro de mercúrio. O equipamento foi fabricado encerrando-se uma certa quantidade de mercúrio em um recipiente de vidro, de coeficiente de dilatação desprezível, de paredes muito nas e inicialmente vazio (vácuo). A figura abaixo ilustra esquematicamente o recipiente, que é formado por um bulbo esférico ligado a um tubo cilíndrico muito fino (capilar). Ele está acoplado a uma placa fixa sobre a qual devem ser feitas as marcas da escala. Para efeitos de calibração, o equipamento vem com duas marcas já feitas e que correspondem às temperaturas de $20\text{ }^\circ\text{C}$ e $60\text{ }^\circ\text{C}$. A tarefa da estudante é acrescentar duas outras marcas T_m e T_M que devem corresponder, respectivamente, às mínima e máxima temperaturas que esse equipamento pode medir. Considerando ainda que as marcas devem ser feitas para valores inteiros de temperatura na escala Celsius, quais os valores de T_m e T_M que a estudante deve acrescentar à escala?



5. (UEPB) Em 1851, o matemático e físico escocês William Thomson, que viveu entre 1824 e 1907, mais tarde possuidor do título de Lorde Kelvin, propôs a escala absoluta de temperatura, atualmente conhecida como escala Kelvin de temperatura (K). Utilizando-se das informações contidas no texto, indique a alternativa correta:

- a) Com o avanço da tecnologia, atualmente, é possível obter a temperatura de zero absoluto.
- b) Os valores dessa escala estão relacionados com os da escala Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), por meio da expressão $K = ^{\circ}\text{F} + 273$.
- c) A partir de 1954, adotou-se como padrão o ponto tríplice da água, temperatura em que a água coexiste nos três estados – sólido, líquido e vapor. Isso ocorre à temperatura de $0,01^{\circ}\text{F}$ ou $273,16\text{ K}$, por definição, e à pressão de 610 Pa ($4,58\text{ mm Hg}$).
- d) Kelvin é a unidade de temperatura comumente utilizada nos termômetros brasileiros.
- e) Kelvin considerou que a energia de movimento das moléculas dos gases atingiria um valor mínimo de temperatura, ao qual ele chamou zero absoluto.

6. (Unirio) Em uma certa escala termométrica A, os pontos de fusão do gelo e de ebulição da água ao nível do mar são, respectivamente, 30° e 210° . Em outra escala termométrica B, os pontos de fusão do gelo e de ebulição da água ao nível do mar são, respectivamente, -10° e 230° , como mostra a figura abaixo. Há uma temperatura que é representada em ambas as escalas pelo mesmo número. Sabendo-se que a temperatura de um corpo está entre os pontos de fusão do gelo e de ebulição da água ao nível do mar a probabilidade de que sua temperatura seja maior do que x vale:

- a) $2/5$
- b) $3/4$
- c) $1/4$
- d) $2/3$
- e) $1/3$

7. O que é maior, um aumento de temperatura de 1°C ou um de 1°F ?

B.2. O calor e sua propagação - Teoria

Processos de propagação de calor

Condução: processo no qual a energia térmica passa de partícula para partícula de um meio.

Convecção: processo no qual a energia térmica muda de local, acompanhando o deslocamento do próprio material aquecido.

Irradiação: processo de propagação de energia na forma de ondas eletromagnéticas. Ao serem absorvidas, essas ondas se transformam em energia térmica.

Lei de Fourier

Cálculo do fluxo de calor:

$$\Phi = \frac{kA\Delta T}{l}$$

onde Φ é medido em cal/s (ou J/s), e k é o coeficiente de condutibilidade térmica.

Corpos em regime estacionário têm o fluxo de calor constante em todos os pontos.

Potência de emissão de radiação

$$P = \sigma eAT^4$$

onde P é a potência de emissão de ondas, σ é a constante de Stefan-Boltzmann, e é a eficácia da emissão (no corpo ideal ou corpo negro, $e = 1$), A é a área superficial de emissão do corpo e T é a temperatura do corpo (em Kelvin).

B.2. O calor e sua propagação - Questões

1. Em um dia frio, por que uma maçaneta de metal parece mais fria do que outra de madeira?
2. Se você se sente confortável no ar a 20°C , por que a água a 20°C lhe parece tão fria quando você está nadando nela?
3. Ventiladores de teto fazem você se sentir mais frio em uma sala quente. Eles reduzem a temperatura da sala?
4. Se todos os objetos irradiam energia, então por que não conseguimos enxergá-los no escuro?
5. Se você segura a extremidade de uma agulha metálica contra um pedaço de gelo, a extremidade que está em sua mão logo se tornará fria. O frio fluiu do gelo para sua mão? Explique.
6. (Tópicos) Imagine dois corpos A e B com temperaturas T_A e T_B , sendo $T_A > T_B$. Quando colocamos esses corpos em contato térmico, podemos afirmar que ocorre o seguinte fato:
 - a) Os corpos se repelem.
 - b) O calor flui do corpo A para o corpo B por tempo indeterminado.
 - c) O calor flui do corpo B para o corpo A por tempo indeterminado.
 - d) O calor flui de A para B até que ambos atinjam a mesma temperatura.
 - e) Não acontece nada.
7. (Tópicos) No café da manhã, uma colher metálica é colocada no interior de uma caneca que contém leite bem quente. A respeito desse acontecimento, são feitas três afirmativas.
 - I. Após atingirem o equilíbrio térmico, a colher e o leite estão a uma mesma temperatura.
 - II. Após o equilíbrio térmico, a colher e o leite passam a conter quantidades iguais de energia térmica.
 - III. Após o equilíbrio térmico, cessa o fluxo de calor que existia do leite (mais quente) para a colher (mais fria).Podemos afirmar que:
 - a) somente a afirmativa I é correta;
 - b) somente a afirmativa II é correta;
 - c) somente a afirmativa III é correta;
 - d) as afirmativas I e III são corretas;
 - e) as afirmativas II e III são corretas.

8. (OBF 2018) As situações que se seguem descrevem processos diferentes de aquecimento e que sugerem explicações científicas a partir do que aprendemos nas aulas de física, Vejamos:
Situação I: Esfregar uma mão na outra aquece as duas;
Situação II: Uma batata colocada dentro de uma panela de água fervente se aquece;
Situação III: Uma resistência elétrica aquece a água que passa pelo chuveiro elétrico;
Situação IV: A temperatura da água colocada dentro de uma garrafa térmica é aumentada quando a garrafa é agitada vigorosamente.

As situações em que ocorre passagem de calor de um corpo para o outro são:

- a) I, II, III e IV;
- b) I, II e IV;
- c) II e III;
- d) I e IV;
- e) II, III e IV

9. (Tópicos) Analise as proposições e indique a verdadeira.

- a) Calor e energia térmica são a mesma coisa, podendo sempre ser usados tanto um termo como o outro, indiferentemente.
- b) Dois corpos estão em equilíbrio térmico quando possuem quantidades iguais de energia térmica.
- c) O calor sempre flui da região de menor temperatura para a de maior temperatura.
- d) Calor é energia térmica em trânsito, fluindo espontaneamente da região de maior temperatura para a de menor temperatura.
- e) Um corpo somente possui temperatura maior que a de um outro quando sua quantidade de energia térmica também é maior que a do outro.

10. (Tópicos) Numa noite muito fria, você ficou na sala assistindo à televisão. Após algum tempo, foi para a cama e deitou-se debaixo das cobertas (lençol, cobertor e edredom). Você nota que a cama está muito fria, apesar das cobertas, e só depois de algum tempo o local se torna aquecido. Isso ocorre porque:

- a) o cobertor e o edredom impedem a entrada do frio que se encontra no meio externo;
- b) o cobertor e o edredom possuem alta condutividade térmica;
- c) o cobertor e o edredom possuem calor entre suas fibras, que, ao ser liberado, aquece a cama;
- d) o cobertor e o edredom não são aquecedores, são isolantes térmicos, que não deixam o calor liberado por seu corpo sair para o meio externo;
- e) sendo o corpo humano um bom absorvedor de frio, após algum tempo não há mais frio debaixo das cobertas.

11. Enrole um casaco de pele ao redor de um termômetro. A temperatura se eleva? Explique.

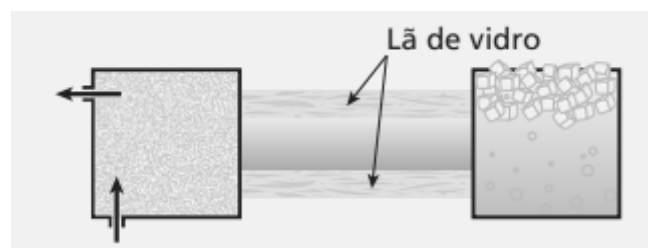
12. (Tópicos) Uma garrafa e uma lata de refrigerante permanecem durante vários dias em uma geladeira. Quando pegamos a garrafa e a lata com as mãos desprotegidas para retirá-las da geladeira, temos a impressão de que a lata está mais fria do que a garrafa. Isso é explicado pelo fato de:

- a) a temperatura do refrigerante na lata ser diferente da temperatura do refrigerante na garrafa;
- b) a capacidade térmica do refrigerante na lata ser diferente da capacidade térmica do refrigerante na garrafa;
- c) o calor específico dos dois recipientes ser diferente;
- d) o coeficiente de dilatação térmica dos dois recipientes ser diferente;
- e) a condutividade térmica dos dois recipientes ser diferente.

13. (UFSC) Identifique a(s) proposição(ões) verdadeira(s):

- (01) Um balde de isopor mantém o refrigerante gelado porque impede a saída do frio.
- (02) A temperatura de uma escova de dentes é maior que a temperatura da água da pia; mergulhando-se a escova na água, ocorrerá uma transferência de calor da escova para a água.
- (04) Se tivermos a sensação de frio ao tocar um objeto com a mão, isso significa que esse objeto está a uma temperatura inferior à nossa.
- (08) Um copo de refrigerante gelado, pousado sobre uma mesa, num típico dia de verão, recebe calor do meio ambiente até ser atingido o equilíbrio térmico.
- (16) O agasalho, que usamos em dias frios para nos mantermos aquecidos, é um bom condutor de calor.
- (32) Os esquimós, para se proteger do frio intenso, constroem abrigos de gelo porque o gelo é um isolante térmico. Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

14. (Tópicos) Uma barra de alumínio de 50 cm de comprimento e área de secção transversal de 5 cm^2 tem uma de suas extremidades em contato térmico com uma câmara de vapor de água em ebulição ($100 \text{ }^\circ\text{C}$).

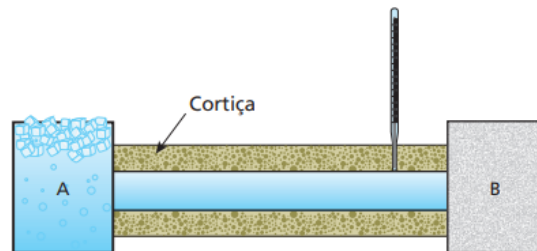


A outra extremidade está imersa em uma cuba que contém uma mistura bifásica de gelo fundente ($0 \text{ }^\circ\text{C}$). A pressão atmosférica local é normal. Sabendo que o coeficiente de condutibilidade térmica do alumínio vale $0,5 \text{ cal/s cm }^\circ\text{C}$, calcule:

- a) a intensidade da corrente térmica através da barra, depois de estabelecido o regime permanente;
- b) a temperatura numa secção transversal da barra, situada a 40 cm da extremidade mais quente.

15. (Unama) A figura a seguir apresenta uma barra de chumbo de comprimento 40 cm e área de secção transversal 10 cm^2 isolada com cortiça; um termômetro fixo na barra calibrado na escala Fahrenheit, e dois dispositivos A e B que proporcionam, nas extremidades da barra, as temperaturas correspondentes aos pontos do vapor e do gelo, sob pressão normal, respectivamente. Considerando a intensidade da corrente térmica constante ao longo da barra, determine a temperatura registrada no termômetro, sabendo que ele se encontra a 32 cm do dispositivo A.

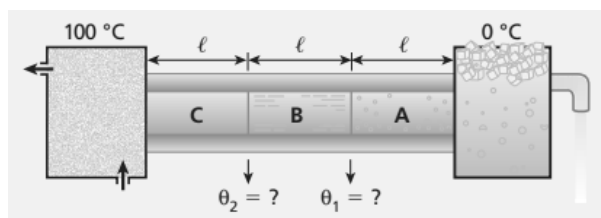
Dado: coeficiente de condutibilidade térmica do chumbo = $8,2 \cdot 10^{-2} \text{ cal cm/cm}^2\text{ }^\circ\text{C s}$



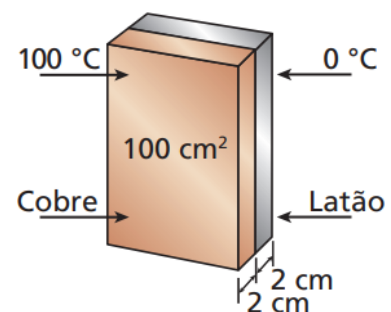
16. (Tópicos) Três barras cilíndricas idênticas em comprimento e secção são ligadas formando uma única barra, cujas extremidades são mantidas a $0 \text{ }^\circ\text{C}$ e $100 \text{ }^\circ\text{C}$. A partir da extremidade mais fria, as condutibilidades térmicas dos materiais das barras valem:

$$(0,20), (0,50) \text{ e } (1,0) \frac{\text{kcal m}}{\text{h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Supondo que em volta das barras exista um isolamento de vidro e desprezando quaisquer perdas de calor, calcule a temperatura nas junções onde uma barra é ligada à outra.



17. (Tópicos) A condutividade térmica do cobre é aproximadamente quatro vezes maior que a do latão. Duas placas, uma de cobre e outra de latão, com 100 cm^2 de área e 2,0 cm de espessura, são justapostas como ilustra a figura dada ao lado. Considerando-se que as faces externas do conjunto sejam mantidas a $0 \text{ }^\circ\text{C}$ e $100 \text{ }^\circ\text{C}$, qual será a temperatura na interface da separação das placas quando for atingido o regime estacionário?

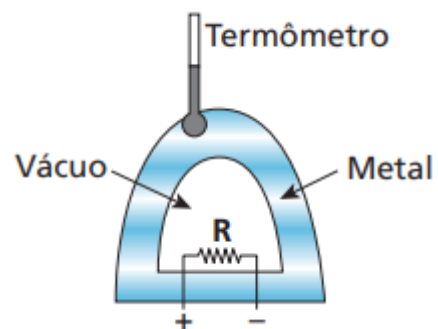


18. (Tópicos) Usando os seus conhecimentos de transmissão de calor, analise as proposições e indique a que você acha correta.

- a) A condução térmica é a propagação do calor de uma região para outra com deslocamento do material aquecido.
- b) A convecção térmica é a propagação de calor que pode ocorrer em qualquer meio, inclusive no vácuo.
- c) A radiação térmica é a propagação de energia por meio de ondas eletromagnéticas e ocorre exclusivamente nos fluidos.
- d) A transmissão do calor, qualquer que seja o processo, sempre ocorre, naturalmente, de um ambiente de maior temperatura para outro de menor temperatura.
- e) As correntes ascendentes e descendentes na convecção térmica de um fluido são motivadas pela igualdade de suas densidades.

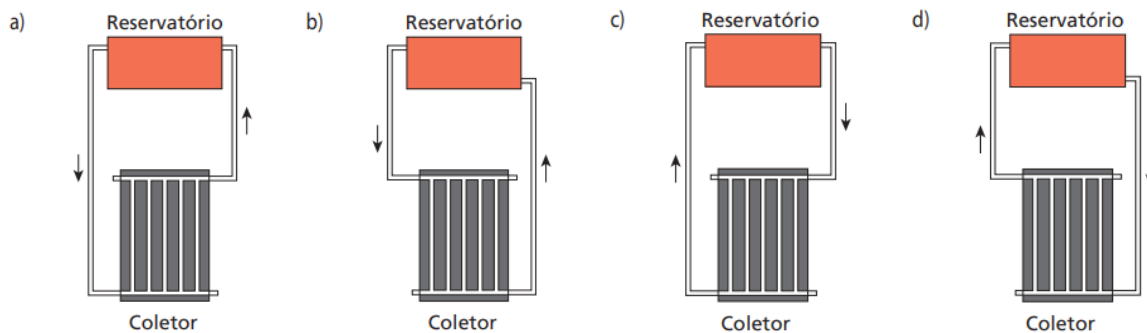
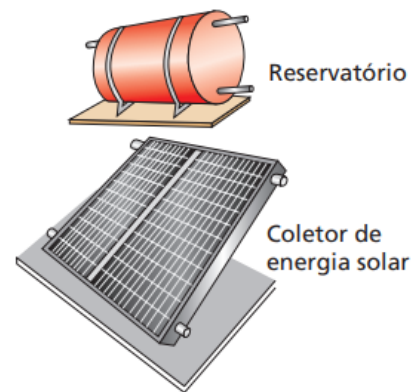
19. (UFRN) Matilde é uma estudante de Arquitetura que vai fazer o seu primeiro projeto: um prédio a ser construído em Natal (RN). Ela precisa prever a localização de um aparelho de ar-condicionado para uma sala e, por ter estudado pouco Termodinâmica, está em dúvida se deve colocar o aparelho próximo do teto ou do piso. Ajude Matilde, dando-lhe uma sugestão sobre a escolha que ela deve fazer nesse caso. (Justifique a sua sugestão.)

20. (UFV) Um resistor R é colocado dentro de um recipiente de parede metálica – no qual é feito vácuo – que possui um termômetro incrustado em sua parede externa. Para ligar o resistor a uma fonte externa ao recipiente, foi utilizado um fio, com isolamento térmico, que impede a transferência de calor para as paredes do recipiente. Essa situação encontra-se ilustrada na figura acima. Ligando o resistor, nota-se que a temperatura indicada pelo termômetro aumenta, mostrando que há transferência de calor entre o resistor e o termômetro. Pode-se afirmar que os processos responsáveis por essa transferência de calor, na ordem correta, são:



- a) primeiro convecção e depois radiação.
- b) primeiro convecção e depois condução.
- c) primeiro radiação e depois convecção.
- d) primeiro radiação e depois condução.
- e) primeiro condução e depois convecção.

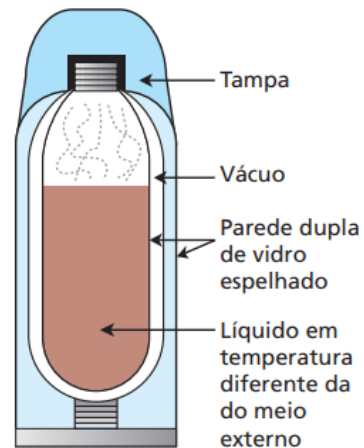
21. (UFMG) Atualmente, a energia solar está sendo muito utilizada em sistemas de aquecimento de água. Nesses sistemas, a água circula entre um reservatório e um coletor de energia solar. Para o perfeito funcionamento desses sistemas, o reservatório deve estar em um nível superior ao do coletor, como mostrado nesta figura: No coletor, a água circula através de dois canos horizontais ligados por vários canos verticais. A água fria sai do reservatório, entra no coletor, onde é aquecida, e retorna ao reservatório por convecção. Nas quatro alternativas, estão representadas algumas formas de se conectar o reservatório ao coletor. As setas indicam o sentido de circulação da água. Indique a alternativa em que estão corretamente representados o sentido da circulação da água e a forma mais eficiente para se aquecer toda a água do reservatório.



22. (UFRN) O efeito estufa, processo natural de aquecimento da atmosfera, é essencial para a existência de vida na Terra. Em tal processo, uma parcela de radiação solar refletida e da radiação térmica emitida pela superfície terrestre interage com determinados gases presentes na atmosfera, aquecendo-a. O principal mecanismo físico responsável pelo aquecimento da atmosfera devido à ação do efeito estufa resulta da

- absorção, por certos gases da atmosfera, de parte da radiação ultravioleta recebida pela Terra.
- reflexão, por certos gases da atmosfera, da radiação visível emitida pela Terra.
- absorção, por certos gases da atmosfera, de parte da radiação infravermelha proveniente da superfície da Terra.
- reflexão, por certos gases da atmosfera, de parte da radiação de micro-ondas recebida pela Terra.
- refração das radiações infravermelhas e ultravioletas na atmosfera terrestre.

23. (Tópicos) Ao contrário do que se pensa, a garrafa térmica não foi criada originalmente para manter o café quente. Esse recipiente foi inventado pelo físico e químico britânico James Dewar (1842–1923) para conservar substâncias biológicas em bom estado, mantendo-as a temperaturas estáveis. Usando a observação do físico italiano Evangelista Torricelli (1608– 1647), que descobriu ser o vácuo um bom isolante térmico, Dewar criou uma garrafa de paredes duplas de vidro que, ao ser lacrada, mantinha vácuo entre elas. Para retardar ainda mais a alteração de temperatura no interior da garrafa, ele espelhou as paredes, tanto nas faces externas como nas faces internas. Dewar nunca patenteou sua invenção, que considerava um presente à Ciência. Coube ao alemão Reinhold Burger, um fabricante de vidros, diminuir o seu tamanho, lançando-a no mercado em 1903. A respeito do texto acima, indique a alternativa correta.



- Na garrafa térmica, o vácuo existente entre as paredes duplas de vidro tem a finalidade de evitar trocas de calor por convecção.
- As paredes espelhadas devem evitar que as ondas de calor saiam ou entrem por condução.
- Apesar de o texto não se referir ao fato de que a garrafa deve permanecer bem fechada, isso deve ocorrer para evitar perdas de calor por convecção.
- O vácuo existente no interior das paredes duplas de vidro vai evitar perdas de calor por radiação.
- As paredes espelhadas não têm função nas trocas de calor; foram apenas uma tentativa de tornar o produto mais agradável às pessoas que pretendessem comprá-lo.

24. (Uepa) O efeito estufa é um fenômeno natural, característico de planetas onde existe atmosfera. Ele acontece na atmosfera da Terra e também na de Vênus, onde o efeito é muito acentuado e a temperatura alcança valores de cerca de 460 °C. Embora importante para a manutenção da vida no planeta, hoje é uma preocupação para muitos ambientalistas e cientistas. Com base em seus conhecimentos sobre o efeito estufa, analise as seguintes afirmativas:

- Existem materiais, como o vidro, que permitem a passagem de luz, mas dificultam a passagem de radiação térmica. Numa estufa com cobertura de vidro, por exemplo, parte da luz que entra é absorvida pelas plantas. Estas, sendo aquecidas, emitem radiação infravermelha, que tem dificuldade para atravessar o vidro e aquece o interior da estufa. Esse efeito é semelhante ao que acontece na atmosfera da Terra, daí o nome “efeito estufa”.
- O efeito estufa é importante porque retém o calor na Terra, possibilitando a vida de animais e vegetais. Sua intensificação é que é danosa, ocasionando o aumento da temperatura do planeta. Como consequência disso, dentre outras ocorrências, parte da ilha do Marajó poderá ser inundada e os furacões no Caribe poderão ser mais frequentes e devastadores.
- No efeito estufa, a radiação solar atravessa a atmosfera, parte é absorvida pela Terra e parte é refletida. Uma parcela da radiação absorvida é reemitida na forma de raios ultravioleta (ondas de calor), que têm pequeno comprimento de onda e dos quais uma pequena parte é

absorvida, principalmente pelo gás carbônico, vapor de água e metano, nas altas camadas atmosféricas, criando um manto quente na superfície da Terra.

IV. Na Lua, não há ocorrência de efeito estufa em virtude de não existir atmosfera. Isso é uma das causas de as temperaturas no nosso satélite variarem entre 2150 °C durante a noite e 100 °C durante o dia. Estão corretas somente as afirmativas:

- a) I, II e IV.
- b) I, II e III.
- c) I, III e IV.
- d) I e II.
- e) II e IV.

25. (Tópicos) Numa sauna, para separar a sala de banho do escritório, usou-se uma parede de tijolos com 12 cm de espessura. A parede foi revestida do lado mais quente com uma camada de madeira com 6 cm de espessura e, do lado mais frio, com uma camada de cortiça com 3 cm de espessura. A temperatura da sauna é mantida a 70 °C, enquanto a do ambiente do escritório, a 20 °C. Determine as temperaturas nos pontos de separação madeira/tijolo e tijolo/cortiça, após ser estabelecido o regime permanente.

Dados: $k_{\text{madeira}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ cal/s cm } ^\circ\text{C};$

$$k_{\text{tijolo}} = 15 \cdot 10^{-4} \text{ cal/s cm } ^\circ\text{C};$$

$$k_{\text{cortiça}} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ cal/s cm } ^\circ\text{C}.$$

26. (OBF 2016) Em regiões frias usam-se aquecedores para aumentar a temperatura em ambientes fechados. Para que não haja desperdício de energia, é preciso levar em conta a perda de calor através das paredes e janelas da casa. Considere, por exemplo, uma janela de vidro com 0,7 m de largura, 1,2 m de altura e 12 mm de espessura e condutividade térmica de 0,8 W/m.K. Com que potência o calor é perdido por essa janela quando a temperatura interna é 20°C e a temperatura externa é 10°C?

B.3. Calorimetria - Teoria

Calor sensível

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

onde c é o calor específico em cal/g °C, ou seja, é a quantidade de calorias necessárias para elevar em 1 °C a temperatura de 1 g de determinada substância.

Capacidade térmica

$$C_p = m \cdot c$$

Calor latente

$$Q = m \cdot L$$

onde L é o calor latente em cal/g, ou seja, é a quantidade de calor Q que uma massa m de um corpo necessita para sofrer uma mudança de estado físico.

Sistema físico termicamente isolado

A soma dos calores trocados num sistema isolado é sempre zero, isto é, a soma, em módulo, dos calores perdidos é igual a dos calores recebidos.

$$\sum Q = 0$$

Calorímetro

A mistura térmica de dois ou mais corpos, principalmente quando um deles está no estado líquido, requer um recipiente adequado. A esse tipo de recipiente damos o nome de calorímetro.

Tipos de calorímetros:

- calorímetros adiabáticos ideais: são aqueles que não participam da troca de calor e não permitem a troca de calor com meio externo;
- calorímetros adiabáticos reais: são aqueles que participam da troca de calor e não permitem a troca de calor com meio externo;
- calorímetros diatérmicos reais: participam da troca de calor e permitem trocas de calor com meio externo.

B.3. Calorimetria - Questões

1. (UFMG) Observe na figura, um ferreiro que aquece uma ferradura e a esfria, em seguida, em um balde cheio de água, à temperatura ambiente.



Quando o equilíbrio térmico é atingido, a água se aquece de poucos graus Celsius, enquanto a ferradura se resfria de algumas centenas de grau, na mesma escala de temperatura. A grandeza física que determina essa diferença de comportamento entre a água e a ferradura é:

- o peso.
 - o volume.
 - o calor específico.
 - a capacidade térmica.
2. Adicionar a mesma quantidade de calor a dois objetos diferentes não produz necessariamente o mesmo aumento da temperatura. Por que não?
3. (OBF 2017) No laboratório de química, uma aluna fez uma experiência em que colocava um bloco de gelo ($-5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) dentro de um Becker. Em seguida ela fornece calor ao sistema (Becker + gelo), utilizando-se da chama de um bico de Bunsen de potência constante. Ao longo da experiência, ela notou que o gelo começou a derreter. Tomando o termômetro ela aferiu novamente a temperatura do gelo, constatando que o gelo enquanto funde
- Recebe calor, mas sua temperatura aumenta;
 - Cede calor e sua temperatura aumenta;
 - Cede calor e sua temperatura diminui
 - Recebe calor, mas sua temperatura permanece constante;
 - Cede calor e sua temperatura permanece constante.
4. (OBF 2019) Analise as proposições a seguir relativas à termodinâmica, verificando se há ou não inadequações em seus enunciados, colocando V (adequado) e F (inadequado):
- (). Calor é sinônimo de temperatura;
 - (). Calor é energia térmica em trânsito entre dois ou mais corpos;
 - (). Sempre que um corpo quente aquece um corpo frio, suas temperaturas variam igualmente;
 - (). Calor específico é uma grandeza que indica o nível de energia das moléculas de um corpo.

5. (OBF 2020) As pessoas em algumas regiões do Brasil têm, no mês de outubro de 2020, enfrentado dias muito quentes. Em função disto, é frequente, nos meios de comunicação, ouvirmos as palavras calor, temperatura e sensação térmica em diferentes contextos. A sensação térmica, ou temperatura aparente, é a forma como os nossos corpos percebem a temperatura do ar. Esta temperatura é afetada por características ambientais que modificam a taxa com a qual nossos corpos transferem calor para o ambiente. Em uma discussão de sala de aula sobre esse assunto, três afirmativas foram feitas:

- I. As três grandezas calor, temperatura e sensação térmica são medidas na mesma unidade.
- II. A transpiração, através da evaporação do suor, é uma das formas pelas quais o corpo humano cede calor para o ambiente.
- III. Locais onde a umidade relativa do ar é maior podem produzir uma sensação térmica de temperatura mais elevada mesmo em temperaturas ambientes mais amenas.

É (são) correta(s) a(s) afirmativa(s):

- a) apenas I
- b) apenas II
- c) apenas III
- d) II e III
- e) I e III

6. (OBF 2017 - adapt.) Meu avô, cansado das panelas de barro, quer comprar uma panela que esquente rápido e uniformemente a comida. Para isso, ele procurou a sua neta, uma física que entende de Termodinâmica, que lhe aconselhou a procurar no comércio uma panela feita de um material que tenha:

- a) alto calor específico e alta condutividade térmica.
- b) alto calor específico e baixa condutividade térmica.
- c) baixo calor específico e alta condutividade térmica.
- d) baixo calor específico e baixa condutividade térmica.

7. (OBF 2020) Tem-se duas peças de mesma massa M , uma de ouro e outra de alumínio, ambas a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. O ouro possui calor específico igual a $0,03\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$, calor latente de fusão igual a 15 cal/g e ponto de fusão igual a $1060\text{ }^{\circ}\text{C}$. O alumínio possui calor específico igual a $0,2\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$, calor latente de fusão igual a 95 cal/g e ponto de fusão igual a $660\text{ }^{\circ}\text{C}$. O calor necessário para fundir totalmente a peça de ouro é o suficiente para

- a) fundir completamente a peça de alumínio e elevar a temperatura do líquido a $1064\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- b) fundir completamente a peça de alumínio sem ultrapassar a temperatura de $660\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- c) elevar a temperatura da peça de alumínio a $251\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- d) elevar a temperatura da peça de alumínio a $231\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- e) fundir apenas $1/4$ da peça de alumínio.

8. (OBF 2018 - adapt.) Uma panela de pressão, daquelas usadas para cozinhar mais rapidamente o feijão nosso de cada dia, apresenta essa enorme vantagem sobre uma panela comum aberta, devido ao fato:

- do ponto de ebulição da água que envolve o feijão, na panela de pressão, ser superior a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- das paredes da panela de pressão ser espessa, conservando, por muito tempo, o calor em seu interior;
- da temperatura de ebulição dos líquidos no interior da panela de pressão ser reduzida;
- do aumento da temperatura reduzir a pressão no interior da panela de pressão, facilitando a expansão dos alimentos;
- da pressão comprimir os alimentos, facilitando o cozimento.

9. (Tópicos) Você sabia que uma barra de chocolate de 100 g pode fornecer ao nosso organismo 500 calorias alimentares (kcal)? Usando o dado acima e os seus conhecimentos de Física, responda:

- Se você pudesse transferir essa energia (da barra de chocolate) para **m** gramas de água a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, na fase líquida, e esta atingisse a temperatura de ebulição ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$), qual seria o valor de **m**? Dado: calor específico da água = $1,0\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$.
- Se uma pessoa de massa 70 kg ingerisse essa barra de chocolate e utilizasse toda essa energia para subir uma escada com degraus de 20 cm de altura, quantos degraus poderia subir? Dados: aceleração da gravidade = 10 m/s^2 ; $1,0\text{ cal} = 4,2\text{ J}$.

10. (OBF 2017) Em outra experiência, realizada em nível do mar, o Professor Physicson solicitou de um grupo de alunos que colocassem um litro de água num recipiente pequeno e outro litro de água numa bacia grande, ambos abertos conforme as figuras abaixo, deixando-os exposto ao sol entre os horários de 10 h às 14 h. Ao final da experiência, os alunos recolheram a água dos recipientes, mediram os seus volumes e constataram acertadamente que:

- Havia mais água no recipiente menor do que na bacia, pois quanto maior a área de exposição, maior será o processo de evaporação;
- Havia mais água no recipiente menor do que na bacia, pois quanto maior a área de exposição, menor será o processo de evaporação;
- Havia mais água no recipiente menor, pois quanto menor a área de exposição, maior será a intensidade da radiação solar;

- I e II estão corretas;
- II e III estão corretas;
- Somente I está correta;
- I e III estão corretas;
- Todas corretas;



11. (Tópicos) Em um recipiente termicamente isolado e com capacidade térmica desprezível, misturam-se 200 g de água a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ com um bloco de ferro de 500 g a $140\text{ }^{\circ}\text{C}$. Qual a temperatura final de equilíbrio térmico? Dados: calor específico da água = $1,0\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$; calor específico do ferro = $0,12\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$.

12. (UFTM) Dona Joana é cozinheira e precisa de água a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ para sua receita. Como não tem um termômetro, decide misturar água fria, que obtém de seu filtro, a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, com água fervente. Só não sabe em que proporção deve fazer a mistura. Resolve, então, pedir ajuda a seu filho, um excelente aluno de física. Após alguns cálculos, em que levou em conta o fato de morarem no litoral, e em que desprezou todas as possíveis perdas de calor, ele orienta sua mãe a misturar um copo de 200 mL de água do filtro com uma quantidade de água fervente, em mL, igual a V. Determine V.

13. (Olimpíada Paulista de Física) Deseja-se preparar um banho em um ofurô. Sabe-se que a temperatura da água da torneira é de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, e que a temperatura ideal da água para o banho é de $36\text{ }^{\circ}\text{C}$. Quantos litros de água fervendo deve-se misturar com a água da torneira para obter 100 litros de água na temperatura ideal para o banho?

14. (Tópicos) Quanto de calor necessitam receber 100 g de gelo para serem aquecidos de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$? A pressão atmosférica é constante e normal, e são dados: calor específico do gelo = $0,50\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$; calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g ; calor específico da água = $1,0\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$.

15. (Fuvest - adapt.) Dois recipientes de material termicamente isolante contêm cada um 10 g de água a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Deseja-se aquecer até uma mesma temperatura os conteúdos dos dois recipientes, mas sem misturá-los. Para isso, é usado um bloco de 100 g de uma liga metálica inicialmente à temperatura de $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. O bloco é imerso durante certo tempo em um dos recipientes e depois transferido para o outro, nele permanecendo até ser atingido o equilíbrio térmico. O calor específico da água é dez vezes maior que o da liga metálica. Qual a temperatura do bloco metálico logo antes de ser transferido para o segundo recipiente?

16. (Cefet) As temperaturas de ebulição da água nas cidades A e B são, respectivamente, $96\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. É correto afirmar que:

- a) a altitude de B é maior que a de A.
- b) as duas cidades estão ao nível do mar.
- c) a cidade A está acima do nível do mar.
- d) a pressão atmosférica em A é maior que em B.
- e) as duas cidades possuem a mesma pressão atmosférica.

17. (Ufes) Os cozinheiros sabem que um bom pudim deve ser cozido em banho-maria: a forma contendo o pudim é mergulhada em um recipiente no qual se mantém água fervendo. A razão física para esse procedimento é que:

- a) o cozimento se dá à pressão controlada.
- b) o cozimento se dá à temperatura controlada.
- c) a água é um bom isolante térmico.
- d) o peso aparente do pudim é menor, devido ao empuxo (princípio de Arquimedes).
- e) a expansão volumétrica do pudim é controlada.

18. (Tópicos) Um jovem apaixonado entrou em uma joalheria e escolheu um anel para presentear sua namorada. O joalheiro garantiu que no anel, de 10 gramas, 90% eram ouro e 10% eram cobre. Para ter certeza, o estudante levou o anel até o laboratório de Física da sua escola e realizou um experimento de calorimetria, a fim de determinar a massa real de ouro. O anel foi aquecido em uma estufa até atingir a temperatura de $522\text{ }^{\circ}\text{C}$ e, em seguida, foi colocado no interior de um calorímetro com água. O sistema calorímetro-água tem capacidade térmica equivalente à de 100 gramas de água e está à temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. A temperatura final de equilíbrio térmico foi de $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sabe-se que:

I. o calor específico da água vale $1,00\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$; o do ouro, $0,030\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$; e o do cobre, $0,090\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$.

II. o calor específico de uma liga metálica é igual à média ponderada dos calores específicos dos metais integrantes da liga, sendo as respectivas massas os pesos da média.

Dessa forma, o estudante determinou que a massa real de ouro no anel era, aproximadamente, igual a:

- a) 5,0 gramas;
- b) 7,5 gramas;
- c) 8,3 gramas;
- d) 9,0 gramas;
- e) 9,8 gramas.

19. (Tópicos) Uma arma dispara um projétil de chumbo de massa $20,0\text{ g}$, que se move de encontro a um grande bloco de gelo fundente. No impacto, o projétil tem sua velocidade reduzida de 100 m/s para 0 e entra em equilíbrio térmico com o gelo. Não havendo dissipação de energia, ocorre a fusão de $2,25\text{ g}$ de gelo. Sendo o calor específico sensível do chumbo igual a $0,031\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$ e o calor específico latente de fusão do gelo igual a 80 cal/g , qual era a temperatura do projétil no momento do impacto?

Dado: $1\text{ cal} = 4\text{ J}$.

20. (ITA) Um termômetro em uma sala de $8,0 \times 5,0 \times 4,0\text{ m}$ indica $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ e um higrômetro indica que a umidade relativa é de 40%. Qual é a massa de vapor de água na sala, se sabemos que a essa temperatura o ar saturado contém $19,33\text{ g}$ de água por metro cúbico?

21. (OBF 2016) Aquários de peixes tropicais devem ser mantidos à temperatura de 30 °C. Para tanto, são usados aquecedores com termostatos, que aquecem a água até que a temperatura desejada seja atingida. A limpeza periódica é feita substituindo-se parte da água do aquário por água nova, mas deve-se evitar variações bruscas de temperatura. Considere um aquário de 100 L dos quais 40 L são substituídos por água a 20 °C, equipado com um aquecedor de 100 W. Responda as perguntas desprezando outros corpos que não a massa de água e considerando que não há trocas de calor com o ambiente.

a) Qual será a temperatura de equilíbrio da água depois da substituição e antes do termostato ser ligado?

b) Quanto tempo será necessário para que o aquário volte à temperatura de 30 °C? Considere o calor específico da água igual $c = 4 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$.

22. (OBF 2020) Uma ducha com água aquecida eletricamente, de potência 4,20 kW, ou seja, que utiliza energia elétrica a uma taxa 4,20 kJ por segundo, liga automaticamente quando a torneira é aberta permitindo uma vazão mínima de 3,00 litros de água por minuto. A partir daí, à medida que a torneira é aberta para permitir vazões maiores, o aquecedor elétrico permanece operando à mesma potência. A vazão máxima desta ducha é de 6,60 litros de água por minuto.

a) Qual a temperatura máxima possível da água liberada pela ducha em um dia de inverno, em °C, no qual a água que entra na ducha está a 15,0 °C?

b) Se a ducha está ligada, qual a temperatura mínima possível da água liberada em um dia de verão, em °C, no qual a água que entra na ducha está a 24,0 °C?

B.4. Gases perfeitos - Teoria

Gás perfeito ou ideal

Definição: gás perfeito ou gás ideal é aquele que cumpre todas as seguintes condições:

- As partículas do gás estão muito afastadas, de tal maneira que a energia potencial de ligação entre elas tende a zero;
- As partículas têm volume muito menor do que o ocupado pelo gás, ou seja, as partículas são pontos materiais;
- Todos os eventuais choques entre as partículas do gás são considerados perfeitamente elásticos.

Equação de Clapeyron

$$pV = nRT$$

onde p é pressão, V é volume, n é número de mols, R é a constante universal dos gases e T é a temperatura absoluta.

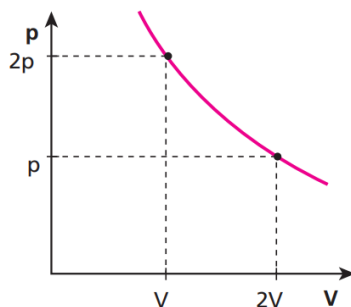
$$R = 0,082 \text{ atm.L/mol.K} = 8,31 \text{ J/mol.K}$$

Lei Geral dos Gases

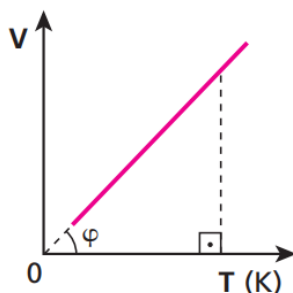
$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Transformações Gasosas

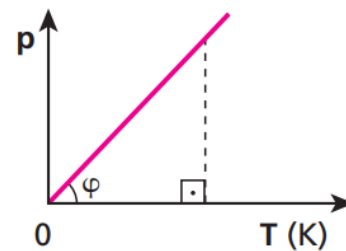
Isotérmica: temperatura constante.



Isobárica: pressão constante.



Isométrica/isovolumétrica/isocórica: volume constante.



Mistura física de gases perfeitos

Ao misturarmos dois gases A e B, é válido:

$$\frac{p_m V_m}{T_m} = \frac{p_A V_A}{T_A} + \frac{p_B V_B}{T_B}$$

Teoria Cinética dos Gases

Raiz da velocidade quadrática média:

$$v = \sqrt{\frac{3p}{\rho}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

onde ρ é a densidade do gás e M é a massa molar.

Energia cinética total:

$$\text{Para gases monoatômicos} - E_c = \frac{3}{2}nRT$$

$$\text{Para gases diatômicos} - E_c = \frac{5}{2}nRT$$

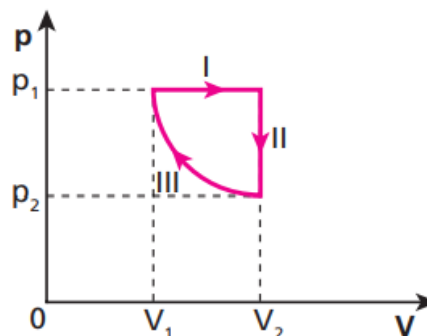
Energia cinética média das molécula de um gás monoatômico:

$$E_{CM} = \frac{3}{2}kT$$

onde $k = \frac{R}{A}$, com A sendo o número de Avogadro. $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K

B.4. Gases perfeitos - Questões

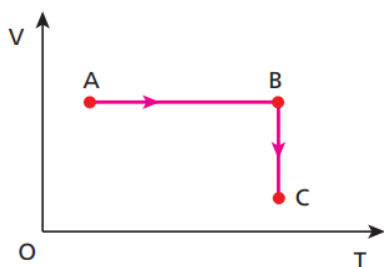
1. (Unep) Uma amostra de gás ideal sofre as transformações I, II e III, identificadas no gráfico pressão versus volume apresentado ao lado. Sabe-se que a transformação III é adiabática. As transformações I e II são, respectivamente:



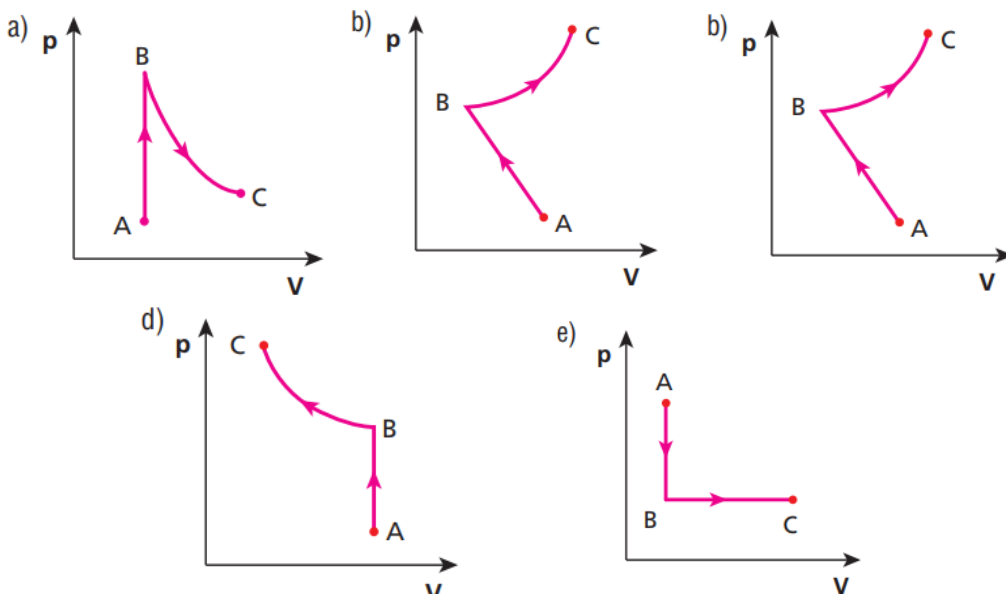
- a) isobárica e isotérmica. d) isométrica e isobárica.
 b) isobárica e isométrica. e) isotérmica e isobárica.
 c) isométrica e isotérmica.

2. (Tópicos) Em um recipiente indeformável, aprisiona-se certa massa de gás perfeito a 27 °C. Medindo a pressão exercida pelo gás, obtemos o valor 90 cm Hg. Se elevarmos a temperatura para 170,6 °F, qual será a nova pressão do gás?

3. (Tópicos) Um gás perfeito tem como variáveis de estado as grandezas: pressão (p), volume (V) e temperatura absoluta (T). O diagrama volume (V) x temperatura absoluta (T) representa as transformações AB e BC sofridas por determinada massa de gás perfeito.



Num diagrama pressão (p) x volume (V), essas transformações poderiam ser representadas por:



4. (Fuvest) Um laboratório químico descartou um frasco de éter, sem perceber que, em seu interior, havia ainda um resíduo de 7,4 g de éter, parte no estado líquido, parte no estado gasoso. Esse frasco, de 0,8 L de volume, fechado hermeticamente, foi deixado sob o sol e, após um certo tempo, atingiu a temperatura de equilíbrio $T = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$, valor acima da temperatura de ebulição do éter. Se todo o éter no estado líquido tivesse evaporado, a pressão dentro do frasco seria:

Note e adote:

No interior do frasco descartado havia apenas éter.

Massa molar do éter = 74 g

$K = ^{\circ}\text{C} + 273$

R (constante universal dos gases) = $0,082\text{ atm} \cdot \text{L} / (\text{mol} \cdot \text{K})$

- a) 0,37 atm.
- b) 1,0 atm.
- c) 2,5 atm.
- d) 3,1 atm.
- e) 5,9 atm.

5. (Tópicos - adapt.) Em um frasco de paredes indeformáveis e volume interno igual a 5,0 L, encontramos um gás perfeito à temperatura de $273\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nessas condições, a pressão exercida equivale a 380 mm Hg. Mudando-se esse gás para um reservatório de capacidade igual a 2,0 L, quanto devemos aquecê-lo para que a pressão torne-se igual a 2,0 atm?

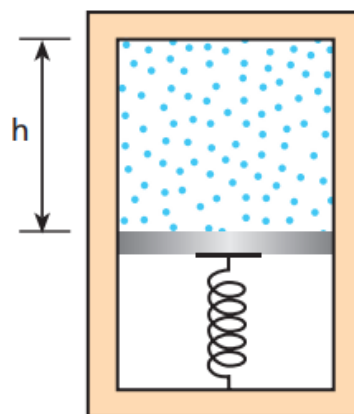
Dado: $1\text{ atm} = 760\text{ mm Hg}$.

6. Determine a densidade absoluta (ρ) de um gás ideal. Considere p a pressão, V o volume, T a temperatura absoluta, M a massa de 1 mol e R a constante universal dos gases perfeitos.

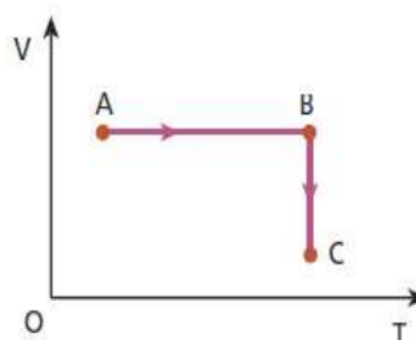
7. (Tópicos) Um cilindro adiabático vertical foi dividido em duas partes por um êmbolo de 2,50 kg de massa, que está apoiado em uma mola ideal de constante elástica igual a $1,04 \cdot 10^5\text{ N/m}$. Na parte inferior do cilindro, fez-se vácuo e, na parte superior, foram colocados 5 mols de um gás perfeito. Na situação de equilíbrio, a altura h vale 60 cm e a mola está comprimida em 20 cm.

Dados: $g = 10\text{ m/s}^2$; $R = 8,31\text{ J/mol} \cdot \text{K}$.

Desprezando-se possíveis atritos, qual a temperatura do gás, em graus Celsius?



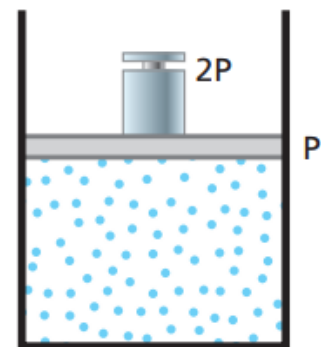
8. Um gás perfeito tem como variáveis de estado as grandezas: pressão (p), volume (V) e temperatura absoluta (T). O diagrama volume (V) versus temperatura absoluta (T) representa as transformações AB e BC sofridas por determinada massa de gás perfeito. Desenhe o diagrama $P \times V$ correspondente às transformações AB e BC.



9. (UFRJ) Um físico alpinista escalou uma alta montanha e verificou que, no topo, a pressão p do ar era igual a $0,44p_0$, sendo p_0 a pressão ao nível do mar. Ele notou também que, no topo, a temperatura T era igual a $0,88T_0$, sendo T_0 a correspondente temperatura ao nível do mar, ambas temperaturas medidas em Kelvin. Considerando o ar no topo e ao nível do mar como um mesmo gás ideal, calcule a razão d/d_0 entre a densidade d do ar no topo da montanha e a correspondente densidade d_0 ao nível do mar.

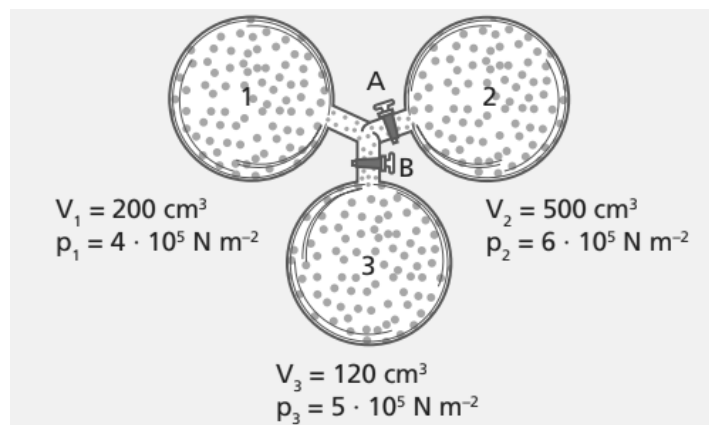
10. (Tópicos) Um gás perfeito realiza um ciclo (1, 2, 3, 1) formado por três transformações: (1, 2) isobárica, (2, 3) isovolumétrica e (3, 1) isotérmica. Em 1, suas variáveis de estado são: pressão $p_1 = 2,0$ atm, volume $V_1 = 1,5$ L e temperatura $\theta_1 = 20$ °C. Na transformação isobárica (1, 2), o volume do gás é duplicado. Calcule os valores das variáveis de estado (pressão, volume e temperatura) em cada um dos dois outros estados (2 e 3).

11. (Mack) Um gás perfeito, a 27 °C, está aprisionado em um cilindro indilatável por um êmbolo de peso P . Coloca-se sobre o êmbolo um peso $2P$ e aquece-se o gás a 127 °C. Despreze a pressão atmosférica. Sendo V o volume inicial do gás, o seu volume final será:



- a) $\frac{V}{2}$. d) $\frac{4V}{3}$.
 b) $\frac{8V}{9}$. e) $\frac{2V}{3}$.
 c) $\frac{4V}{9}$.

12. (Tópicos) Três recipientes contêm gases sob pressão e volume conforme representado a seguir:



As paredes dos recipientes são diatérmicas (permitem trocas de calor com o meio externo). Abrindo-se as válvulas A e B, os gases misturam-se, sem reações químicas, mantendo-se a temperatura constante (igual à temperatura ambiente). Qual o valor aproximado da pressão final da mistura?

13. (Tópicos) A teoria cinética dos gases propõe um modelo para os gases perfeitos, no qual:

- a) a pressão do gás não depende da velocidade das moléculas.
- b) as moléculas são consideradas partículas que podem colidir inelasticamente entre si.
- c) a temperatura do gás está diretamente relacionada com a energia cinética das moléculas.
- d) a pressão do gás depende somente do número de moléculas por unidade de volume.
- e) a temperatura do gás depende somente do número de moléculas por unidade de volume.

14. (Tópicos) O valor da temperatura de uma amostra de gás perfeito é consequência:

- a) da radiação emitida por suas moléculas.
- b) da energia potencial total de suas moléculas.
- c) da energia potencial média de suas moléculas.
- d) da energia cinética média de suas moléculas.
- e) do calor de cada uma de suas moléculas.

15. (Tópicos) Se uma amostra de gás perfeito encontra-se no interior de um recipiente de volume constante e tem a energia cinética média de suas moléculas aumentada:

- a) a pressão do gás aumentará e sua temperatura permanecerá constante.
- b) a pressão permanecerá constante e a temperatura aumentará.
- c) a pressão e a temperatura aumentarão.
- d) a pressão diminuirá e a temperatura aumentará.
- e) Todas as afirmações estão incorretas.

16. (Tópicos) Duas amostras de massas iguais de um gás perfeito são colocadas em dois recipientes, A e B. As temperaturas são diferentes, sendo $T_A > T_B$. Podemos afirmar que:

- a) o gás em A possui mais calor que em B.
- b) o gás em A possui menor velocidade que em B.
- c) a energia cinética das moléculas é menor no gás em A que em B.
- d) a energia cinética média das moléculas do gás é maior em A que em B.
- e) a temperatura não influencia a energia de movimento das partículas de um gás.

17. (Tópicos) Uma amostra de gás perfeito é colocada no interior de um recipiente e mantida à pressão constante. Se a temperatura e o volume aumentam:

- (01) o número de choques por centímetro quadrado de parede deve aumentar.
 - (02) a distância média entre as moléculas deve aumentar.
 - (04) a energia cinética média das moléculas não sofre alteração.
 - (08) a velocidade média das moléculas também deve aumentar.
 - (16) a pressão tem que aumentar, pois a temperatura do gás aumentou.
- Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

18. (UFC) Um recipiente contém uma mistura de um gás ideal X, cuja massa molar é M_x , com um gás ideal Y, cuja massa molar é M_y , a uma temperatura T. Considere as afirmações a seguir:

I. A energia cinética média das moléculas dos gases ideais X e Y depende apenas da temperatura absoluta em que se encontram.

II. a velocidade média das moléculas dos gases ideais X e Y depende da temperatura absoluta em que se encontram e da natureza de cada gás.

III. Se $M_x > M_y$, a velocidade média das moléculas do gás ideal X é maior que a velocidade média do gás ideal Y.

Assinale a alternativa correta.

- a) Apenas I é verdadeira.
- b) Apenas I e II são verdadeiras.
- c) Apenas I e III são verdadeiras.
- d) Apenas II e III são verdadeiras.
- e) I, II e III são verdadeiras.

19. (Unifesp) Você já deve ter notado como é difícil abrir a porta de um freezer logo após tê-la fechado, sendo necessário aguardar alguns segundos para abri-la novamente. Considere um freezer vertical cuja porta tenha 0,60 m de largura por 1,0 m de altura, volume interno de 150 L e que esteja a uma temperatura interna de 218 °C, num dia em que a temperatura externa seja de 27 °C e a pressão, $1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$.

a) Com base em conceitos físicos, explique a razão de ser difícil abrir a porta do freezer logo após tê-lo fechado e por que é necessário aguardar alguns instantes para conseguir abri-la novamente.

b) Suponha que você tenha aberto a porta do freezer por tempo suficiente para que todo o ar frio do seu interior fosse substituído por ar a 27 °C e que, fechando a porta do freezer, quisesse abri-la novamente logo em seguida. Considere que, nesse curtíssimo intervalo de tempo, a temperatura média do ar no interior do freezer tenha atingido 23 °C. Determine a intensidade da força resultante sobre a porta do freezer.

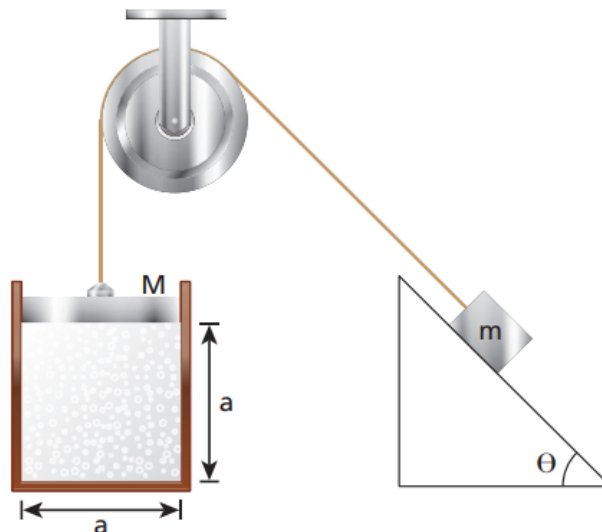
20. (Tópicos) Em um laboratório de Física, um estudante realizou um experimento que consistia em pegar um recipiente, vazio, de paredes indeformáveis, dotado de uma válvula que não deixa a pressão interna passar de um valor-limite. Esse estudante injetou hidrogênio gasoso (que se comporta como gás perfeito) no interior do recipiente até que a pressão atingisse o máximo valor e observou que a massa de gás injetada era igual a 10 gramas. Em seguida, ele esfriou o gás, diminuindo a sua temperatura absoluta em 20%. Que massa do mesmo gás, na nova temperatura, o estudante deve injetar no interior do recipiente para restabelecer a pressão máxima suportável pela válvula?

21. (ITA) Considere uma mistura de gases H_2 e N_2 em equilíbrio térmico. Sobre a energia cinética média e sobre a velocidade média das moléculas de cada gás, pode-se concluir que:
- as moléculas de N_2 e H_2 têm a mesma energia cinética média e a mesma velocidade média.
 - ambas têm a mesma velocidade média, mas as moléculas de N_2 têm maior energia cinética média.
 - ambas têm a mesma velocidade média, mas as moléculas de H_2 têm maior energia cinética média.
 - ambas têm a mesma energia cinética média, mas as moléculas de N_2 têm maior velocidade média.
 - ambas têm a mesma energia cinética média, mas as moléculas de H_2 têm maior velocidade média.

22. (ITA) Uma cesta portando uma pessoa deve ser suspensa por meio de balões, sendo cada qual inflado com 1 m^3 de hélio na temperatura local ($27\text{ }^\circ\text{C}$). Cada balão vazio com seus apetrechos pesa $1,0\text{ N}$. São dadas a massa atômica do oxigênio $A_O = 16$, a do nitrogênio $A_N = 14$, a do hélio $A_{He} = 4$ e a constante dos gases $R = 0,082\text{ atm L mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$. Considerando que o conjunto pessoa e cesta pesa 1000 N e que a atmosfera é composta de 30% de O_2 e 70% de N_2 , determine o número mínimo de balões necessários. Dado: $g = 10\text{ m/s}^2$.

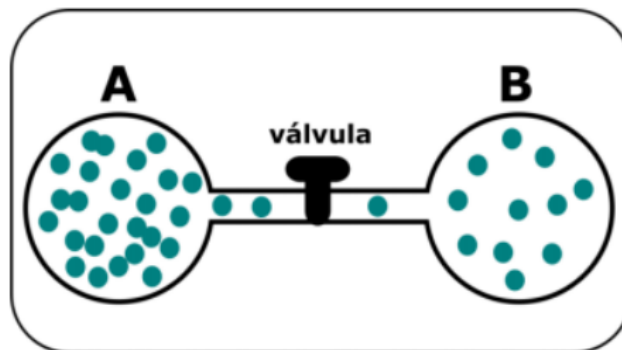
23. (ITA) Estime a massa de ar contida em uma sala de aula. Indique claramente quais as hipóteses utilizadas e os quantitativos estimados das variáveis empregadas.

24. (IME) Em um recipiente, hermeticamente fechado por uma tampa de massa M , com volume interno na forma de um cubo de lado a , encontram-se n mols de um gás ideal a uma temperatura absoluta T . A tampa está presa a uma massa m por um fio que passa por uma roldana, ambos ideais. A massa m encontra-se na iminência de subir um plano inclinado de ângulo θ com a horizontal e coeficiente de atrito estático μ . Considerando que as variáveis estejam no Sistema Internacional e que não exista atrito entre a tampa M e as paredes do recipiente, determine m em função das demais variáveis.



25. (OBF 2019) Uma bolha de ar de $10,0 \text{ cm}^3$ escapa de um navio naufragado a $50,0 \text{ m}$ de profundidade, onde a temperatura é $15,0 \text{ }^\circ\text{C}$, e emerge até a superfície onde a temperatura é $25,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Considere que o ar se comporta como um gás ideal e, à medida que se desloca, o ar da bolha se equilibra termicamente com a água ao redor. Determine o volume da bolha ao chegar à superfície.

26. (OBF 2018) A figura abaixo mostra duas ampolas iguais de vidro A e B, contendo o mesmo gás monoatômico. A comunicação entre as ampolas é possível, graças a um fino tubo (volume desprezível) provido de uma válvula inicialmente fechada. O gás da ampola A está sob pressão $2P$, e temperatura $2T$, enquanto que o da ampola B está sob pressão P e temperatura T . Abrindo-se a válvula os gases se misturam até atingir o equilíbrio térmico. Desprezando as trocas de calor com o meio externo, determine a temperatura da mistura dos gases das ampolas após o sistema entrar em equilíbrio térmico.



27. (OBF - adapt.) Se um recipiente que contém um gás rarefeito apresenta uma pequena abertura, ocorre um fenômeno chamado efusão, no qual o número de moléculas que sai do recipiente é proporcional a $d v$ onde d é a densidade do gás e v é a velocidade escalar média das moléculas. Considere um recipiente dividido em duas câmaras com uma pequena abertura entre elas e que contém um gás rarefeito. As condições são tais que ocorre o fenômeno de efusão entre uma câmara e outra. Se as câmaras 1 e 2 são mantidas, respectivamente, a temperaturas T_1 e T_2 e a pressão da câmara 1 é P_1 , qual o valor da pressão na câmara 2 na situação de equilíbrio?

28. A velocidade do som em um gás é expressa em termos da pressão e densidade do gás.
 a) A partir de análise dimensional, determine uma função geral para a velocidade do som em um gás.
 b) Supondo que o gás é ideal, como a velocidade do som é afetada pela massa molar do gás?

29. Considere um balão cuja parede é rígida e que o ar em seu interior tenha sido removido. Em certo momento, a válvula do balão é parcialmente aberta e o balão é, lentamente, preenchido com ar vindo do exterior. Encontre a temperatura do ar dentro do balão uma vez que o fluxo de ar tenha cessado (haja visto que o equilíbrio mecânico fora alcançado). A temperatura do ambiente é T , as paredes do balão possuem baixas capacitância e condutância de calor, de maneira que podem ser desprezadas.

B.5. Termodinâmica - Teoria

Energia Interna

Energia interna (U) é a soma de todas as energias cinéticas dos átomos ou das moléculas de um gás.

Para gases monoatômicos - $U = \frac{3}{2}nRT$

Para gases diatômicos - $U = \frac{5}{2}nRT$

Trabalho

Trabalho de um gás é a energia trocada por ele que é transformada em uma variação de volume (expansão, se o trabalho for positivo, ou compressão, se o trabalho for negativo).

O trabalho é:

$$\tau = \int p dV$$

Em outras palavras, o trabalho é a área do gráfico da função $p(V)$. Se a pressão for constante, o trabalho é $\tau = p\Delta V$.

1ª Lei da Termodinâmica

$$Q = \tau + \Delta U$$

Na transformação isotérmica: $\Delta U = 0$.

Na transformação isobárica: $\tau = p\Delta V$.

Na transformação isocórica: $\tau = 0$.

Transformação adiabática

Na transformação adiabática (ou isoentrópica), o gás não troca calor com meio externo, isto é, são processos rápidos de expansão com resfriamento, ou de contração com aquecimento.

Na transformação adiabática: $Q = 0$.

Para toda transformação adiabática, é válida a Equação de Poisson:

$$pV^\gamma = \text{constante},$$

onde γ é o expoente de Poisson, calculado a seguir:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

onde C_p é a capacidade calorífica molar (ou capacidade térmica molar) à pressão constante e C_v é a capacidade calorífica molar (ou capacidade térmica molar) a volume constante.

Relação de Mayer: $C_p - C_v = R$

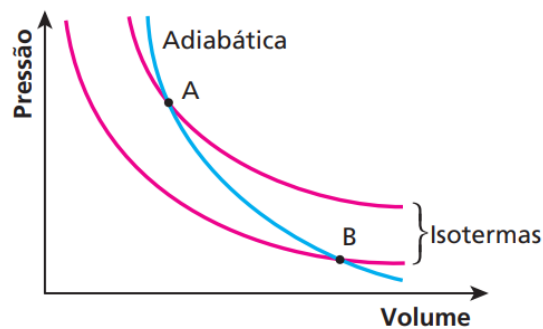
Para gases monoatômicos: $C_v = \frac{3}{2}R$ e $C_p = \frac{5}{2}R$

Para gases diatômicos: $C_v = \frac{5}{2}R$ e $C_p = \frac{7}{2}R$

Trabalho da transformação adiabática:

$$\tau = \frac{p_f V_f - p_i V_i}{1 - \gamma} = \frac{nR\Delta T}{1 - \gamma}$$

Gráfico da transformação adiabática:



Calor e energia interna

Conhecendo C_p e C_v , podemos reescrever as variáveis calor e variação de energia interna de outra forma:

$$Q = nC_p \Delta T$$

$$U = nC_v \Delta T$$

2ª Lei da Termodinâmica

É impossível retirar calor de uma fonte quente e ter como único resultado a realização de trabalho. Ou seja, sempre haverá energia rejeitada para a fonte fria, em geral o meio ambiente.

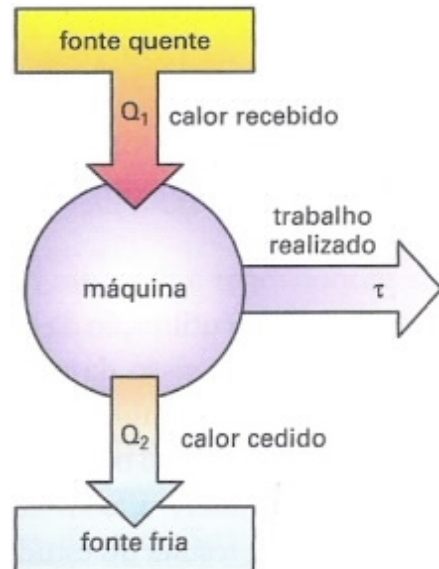
Seja Q_q o calor recebido da fonte quente e Q_f o calor rejeitado para a fonte fria, temos:

$$Q_q = \tau + Q_f$$

O rendimento do ciclo é dado por:

$$\eta = \frac{\tau}{Q_q} = 1 - \frac{Q_f}{Q_q}$$

O rendimento NUNCA é 100%.



Ciclo de Carnot

As máquinas de Carnot são compostas de quatro processos: uma expansão isotérmica, uma expansão adiabática, uma contração isotérmica e outra contração adiabática. Elas são as máquinas mais eficientes possíveis. O rendimento ideal teórico do ciclo de Carnot é:

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

B.5. Termodinâmica - Questões

1. (Tópicos) Você já deve ter notado que ao esfregar as mãos durante algum tempo elas ficam mais quentes. Explique esse fenômeno.

2. (Tópicos) Um gás perfeito sofre uma expansão isotérmica ao receber do ambiente 250 J de energia em forma de calor. Qual o trabalho realizado pelo gás e qual sua variação de energia interna?

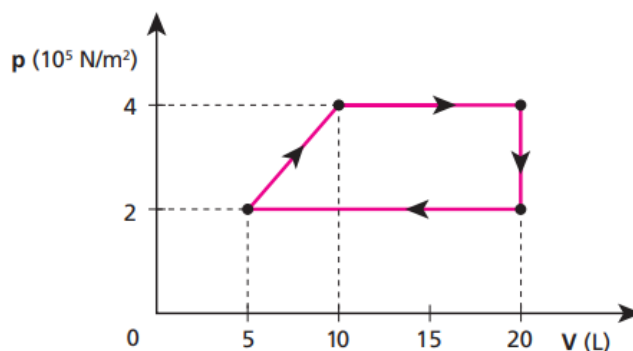
3. (Tópicos) Analise as afirmativas a seguir:

- Um gás somente pode ser aquecido se receber calor.
- Pode-se aquecer um gás realizando-se trabalho sobre ele.
- Para esfriar um gás, devemos necessariamente retirar calor dele.
- Um gás pode receber calor do meio externo e sua temperatura permanecer constante.
- Numa transformação adiabática de um gás, sua temperatura pode diminuir.

4. (Tópicos) Analise as afirmativas a seguir:

- A energia interna de dada massa de gás é função exclusiva de sua temperatura.
- Numa expansão isobárica, a quantidade de calor recebida é menor que o trabalho realizado.
- Numa transformação isocórica, a variação de energia interna do gás é igual à quantidade de calor trocada com o meio exterior.
- Numa transformação adiabática, o gás não troca trabalho com o meio externo.
- A energia interna de um sistema gasoso só não varia nas transformações adiabáticas.
- Numa expansão isobárica, a temperatura do gás aumenta.

5. (PUC) A transformação cíclica representada no diagrama a seguir mostra o que ocorreu com uma massa de gás perfeito.



Qual o trabalho realizado por esse gás no ciclo? Dê a resposta em joules.

6. (Tópicos) Uma amostra de 60 g de gás perfeito foi aquecida isometricamente, tendo sua temperatura variando de 200 K para 230 K. O calor específico a volume constante desse gás é igual a $0,25 \text{ cal/g} \cdot \text{K}$ e o calor específico a pressão constante é $0,32 \text{ cal/g} \cdot \text{K}$.

Determine:

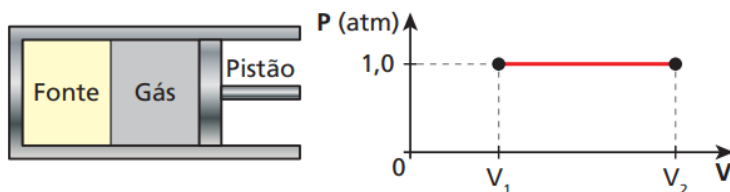
- o trabalho realizado por esse gás;
- a variação da energia interna desse gás.

7. (OBF) Um recipiente cilíndrico, de área de secção reta de 300 cm^2 contém 3 mols de gás ideal diatômico que está à mesma pressão externa. Este recipiente contém um pistão que pode se mover sem atrito e todas as paredes são adiabáticas, exceto uma que pode ser retirada para que o gás fique em contato com uma fonte que fornece calor a uma taxa constante. Num determinado instante o gás sofre um processo termodinâmico ilustrado no diagrama PV abaixo e o pistão se move com velocidade constante de $16,6 \text{ mm/s}$.

- Qual foi a variação de temperatura do gás depois de decorridos 50 s?
- Obtenha a quantidade de calor transferida ao gás durante esse intervalo de tempo.

Dados: $1 \text{ atm} \cong 1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

$$R = 8,3 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$$



8. (Tiago) Uma quantidade de gás diatômico sofre uma expansão adiabática. Se $\frac{V_f}{V_i} = 4\sqrt{2}$,

qual a razão entre as temperaturas final e inicial $\frac{T_f}{T_i}$?

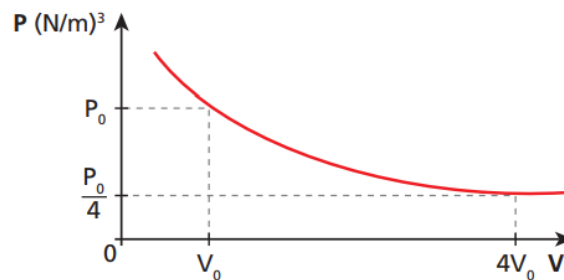
9. (Tópicos) Uma máquina térmica, teórica, opera entre duas fontes de calor, executando o ciclo de Carnot. A fonte fria encontra-se à temperatura de $6 \text{ }^\circ\text{C}$ e a fonte quente, a $347 \text{ }^\circ\text{C}$. Qual é o rendimento ideal teórico dessa máquina?

10. (UFRN) Em um processo adiabático, a pressão p e o volume V de um gás ideal obedecem a equação de Poisson, em que γ é um parâmetro fixo. Considere que uma amostra de gás ideal sofreu uma expansão adiabática na qual o seu volume foi duplicado. A razão entre a temperatura inicial T_i e a temperatura final T_f da amostra é:

- $T_i/T_f = 2^\gamma$.
- $T_i/T_f = 2^{1-\gamma}$.
- $T_i/T_f = \gamma$.
- $T_i/T_f = 2^{\gamma-1}$.
- $T_i/T_f = \gamma^2$.

11. (ITA) Uma bolha de gás metano com volume de 10 cm^3 é formada a 30 m de profundidade num lago. Suponha que o metano comporta-se como um gás ideal de calor específico molar $C_V = 3R$ e considere a pressão atmosférica igual a 10^5 N/m^2 . Supondo que a bolha não troque calor com a água ao seu redor, determine seu volume quando ela atinge a superfície.

12. (Cesgranrio) Em uma expansão isotérmica, o volume de gás aumenta quatro vezes e a energia interna não varia, sendo o trabalho realizado pelo gás igual ao calor recebido.



Considerando o gráfico acima, qual a variação de entropia de um mol de um gás ideal, numa expansão isotérmica reversível entre os estados inicial e final?

13. (IME) Um soldado em pé sobre um lago congelado (sem atrito) atira horizontalmente com uma bazuca. A massa total do soldado e da bazuca é 100 kg e a massa do projétil é 1 kg. Considerando que a bazuca seja uma máquina térmica com rendimento de 5% e que o calor fornecido a ela no instante do disparo é 100 kJ, a velocidade de recuo do soldado é, em m/s,

- a) 0,1
- b) 0,5
- c) 1,0
- d) 10,0
- e) 100,0

14. (OBF 2019 - adapt.) Considere as seguintes informações sobre a segunda lei da Termodinâmica:

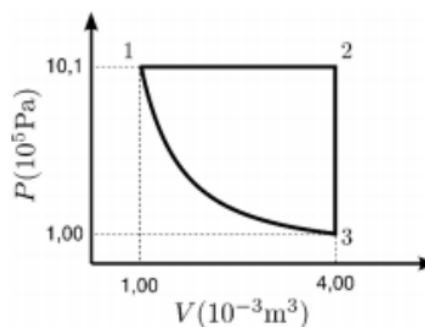
I. A eficiência de uma máquina térmica de Carnot depende somente das duas temperaturas com que ela trabalha;

II. Numa máquina térmica de Carnot, a absorção e a liberação de calor devem ser realizadas isotermicamente;

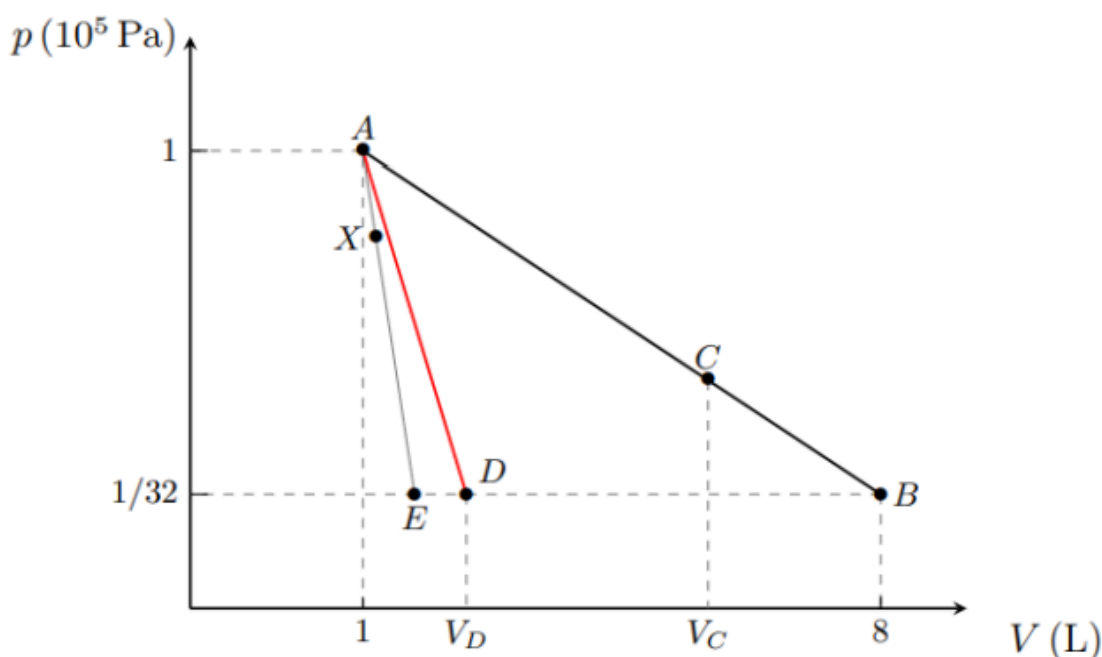
III. Numa máquina térmica, o calor cedido a um gás pode apenas em parte ser usado para realizar trabalho mecânico. De acordo com as informações, podemos acertadamente afirmar que:

- a) Todas estão falsas;
- b) Somente I e II estão corretas;
- c) Somente I e III estão corretas;
- d) Somente a I está correta;
- e) Todas estão corretas.

15. (OBF 2015) Uma máquina térmica cuja substância de trabalho é uma certa quantidade de gás ideal monoatômico opera na forma de um ciclo definido pelo diagrama pressão por volume, $P \times V$, como mostrado na figura, no qual a etapa $3 \rightarrow 1$ é adiabática. Sabendo que o objetivo dessa máquina é realizar trabalho às custas do calor absorvido, determine sua eficiência.

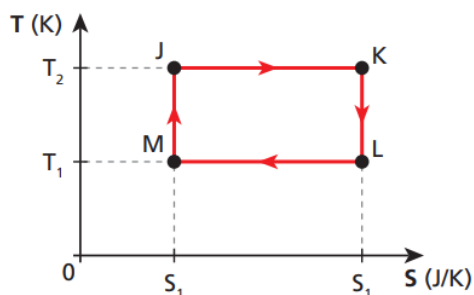


16. (OBF 2021) Em um laboratório de física, um estudante investiga o comportamento termodinâmico de uma certa amostra de gás ideal monoatômico. O equipamento disponível permite a especificação de qualquer processo termodinâmico quase-estático e fornece medidas das energias trocadas pelo gás na forma de trabalho (W) e calor (Q) à medida em que os processos ocorrem. O equipamento usa a seguinte convenção: $Q > 0$ indica que o gás absorve calor e $Q < 0$ indica que o gás cede calor. Inicialmente o estudante investiga o comportamento do gás no processo AB , no qual o gás é levado do ponto A ao ponto B pelo processo linear ilustrado no diagrama pressão-volume, $p \times V$, mostrado na figura. Neste processo, ele observa que o gás absorve calor até o ponto C ($Q_{AC} > 0$) e, a partir de C , o gás libera calor ($Q_{CB} < 0$). Depois ele observa que todos os processos lineares, que partem de A e cruzam a linha $p = 10^5 / 32$ Pa com $V < V_D$, são exotérmicos desde o início. Por exemplo, no processo linear AE , mesmo para um ponto X muito próximo de A , observa-se que $Q_{AX} < 0$.



- Determine o calor transferido para o gás no processo AB , Q_{AB} , em joules.
- Determine V_C , em litros (L).
- Determine V_D , em litros (L).

17. (ITA) Uma máquina térmica opera segundo o ciclo **JKLMJ** mostrado no diagrama T-S da figura.

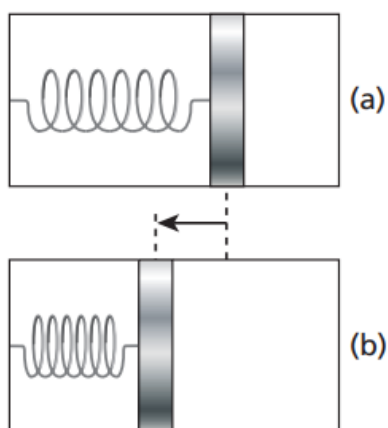


Pode-se afirmar que:

- processo JK corresponde a uma compressão isotérmica.
- o trabalho realizado pela máquina em um ciclo é

$$W = (T_2 - T_1) (S_2 - S_1).$$
- o rendimento da máquina é dado por $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$.
- durante o processo LM uma quantidade de calor $Q_{LM} = T_1 (S_2 - S_1)$ é absorvida pelo sistema.
- outra máquina térmica que opere entre T_2 e T_1 poderia eventualmente possuir um rendimento maior que a desta.

18. (ITA - adapt.) Uma parte de um cilindro está preenchida com um mol de um gás ideal monoatômico a uma pressão P_0 e temperatura T_0 . Um êmbolo de massa desprezível separa o gás da outra seção do cilindro, na qual há vácuo e uma mola em seu comprimento natural presa ao êmbolo e à parede oposta do cilindro, como mostra a figura (a). O sistema está termicamente isolado e o êmbolo, inicialmente fixo, é então solto, deslocando-se vagarosamente até passar pela posição de equilíbrio, em que a sua aceleração é nula e o volume ocupado pelo gás é o dobro do original, conforme mostra a figura (b). Desprezando os atritos, determine a temperatura do gás na posição de equilíbrio em função apenas da sua temperatura inicial.



B.6. Dilatação Térmica - Teoria

Dilatação Linear

$$\Delta l = l_0 \alpha \Delta T \text{ ou } l = l_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

Dilatação Superficial

$$\Delta A = A_0 \beta \Delta T \text{ ou } A = A_0 (1 + \beta \Delta T)$$

$$\beta = 2\alpha$$

Dilatação Volumétrica

$$\Delta V = V_0 \gamma \Delta T \text{ ou } V = V_0 (1 + \gamma \Delta T)$$

$$\gamma = 3\alpha$$

Dilatação de líquidos em recipientes que dilatam

Relação geral:

$$\Delta V_{\text{aparente}} = \Delta V_{\text{líquido}} - \Delta V_{\text{recipiente}}$$

Considerando o recipiente inicialmente cheio:

$$\gamma_{\text{aparente}} = \gamma_{\text{líquido}} - \gamma_{\text{recipiente}}$$

Considerando o recipiente inicialmente incompleto:

$$\gamma_{\text{aparente}} = \gamma_{\text{líquido}} - \left(\frac{V_{\text{inicial do recipiente}}}{V_{\text{inicial do líquido}}} \right) \cdot \gamma_{\text{recipiente}}$$

B.6. Dilatação Térmica - Questões

1. (Tópicos) Uma régua de alumínio tem comprimento de 200,0 cm a 20 °C. Qual o valor, em centímetros, do seu comprimento a 60 °C? Dado: coeficiente de dilatação linear do alumínio = $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

2. (Olimpíada Paulista de Física) É muito comum acontecer, quando copos iguais são empilhados, colocando-se um dentro do outro, de dois deles ficarem emperrados, tornando-se difícil separá-los. Considerando o efeito da dilatação térmica, pode-se afirmar que é possível retirar um copo de dentro do outro se:

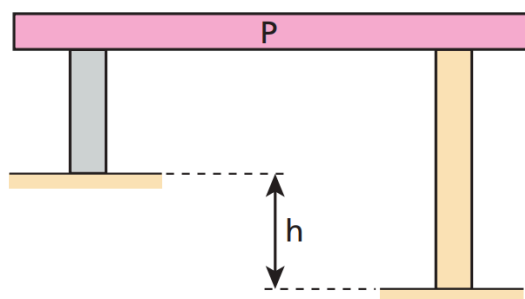
- a) os copos emperrados forem mergulhados em água bem quente.
- b) no copo interno for despejada água quente e o copo externo for mergulhado em água bem fria.
- c) os copos emperrados forem mergulhados em água bem fria.
- d) no copo interno for despejada água fria e o copo externo for mergulhado em água bem quente.
- e) não é possível separar os dois copos emperrados considerando o efeito da dilatação térmica.

3. (Mack) A 20 °C, o comprimento de uma haste A é 99% do comprimento de outra haste B, à mesma temperatura. Os materiais das hastes A e B têm alto ponto de fusão e coeficientes de dilatação linear respectivamente iguais a $\alpha_A = 10 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $\alpha_B = 9,1 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. A temperatura em que as hastes terão o mesmo comprimento será:

- a) 970 °C
- b) 1 120 °C
- c) 1 270 °C
- d) 1 770 °C
- e) 1 830 °C

4. (Tópicos) Uma plataforma P foi apoiada em duas colunas, conforme a figura ao lado: Devido a um desnível do terreno, para manter a plataforma sempre na horizontal a qualquer temperatura, foi preciso fazer uma das colunas de concreto e a outra de ferro. Qual o valor do desnível h, sabendo-se que a maior coluna é de concreto e mede 7,8 m a 0 °C?

Dados: $\alpha_{\text{concreto}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$; $\alpha_{\text{ferro}} = 13 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.



5. (Tópicos) Uma placa metálica de dimensões 10 cm x 20 cm x 0,5 cm tem em seu centro um furo cujo diâmetro é igual a 1,00 cm quando a placa está à temperatura de 20 °C. O coeficiente de dilatação linear do metal da placa é $20 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Quando a temperatura é de 520 °C, a área do furo:

- a) aumenta 1%.
- b) diminui 1%.
- c) aumenta 2%.
- d) diminui 2%.
- e) não se altera.

6. (Olimpíada Paulista de Física) Um recipiente de vidro, cujo coeficiente de dilatação térmica é $5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, tem volume igual a 100 dm³ e está completamente cheio de um líquido à temperatura ambiente (20 °C). Ao ser aquecido até 60 °C nota-se que foram derramados 0,20 dm³ do líquido aquecido. Calcule a dilatação real do líquido.

- a) 0,30 dm³
- b) 0,15 dm³
- c) 0,11 dm³
- d) 0,22 dm³
- e) 0,32 dm³

7. Um recipiente de vidro cheio contém 50g de tolueno a 0 °C. Qual será a massa de tolueno no recipiente a 80 °C assumindo que entre 0 °C e 80 °C os coeficientes de expansão são constantes? O coeficiente linear do vidro é $8 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ e o coeficiente volumétrico de expansão do tolueno é $11 \cdot 10^{-4}/^\circ\text{C}$.

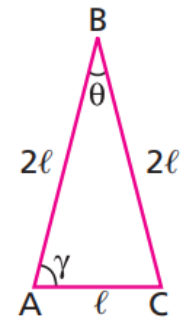
8. (UFPA) Um recipiente de vidro encontra-se completamente cheio de um líquido a 0 °C. Quando o conjunto é aquecido até 80 °C, o volume do líquido que transborda corresponde a 4% do volume que o líquido possuía a 0 °C. Sabendo que o coeficiente de dilatação volumétrica do vidro é de $27 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, determine o coeficiente de dilatação real do líquido.

9. (Tópicos) A 4 °C, a massa específica da água vale 1,0 g/cm³. Se o coeficiente de dilatação volumétrica real da água vale $2,0 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, qual é sua massa específica, na temperatura de 84 °C?

10. (Tópicos) Uma substância tem massa específica de 0,78 g/cm³ a 25 °C e 0,65 g/cm³ a 425 °C. Qual o seu coeficiente de dilatação volumétrica?

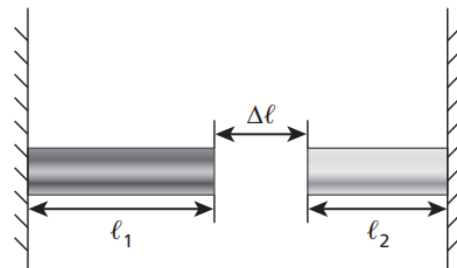
11. (PUC) Uma barra de alumínio, inicialmente a 20 °C, tem, a essa temperatura, uma densidade linear de massa igual a $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ g/mm}$. A barra é aquecida sofrendo uma variação de comprimento de 3 mm. Sabe-se que o coeficiente de dilatação linear térmica do alumínio é $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e seu calor específico é 0,2 cal/g °C. Qual é a quantidade de calor absorvida pela barra, em cal?

12. (PUC) Três barras – AB, BC e AC – são dispostas de modo que formem um triângulo isósceles. O coeficiente de dilatação linear de AB e BC é α , e o de AC é 2α . A $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, os comprimentos de AB e BC valem 2ℓ e o de AC vale ℓ . Aquecendo-se o sistema à temperatura t , observa-se que:

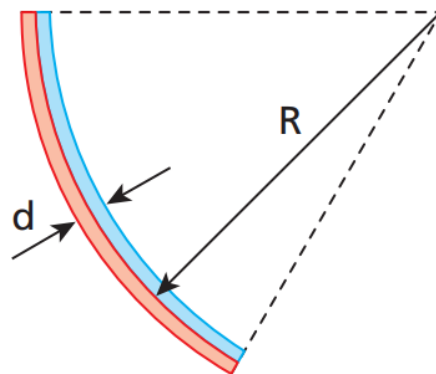


- o triângulo torna-se equilátero.
- o triângulo deixa de ser isósceles.
- não há alteração dos ângulos θ e γ .
- as barras AB e BC dilatam-se o dobro de AC.
- as três barras sofrem dilatações iguais.

13. (OBF) Considere duas barras delgadas, de comprimentos ℓ_1 e ℓ_2 , feitas de materiais cujos coeficientes de dilatação linear são, respectivamente, α_1 e α_2 . As barras estão dispostas de modo a estarem separadas por uma distância $\Delta\ell$, conforme mostra a figura. A que variação de temperatura deve ser submetido o sistema para que o espaçamento $\Delta\ell$, entre as duas barras, seja completamente preenchido? Considere que apenas as barras sofram influência dessa variação de temperatura.



14. (OBF) Uma lâmina bimetálica é constituída por uma junção de duas lâminas retilíneas que têm o mesmo comprimento quando estão à temperatura T . Ao aumentar sua temperatura para $T + \Delta T$ a lâmina se curva, formando um arco de circunferência de espessura total d (veja figura). Supondo que os coeficientes de dilatação linear das lâminas sejam respectivamente iguais a α_2 e α_1 , com $\alpha_2 > \alpha_1$, e que as espessuras de cada lâmina, após a dilatação, sejam iguais, deduza a expressão do raio de curvatura R da junção entre as lâminas.



15. (Fundação Carlos Chagas) Um pequeno recipiente de porcelana está completamente cheio de mercúrio, a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nessa temperatura o recipiente contém 136 g de mercúrio. Aquecendo-se o conjunto a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ extravasam $0,40\text{ g}$ de mercúrio. Nestas condições, calcule o coeficiente de dilatação linear da porcelana, em $^{\circ}\text{C}^{-1}$. Dados: Coeficiente de dilatação do mercúrio = $1,80 \cdot 10^{-4}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Densidade do mercúrio a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ = $13,6\text{ g/cm}^3$.

16. (IME 2023) A figura mostra um aparato com uma barra de aço vertical, tendo sua extremidade superior presa ao teto e sua extremidade inferior encostada na ponta de uma gangorra em forma de “L”. Por sua vez, a gangorra também encosta em um apoio elástico, que é preso na parede indicada. Após a montagem do aparato, a barra de aço é aquecida por igual.

Dados:

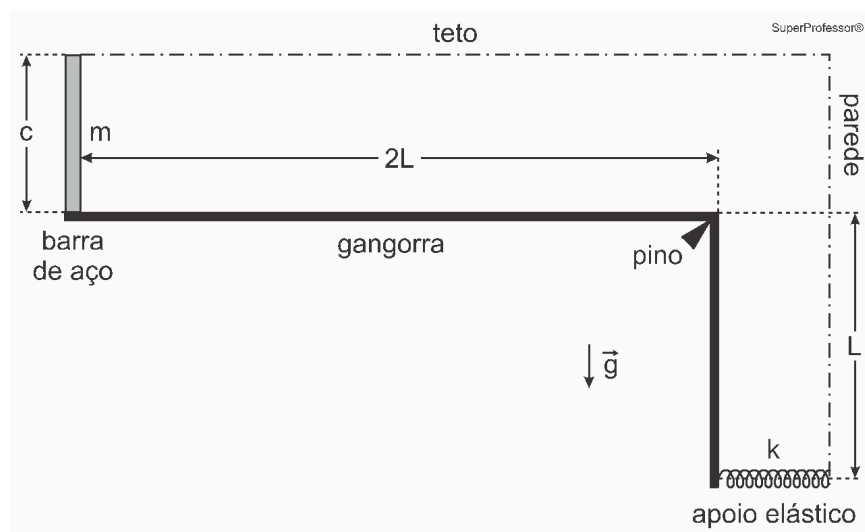
- aceleração da gravidade: g ;
- massa da barra de aço: m ;
- comprimento da barra de aço: c ;
- coeficiente de dilatação linear da barra de aço: α ;
- coeficiente elástico do apoio: k ;
- comprimento horizontal da gangorra: $2L$;
- comprimento vertical da gangorra: L ;
- variação de temperatura após o aquecimento: T .

Observações:

- a deformação da barra de aço após a dilatação é muito menor que L ;
- o pino indicado na figura mantém-se fixo;
- antes do aquecimento, o apoio elástico está encostado na gangorra e sem energia potencial armazenada.

Ao final do processo de aquecimento, a energia potencial armazenada no apoio elástico é:

- a) $k(\alpha c T)^2$
- b) $k(\alpha c T)^2 / 2$
- c) $k(\alpha c T)^2 / 4$
- d) $k(\alpha c T)^2 / 8$
- e) $k(\alpha c T)^2 / 16$



C. Ondulatória

C.1. Movimento Harmônico Simples (MHS) - Teoria

Movimentos periódicos

Um fenômeno é periódico quando se repete identicamente em intervalos de tempo iguais.

Período e frequência

Período: T = tempo necessário para que ocorra uma repetição (s).

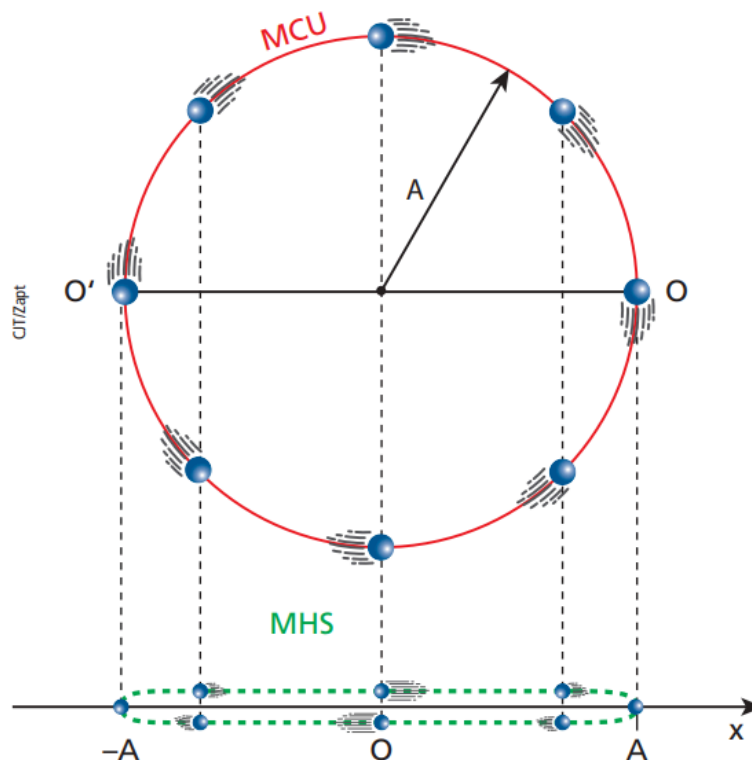
Frequência: f = número de repetições por unidade de tempo (Hz).

$$T = \frac{1}{f} \text{ e } f = \frac{1}{T}$$

MHS

Certos movimentos oscilatórios e periódicos descritos por funções horárias harmônicas são denominados movimentos harmônicos simples.

Esses movimentos podem ser descritos com a ajuda de um Movimento Circular Uniforme.



Sendo:

x = elongação (m)

v = velocidade (m/s)

a = aceleração (m/s²)

A = amplitude (m)

ω = velocidade angular (rad/s)

t = tempo (s)

φ_0 = fase ou ângulo inicial (rad)

Temos as seguintes funções horárias:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$v = -\omega A \operatorname{sen}(\omega t + \varphi_0)$$

$$a = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Velocidade em função da elongação

$$v^2 = \omega^2 (A^2 - x^2)$$

Oscilador massa-mola

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

No oscilador massa-mola horizontal, a energia mecânica é tal que $E_m = \frac{1}{2} kA^2$

Pêndulo simples

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Obs: para $\theta_{\max} \leq 10^\circ$, $\operatorname{sen}\theta \approx \theta$ (em radianos!!!!)

C.1. Movimento Harmônico Simples (MHS) - Questões

1. (Tópicos) Uma partícula move-se ao longo de um eixo Ox , obedecendo à função $x = 2 \cos(\pi t)$ (SI), em que x é a elongação e t é o tempo. Obtenha:

- a amplitude, a pulsação, o período, a frequência e a fase inicial do movimento;
- os valores máximos da velocidade escalar e da aceleração escalar da partícula.

2. Uma partícula move-se obedecendo à função horária $x = 2 \cos\left(4\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$, com x em metros e t em segundos. Determine:

- o período do movimento;
- a velocidade escalar da partícula em $t = 1$ s;
- a aceleração escalar da partícula em $t = 5$ s.

3. (ITA) Uma partícula em movimento harmônico simples oscila com frequência de 10 Hz entre os pontos L e $-L$ de uma reta. No instante t_1 , a partícula está no ponto $\sqrt{3} \frac{L}{2}$, caminhando em direção a valores inferiores, e atinge o ponto $-\sqrt{2} \frac{L}{2}$ no instante t_2 . O tempo gasto nesse deslocamento é:

- 0,021 s.
- 0,029 s.
- 0,15 s.
- 0,21 s.
- 0,29 s.

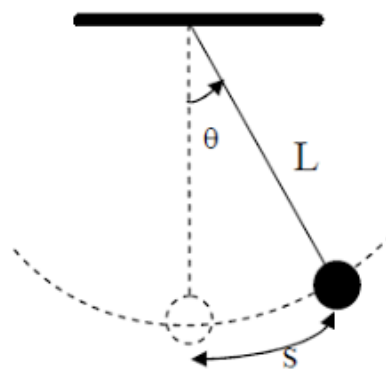
4. (Tópicos) Um bloco suspenso por uma mola oscila verticalmente sob a ação da gravidade terrestre. Se esse sistema for transportado para a superfície da Lua, onde o módulo do campo gravitacional é cerca de $1/6$ do terrestre, o que ocorrerá com o período das oscilações verticais desse sistema?

5. (Unicamp) Um pêndulo simples, que executa um movimento harmônico simples num ambiente escuro, é iluminado por um holofote estroboscópico.

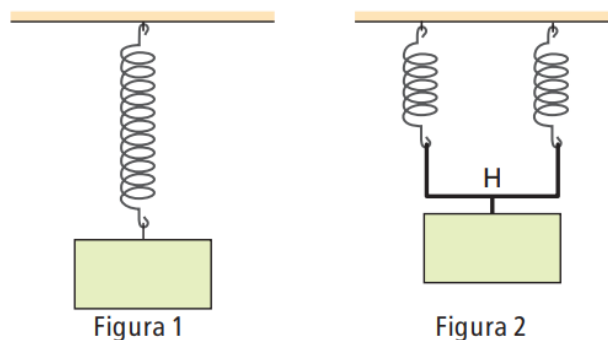
- Sendo $L = 0,4$ m o comprimento do pêndulo, calcule a frequência de suas oscilações.
- Qual deve ser a frequência máxima do estroboscópio para que esse pêndulo pareça estar parado na posição vertical? Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

6. (OBF) Um antigo relógio tipo carrilhão é acionado pelas oscilações de um pêndulo de aço (coeficiente de dilatação linear igual a $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) que, no inverno, realiza uma oscilação completa em 1,0 s. Sabendo-se que no verão esse relógio passa a atrasar o equivalente a 2,0 min por mês, determine a diferença entre as temperaturas médias no verão e no inverno.

7. (Tiago) Um pêndulo simples de amplitude $\theta = 5^\circ$ e corda de comprimento $L = 1,2 \text{ m}$ oscila com uma esfera de massa 5,0 kg. Sabendo que a aceleração da gravidade é de 10 m/s^2 , calcule a energia mecânica do sistema (tomando como referencial o ponto mais baixo atingido pelo pêndulo) e a velocidade máxima que a esfera atinge. Use aproximações, despreze qualquer ação de forças dissipativas e considere $\pi = 3,14$.



8. (OBF) A figura 1 representa um bloco em repouso, suspenso a uma mola de constante elástica K_1 , deformada elasticamente de x_1 . A mola é cortada ao meio e o mesmo corpo é suspenso às duas metades por meio de uma haste H, de massa desprezível, ficando em repouso (figura 2). Cada metade apresenta-se deformada elasticamente de x_2 .



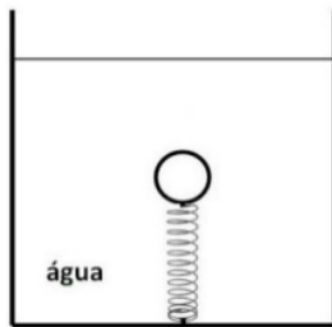
Determine:

- a constante elástica K_2 do conjunto constituído pelas duas metades da mola, em função de K_1 ;
- a deformação x_2 , em função de x_1 .

9. (ITA) Uma técnica muito empregada para medir o valor da aceleração da gravidade local é aquela que utiliza um pêndulo simples. Para se obter a maior precisão no valor de g deve-se:

- a) usar uma massa maior.
- b) usar um comprimento menor para o fio.
- c) medir um número maior de períodos.
- d) aumentar a amplitude das oscilações.
- e) fazer várias medidas com massas diferentes.

10. (UFPR) Uma esfera homogênea e de material pouco denso, com volume de $5,0 \text{ cm}^3$, está em repouso, completamente imersa em água. Uma mola, disposta verticalmente, tem uma de suas extremidades presa ao fundo do recipiente e a outra à parte inferior da esfera, conforme figura ao lado. Por ação da esfera, a mola foi deformada em $0,1 \text{ cm}$, em relação ao seu comprimento quando não submetida a nenhuma força deformadora. Considere a densidade da água como $1,0 \text{ g/cm}^3$, a aceleração gravitacional como 10 m/s^2 e a densidade do material do qual a esfera é constituída como $0,1 \text{ g/cm}^3$. Com base nas informações apresentadas, calcule a constante elástica dessa mola.



11. (ITA) Uma partícula de massa m move-se sobre uma linha reta horizontal num Movimento Harmônico Simples (MHS) com centro O . Inicialmente, a partícula encontra-se na máxima distância x_0 de O e, a seguir, percorre uma distância a no primeiro segundo e uma distância b no segundo seguinte, na mesma direção e sentido. Quanto vale a amplitude x_0 desse movimento?

- a) $2a^3 / (3a^2 - b^2)$
- b) $2b^2 / (4a - b)$
- c) $2a^2 / (3a - b)$
- d) $2a^2b / (3a^2 - b^2)$
- e) $4a^2 / (3a - 2b)$

C.2 Ondas - Teoria

Definições básicas e classificação

Ondas são fenômenos onde a energia de uma perturbação é transportada/propagada sem movimento de matéria.

Classificação quanto à natureza:

- Mecânicas: necessitam de um meio material para se propagar. Ex: som.
- Eletromagnéticas: são geradas por variações nos campos elétricos e magnéticos. Podem se propagar pelo vácuo. Ex: luz.

Classificação quanto à propagação:

- Transversais: direção de vibração perpendicular à direção de propagação. Ex: ondas eletromagnéticas; ondas em cordas.
- Longitudinais: direções de vibração e propagação são iguais. Não são polarizáveis. Ex: som.

Velocidade de propagação em uma corda

Fórmula de Taylor:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\delta}}$$

onde F é a força de tensão a qual a corda está submetida e δ é a densidade linear da corda (kg/m).

$$\delta = \frac{m}{l}$$

Elementos notáveis

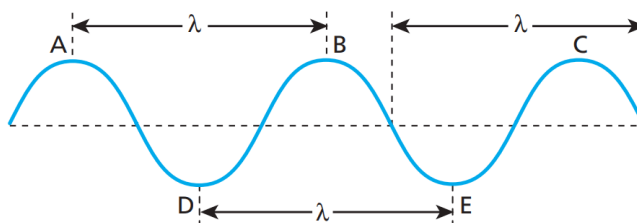
v = velocidade de propagação (m/s)

λ = comprimento de onda (m)

T = período (s)

f = frequência (Hz)

A = amplitude (m)



Amplitude é a distância crista-eixo ou vale-eixo.

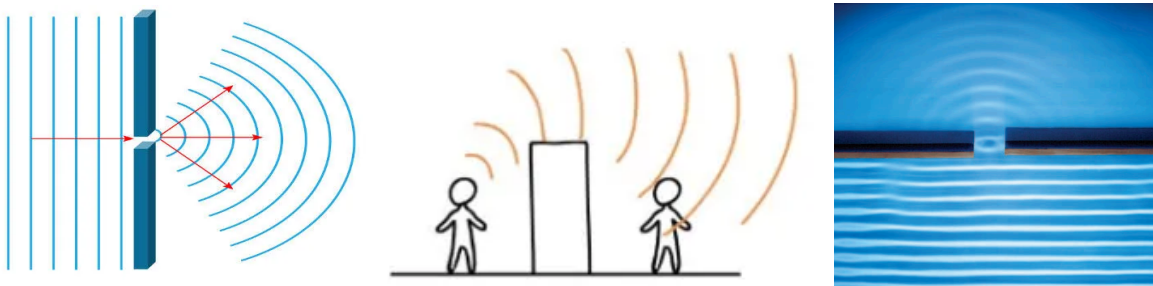
Equação fundamental da ondulatória

$$v = \lambda f$$

Difração

A difração ocorre quando as ondas encontram obstáculos sólidos e os contornam, mudando apenas a forma da onda (timbre).

Princípio de Huygens: cada e qualquer ponto de uma frente de onda é uma potencial fonte de novas ondas, em difrações.



Se $\lambda \approx d \rightarrow$ espalhamento (“scattering”).

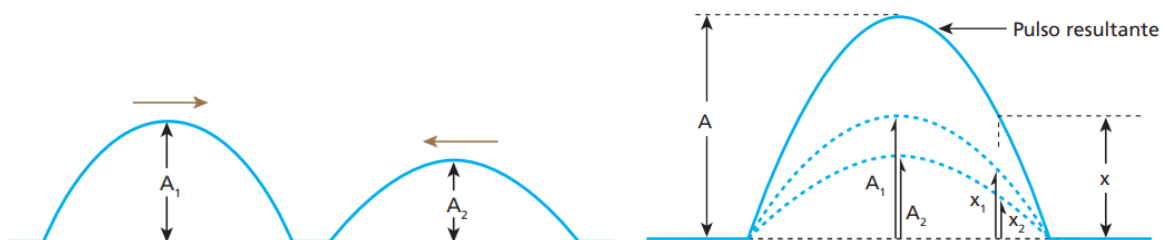
Obs: quanto maior o obstáculo/fenda, menor as mudanças difrativas.

Interferência entre ondas

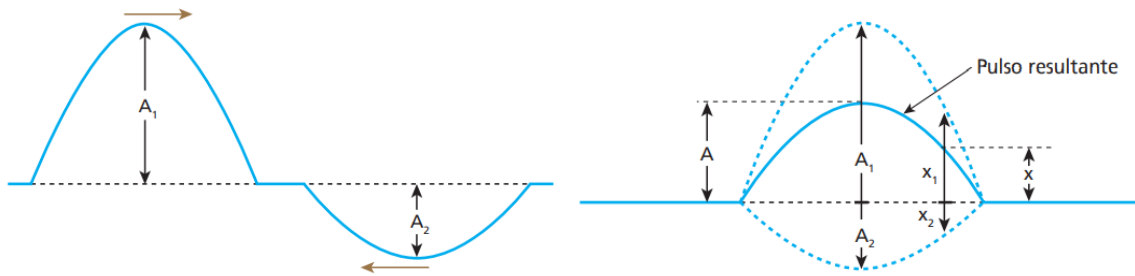
Sobreposição de ondas gerando novos padrões de intensidade e de nível sonoro.

Em 1 dimensão:

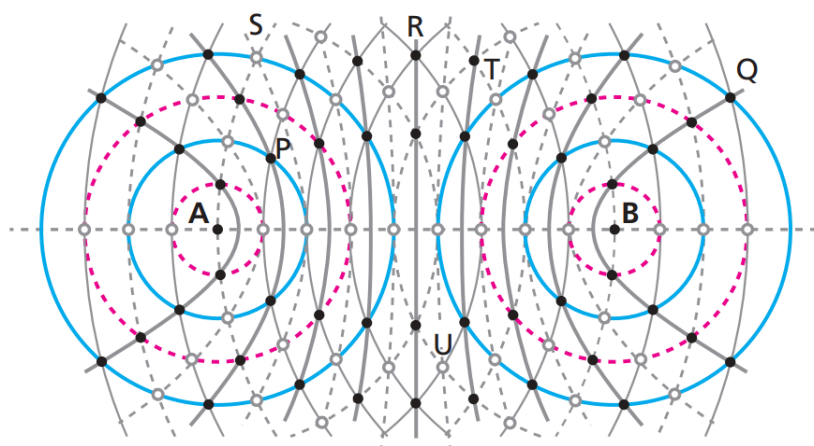
Interferência construtiva: máximo de intensidade, reforço, clarão/sonido.



Interferência destrutiva: mínimo de intensidade, atenuação, escuro/silêncio.



Em 2 dimensões:



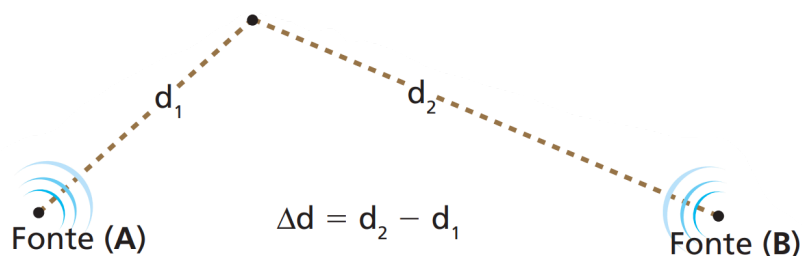
Existem duas fontes, F_1 e F_2 . Seja x_1 a distância de F_1 até um ponto P e x_2 a distância de F_2 até o mesmo ponto P.

$$\Delta x = \frac{n\lambda}{2}$$

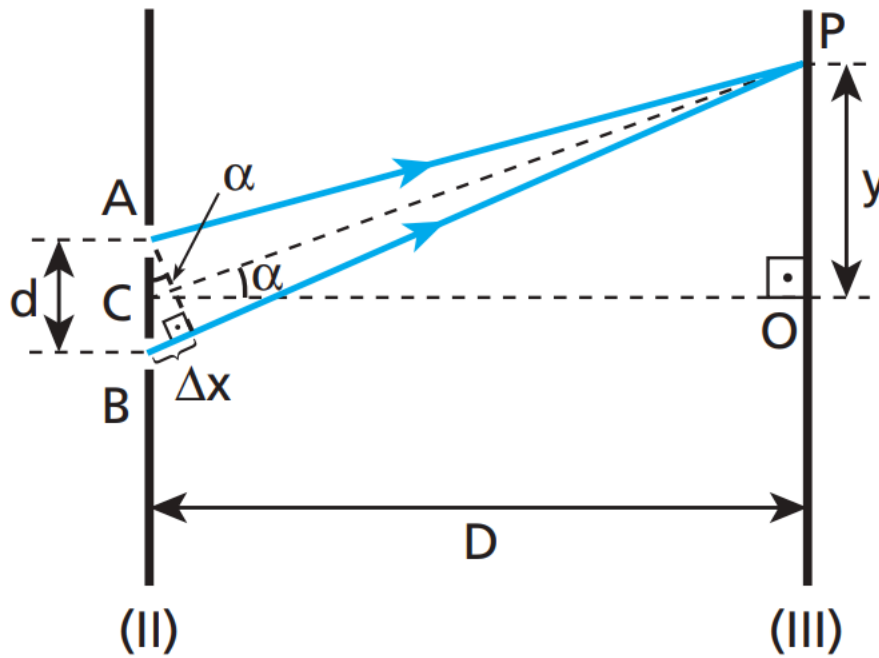
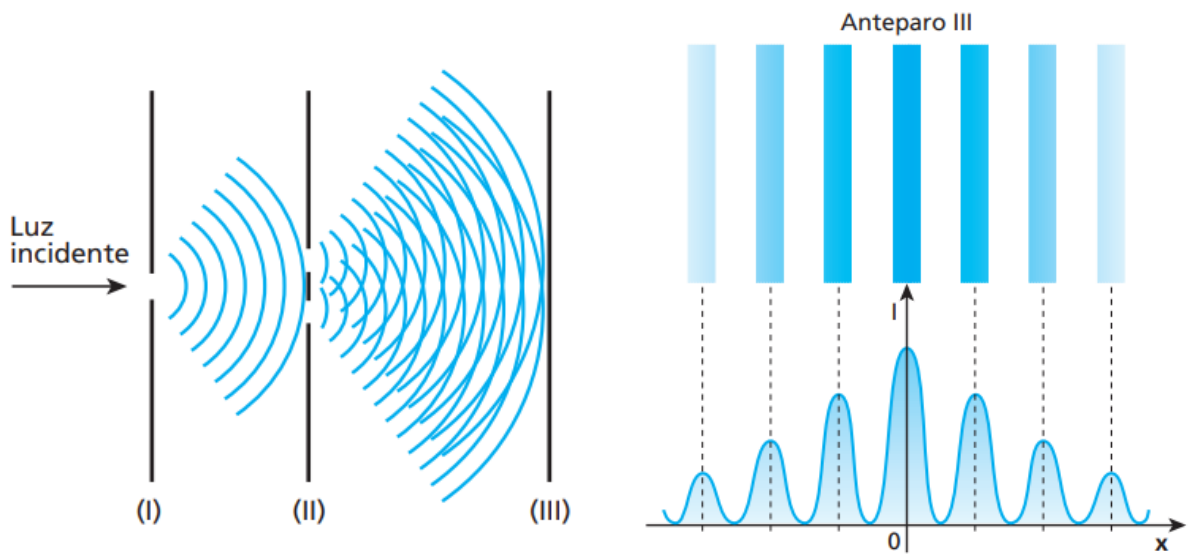
em que $n = 0, 1, 2, 3, 4, 5, \dots$

Com F_1 e F_2 em fase: n par = interferência construtiva; n ímpar = interferência destrutiva.

Com F_1 e F_2 em contrafase: n ímpar = interferência construtiva; n par = interferência destrutiva.



Experimento de Young (fendas duplas)



Também é válido:

$$\Delta x = \frac{n\lambda}{2}$$

Aproximação:

$$y = \frac{D}{d} \cdot \frac{n\lambda}{2}$$

Intensidade ondulatória (I)

$$I = \frac{P_{ot}}{S}$$

onde P_{ot} é a potência e S é a área superficial.

Timbre da onda

É uma característica da fonte de onda. É a forma da onda, que é dada pela combinação de harmônicos.

Altura da onda

Tem a ver com a frequência da onda, ou com a nota. O som alto é agudo e o som baixo é grave.

Nível da onda (β)

Mede a agressividade, a intensidade relativa da onda. A unidade é dB (decibel).

$$\beta = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

onde I_0 é o limiar de intensidade. O limiar da audição é $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

Fenômenos relacionados ao som

Uníssonos: em uma reflexão com uma superfície rígida e plana, uníssonos ocorrem quando o tempo entre o som que vai e o que volta for quase ou for zero.

Reverberação: é a fusão parcial dos sons refletidos e incidentes. Ocorre com Δt de até 0,1 s.

Eco: fissão (separação) dos sons incidentes e refletidos. Ocorre quando se está a uma distância d da superfície refletora, tal que $d > 17 \text{ m}$, pois $\Delta t > 0,1 \text{ s}$.

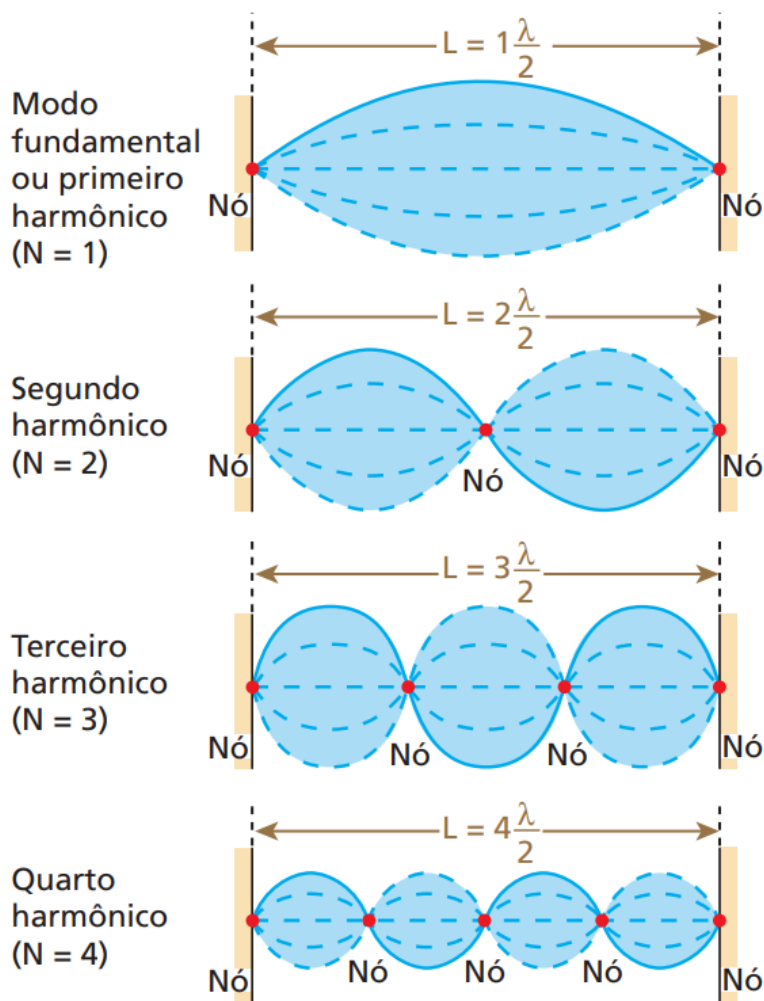
Obs: 0,1 s é o tempo de percepção acústica para seres humanos.

Batimento: quando duas ondas sonoras com frequências diferentes, mas muito próximas, chegam aos nossos ouvidos simultaneamente, percebemos uma variação na intensidade do som resultante, ela aumenta e diminui alternadamente.

Ressonância: um sistema físico é dito em ressonância com um agente excitador quando recebe excitações periódicas numa frequência igual a uma de suas frequências naturais de vibração. Com a energia recebida, o sistema físico passa a vibrar com amplitudes cada vez maiores, até que ele tenha o seu limite de elasticidade ultrapassado, o que pode provocar o seu rompimento.

Ondas estacionárias → cordas vibrantes

I) Ambifixas



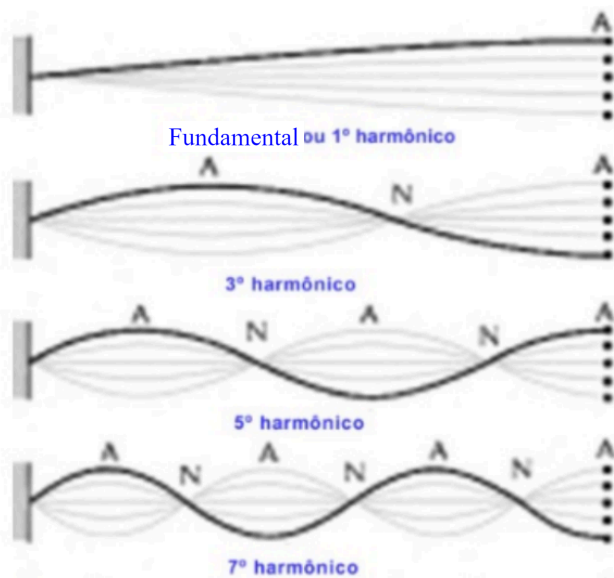
$$L = \frac{n\lambda_n}{2}$$

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$

$$f_n = \frac{nv}{2L} = nf_1$$

$$n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

II) Monofixas



$$L = \frac{n\lambda_n}{4}$$

$$\lambda_n = \frac{4L}{n}$$

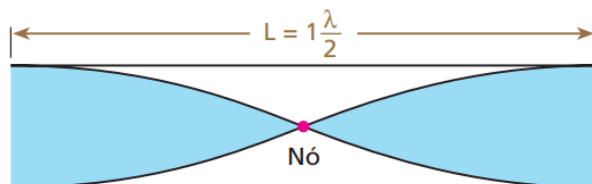
$$f_n = \frac{nv}{4L} = nf_1$$

$$n = 1, 3, 5, 7, \dots$$

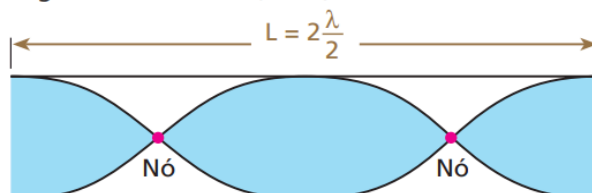
Ondas estacionárias → tubos sonoros

I) Tubos abertos

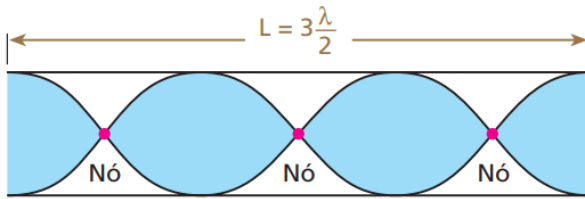
Modo fundamental ou primeiro harmónico (N = 1)



Segundo harmónico (N = 2)



Terceiro harmônico (N = 3)



$$L = \frac{n\lambda_n}{2}$$

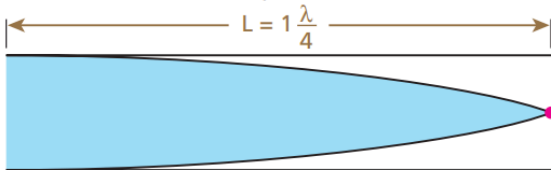
$$\lambda_n = \frac{2L}{n}$$

$$f_n = \frac{nv}{2L} = nf_1$$

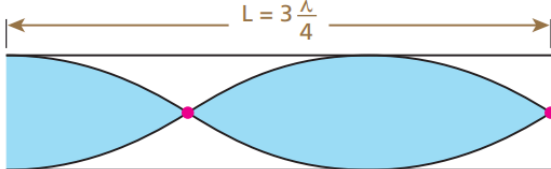
$n = 1, 2, 3, 4, \dots$

II) Tubos com uma extremidade fechada (semiabertos)

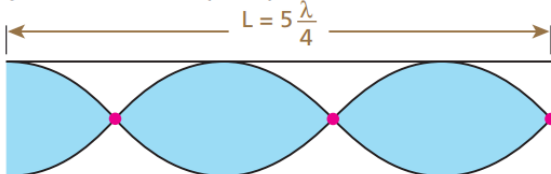
Modo fundamental ou primeiro harmônico (N = 1)



Terceiro harmônico (N = 3)



Quinto harmônico (N = 5)



$$L = \frac{n\lambda_n}{4}$$

$$\lambda_n = \frac{4L}{n}$$

$$f_n = \frac{nv}{4L} = nf_1$$

$n = 1, 3, 5, 7, \dots$

Obs: ondas estacionárias são ondas que se estabelecem em cordas ou tubos de tal modo que as refletidas interferem com as incidentes, gerando nós fixos.

Efeito Doppler

Ocorre quando temos movimento relativo da fonte e do observador em relação ao som.

O = observador; F = fonte; S = som.

$$\frac{f_o}{v_S \pm v_o} = \frac{f_F}{v_S \pm v_F}$$

Aproximação: desvio para o agudo (ou blueshift para a luz).

Afastamento: desvio para o grave (ou redshift para a luz).

Doppler relativístico

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

$$f_o = f_F \sqrt{\frac{1 \pm \beta}{1 \mp \beta}}$$

Se o observador está se aproximando da fonte, $f_o > f_F$, então +/–

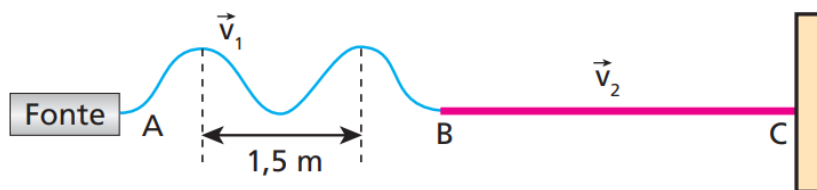
Se o observador está se afastando da fonte, $f_o < f_F$, então –/+

C.2 Ondas - Questões

1. (Tópicos) Um banhista, parado em relação à Terra, conta em uma praia a passagem de 21 cristas de onda equiespaçadas pelo seu corpo. O intervalo de tempo decorrido no evento é de 80 s. Conhecendo a velocidade de propagação das ondas (1,0 m/s), determine o comprimento de onda das ondas do mar nesse local.

2. (Tópicos) Traciona-se uma corda homogênea de 4,0 m de comprimento com uma força de intensidade 50 N. Ondas produzidas nessa corda propagam-se com velocidade de 10 m/s. Qual é a massa da corda?

3. (Tópicos) A figura representa uma onda transversal periódica que se propaga nas cordas AB e BC com as velocidades v_1 e v_2 , de módulos respectivamente iguais a 12 m/s e 8,0 m/s.



Nessas condições, o comprimento de onda na corda BC, em metros, é:

- a) 1,0.
- b) 1,5.
- c) 2,0.
- d) 3,0.
- e) 4,0.

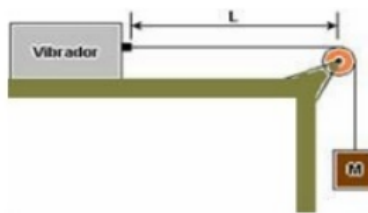
4. (UFPR) Uma onda é produzida numa corda de modo que a velocidade de propagação vale $v = 5$ m/s. Sabe-se que a distância entre dois nós sucessivos dessa onda é de 5 mm. Considerando as informações apresentadas, calcule o período T da onda na corda, em milissegundos.

5. (Tópicos) Uma emissora de rádio AM opera com frequência de 600 kHz e sua antena transmissora está distante 180 km de um determinado aparelho receptor. Entre a antena e o receptor o solo é praticamente plano e horizontal e não existem barreiras prejudicando a propagação das ondas de telecomunicações, que, no local, têm velocidade de intensidade $3,0 \cdot 10^8$ m/s. O sinal que atinge o receptor chega por dois caminhos: o direto e o via reflexão na ionosfera, admitida paralela à superfície terrestre e situada, num instante $t_0 = 0$, a 120 km de altitude. Nesse instante, o receptor recebe um sinal resultante reforçado como consequência da interferência construtiva ocorrida entre os dois sinais que o atingem. Em seguida, o sinal captado torna-se mais fraco, voltando, pela primeira vez, a apresentar-se intensificado como antes no instante $t = 2,6$ min. Isso pode ser explicado pelo fato de a ionosfera ter-se aproximado do solo com uma velocidade escalar média do módulo v .

- Calcule o comprimento de onda λ das ondas irradiadas pela emissora.
- Determine o valor de v .

6. (Kuardo) Para produzir um equipamento seguro e durável, um fabricante de violões deve analisar a força ao qual o braço do instrumento será submetido pela tensão das cordas. Para tal, o fabricante adotou como força média a força exercida pela corda de violão afinada em Lá ($f = 440$ Hz e $\lambda = 77$ cm), que possui densidade de $0,78$ g/cm³ e secção transversal de 4 mm². Calcule a força de tensão encontrada, em Newtons, pelo fabricante.

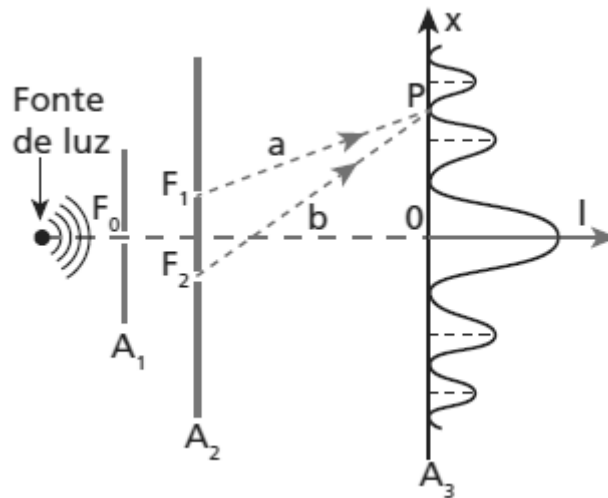
7. (Kuardo) A figura a seguir mostra uma corda de densidade linear igual a 1 g/m, que passa por uma roldana. A sua extremidade esquerda está presa a um vibrador e, na extremidade direita, pendura-se um corpo de massa M . Nessa situação, quando a distância L , entre o vibrador e a roldana, for $0,5$ m e a vibração estiver na frequência de 200 Hz, a corda vibrará no modo fundamental. Com base nesses dados, o valor de M deve ser igual a:



($g = 10$ m/s²)

- 3 kg.
- 4 kg.
- 5 kg.
- 6 kg.
- 7 kg.

8. (UFBA) Na experiência de Thomas Young, a luz monocromática difratada pelas fendas F_1 e F_2 se superpõe na região limitada pelos anteparos A_2 e A_3 , produzindo o padrão de interferência mostrado na figura.



Sabendo que a luz utilizada tem frequência igual a $6,0 \times 10^{14}$ Hz e se propaga com velocidade de módulo igual a $3,0 \times 10^8$ m/s, determine, em unidades do Sistema Internacional, a diferença entre os percursos ópticos a e b dos raios que partem de F_1 e F_2 e atingem o ponto P .

9. (ITA 2016) Enquanto em repouso relativo a uma estrela, um astronauta vê a luz dela como predominantemente vermelha, de comprimento de onda próximo a 600 nm. Acelerando sua nave na direção da estrela, a luz será vista como predominantemente violeta, de comprimento de onda próximo a 400 nm, ocasião em que a razão da velocidade da nave em relação à da luz será de:

- a) 1/3
- b) 2/3
- c) 4/9
- d) 5/9
- e) 5/13

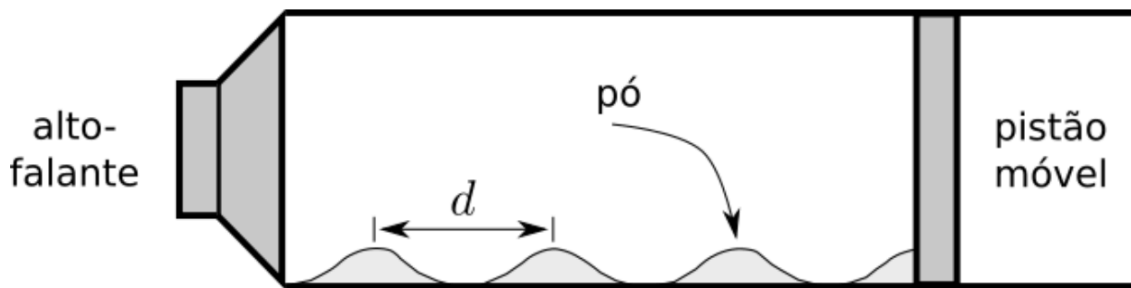
10. (Efofm 2017) Um cubo de 25,0 kg e 5,0 m de lado flutua na água. O cubo é, então, afundado ligeiramente para baixo por Dona Marize e, quando liberado, oscila em um movimento harmônico simples com uma certa frequência angular. Desprezando-se as forças de atrito, calcule a frequência angular.

11. (UNIT – AL) A garganta pode ser considerada como um tipo de tubo de ressonância aproximadamente fechada e a extremidade superior aberta, por onde os sons são levados à boca. Se a frequência do primeiro harmônico deste tubo em um jovem adulto é igual a 400,0 Hz e a velocidade do som no ar é de 340 m/s, então qual é o comprimento do tubo, em cm?

12. (Escola Naval 2013) Uma fonte sonora, emitindo um ruído de 450 Hz de frequência, move-se em um círculo de raio igual a 50,0 cm, com uma velocidade angular de 20,0 rad/s. Considere o módulo da velocidade do som igual a 340 m/s em relação ao ar parado. A razão entre a menor e a maior frequência ($f_{\text{menor}} / f_{\text{maior}}$) percebida por um ouvinte posicionado a uma grande distância e, em repouso, em relação ao centro do círculo, é:

- a) 33/35
- b) 1
- c) 7/9
- d) 11/15

13. (OBF 2019 - Segunda Fase) A figura abaixo mostra um tubo utilizado para medir a velocidade do som em gases. O interior do tubo é preenchido com gás hidrogênio a temperatura de 25 °C e um pó muito fino e pouco denso. A extremidade direita do tubo possui um pistão móvel, e a extremidade esquerda possui um alto-falante que emite na frequência de 1000 Hz. Ajustando o comprimento do tubo por meio do pistão móvel até que ele entre em ressonância com a frequência do alto-falante, observa-se a formação de pequenos montes de pó, sendo que o espaçamento médio entre os picos desses montes é $d = 63,5$ cm. Nessas condições, qual é a velocidade do som no gás hidrogênio?



D. Óptica Geométrica

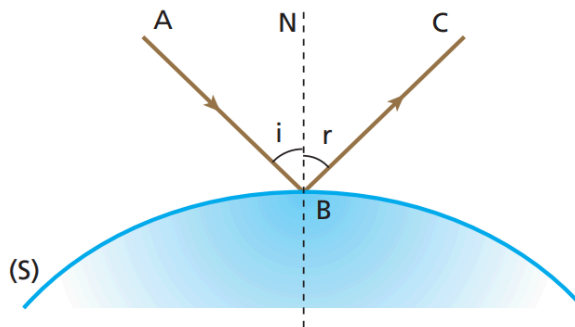
D.1. Princípios da Óptica Geométrica e Espelhos - Teoria

Princípios da Óptica Geométrica

- Princípio da reversibilidade do trajeto de luz;
- Princípio da independência dos feixes de luz;
- Princípio da propagação retilínea da luz (Caso particular do Princípio de Fermat).

Reflexão da luz

Regiões espaciais: espelhos planos (superfície muito lisa, foco impróprio, ocorre reflexão regular).



AB: raio incidente

BC: raio refletido

N: reta normal

i: ângulo de incidência

r: ângulo de reflexão

1ª lei da reflexão: raio incidente, raio refletido e reta normal são coplanares.

2ª lei da reflexão: $i = r$.

Desvio angular = $d = 2i = 2r$.

Espelhos planos

Sistema afocal (foco é impróprio: $f \rightarrow \infty$). Superfície especular.

A imagem é: reversa/enantiomorfa, igual, simétrica, virtual e direita.

Translação de espelhos planos

Para o observador em repouso e o espelho em movimento, temos:

$$v_{i,s} = 2v_{E,s}$$

onde $v_{i,s}$ é a velocidade da imagem em relação ao solo e $v_{E,s}$ é a velocidade do espelho em relação ao solo.

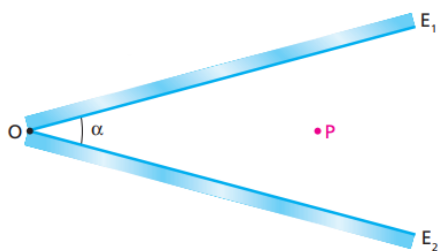
Rotação de espelhos planos

Se o espelho for rotacionado compreendendo uma variação angular de θ_E , então:

$$\theta_i = 2\theta_E$$

onde θ_i é a variação angular da imagem.

Associação de espelhos planos



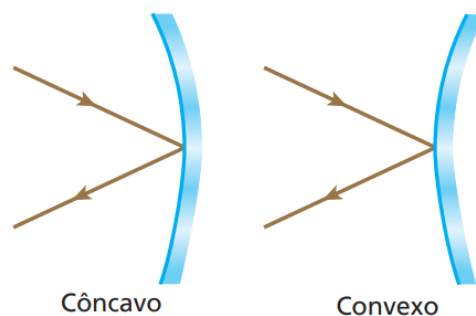
$$N = \frac{360}{\alpha} - 1$$

N é o número de imagens por objeto, e α é o ângulo entre os espelhos.

Lugar geométrico: há um círculo que engloba todas as imagens, o objeto, e tem centro C no encontro dos dois espelhos.

Espelhos esféricos

Espelho esférico é uma calota esférica na qual uma das superfícies é refletora.



Objeto real: $p > 0$

Imagem real: $p' > 0$

Imagem virtual: $p' < 0$

Espelho côncavo: $f > 0$

Espelho convexo: $f < 0$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Seja A o aumento linear transversal:

$$A = \frac{i}{o} = \frac{-p'}{p}$$

$$A = \frac{f}{f - p}$$

i e o com mesmo sinal: imagem direita

i e o com sinais opostos: imagem invertida

Raios notáveis:

- Chega paralelo, sai na direção do foco.
- Chega na direção do foco, sai paralelo.
- Chega pelo centro de curvatura, reflete sobre si mesmo.

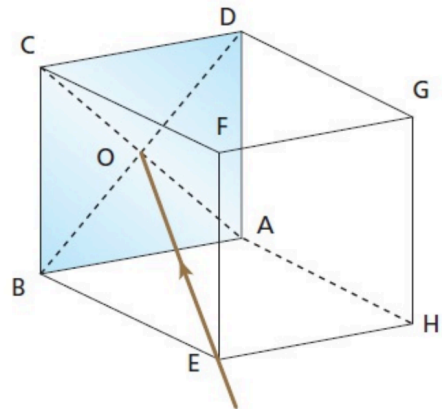
Todas as vezes em que a imagem é real, ela também é invertida.

Todas as vezes em que a imagem é virtual, ela também é direita.

Em espelhos convexos, a imagem é sempre menor, virtual e direita.

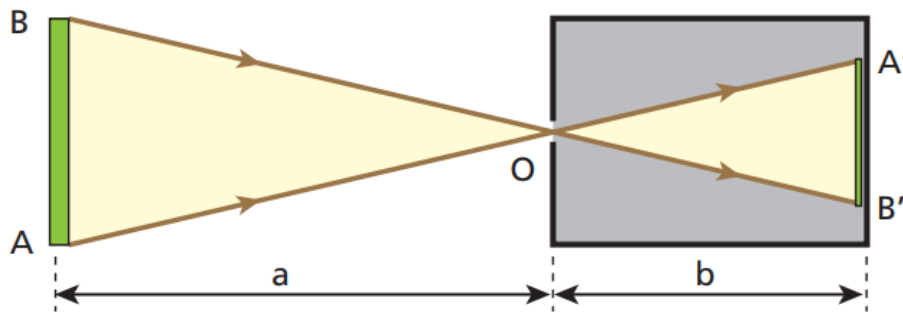
D.1. Princípios da Óptica Geométrica e Espelhos - Questões

1. (Tópicos) Considere a caixa cúbica representada abaixo, em que a face ABCD é espelhada, de tal modo que a superfície refletora seja voltada para dentro da caixa. Suponha que um raio luminoso penetre na caixa pelo vértice E e incida no ponto O, centro do espelho. Você poderá, então, afirmar que o correspondente raio refletido sairá da caixa pelo vértice:



- a) C
- b) G
- c) F
- d) H
- e) A

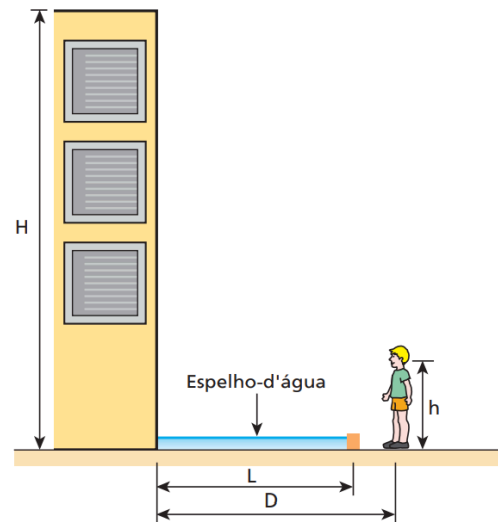
2. (Tópicos) O esquema representa o corte de uma câmara escura de orifício, diante da qual existe um corpo luminoso AB de 40 cm de comprimento:



Considerando $a = 100$ cm e $b = 20$ cm, calcule o comprimento da figura A'B' projetada na parede do fundo da câmara.

3. (Tópicos) Um objeto luminoso e linear é colocado a 20 cm do orifício de uma câmara escura, obtendo-se, em sua parede do fundo, uma figura projetada de 8,0 cm de comprimento. O objeto é então afastado, sendo colocado a 80 cm do orifício da câmara. Calcule o comprimento da nova figura projetada na parede do fundo da câmara.

4. (Tópicos) Um garoto, cujo globo ocular está a uma altura h em relação ao solo, observa que a imagem completa de um prédio de altura H , situado a uma distância D da vertical do seu corpo, abrange toda a extensão L de um espelho-d'água existente defronte do prédio.

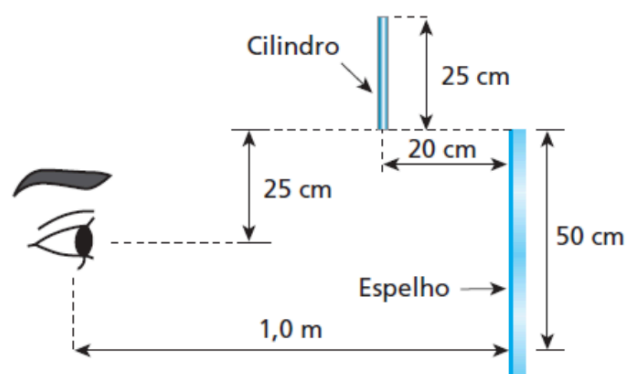


Sabendo que o espelho tem o valor mínimo necessário para que o garoto enxergue o prédio inteiro e que $h = 1,5 \text{ m}$, $L = 3,2 \text{ m}$ e $D = 3,6 \text{ m}$, calcule o valor de H .

5. (Ufal) Um espelho plano está no piso horizontal de uma sala com o lado espelhado voltado para cima. O teto da sala está a $2,40 \text{ m}$ de altura e uma lâmpada está a 80 cm do teto. Com esses dados, pode-se concluir que a distância entre a lâmpada e sua imagem formada pelo espelho plano é, em metros, igual a:

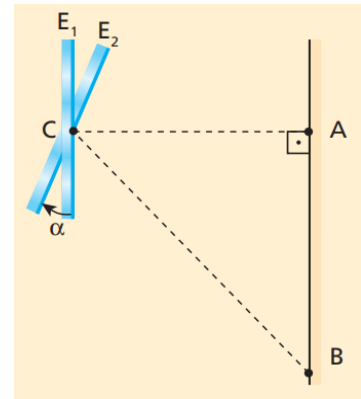
- a) 1,20.
- b) 1,60.
- c) 2,40.
- d) 3,20.
- e) 4,80.

6. (Faap) Um cilindro de 25 cm de altura e de diâmetro desprezível foi abandonado de uma posição tal que sua base inferior estava alinhada com a extremidade superior de um espelho plano de 50 cm de altura e a 20 cm deste. Durante sua queda, ele é visto, assim como sua imagem, por um observador, que se encontra a 1 m do espelho e a meia altura deste.

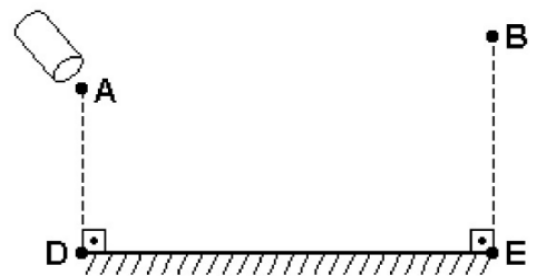


Calcule por quanto tempo o observador ainda vê a imagem do cilindro (total ou parcial), que permanece vertical durante a queda. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

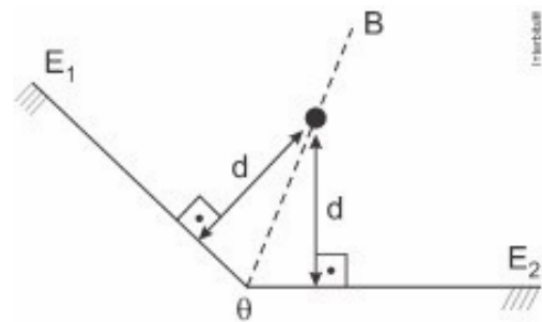
7. (Tópicos) A figura a seguir representa um espelho plano que pode girar em torno de um eixo contendo seu centro C . Estando na posição E_1 , o espelho capta a luz proveniente de uma fonte pontual A , fixa no anteparo, refletindo-a de volta ao ponto de partida. O espelho sofre, então, uma rotação equivalente a um ângulo α , passando para a posição E_2 . Nesse caso, ao receber a luz emitida por A , reflete-a para o ponto B . Sabendo que $AB = \sqrt{3} AC$, calcule o ângulo α .



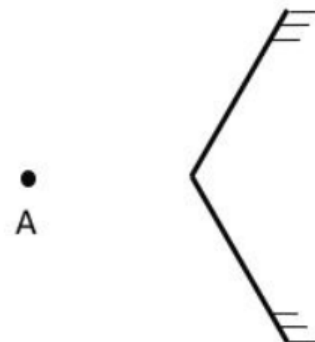
8. (ITA 2007) Um raio de luz de uma lanterna acesa em A ilumina o ponto B , ao ser refletido por um espelho horizontal sobre a semirreta DE da figura, estando todos os pontos num mesmo plano vertical. Determine a distância entre a imagem virtual da lanterna A e o ponto B . Considere $AD = 2$ m, $BE = 3$ m e $DE = 5$ m.



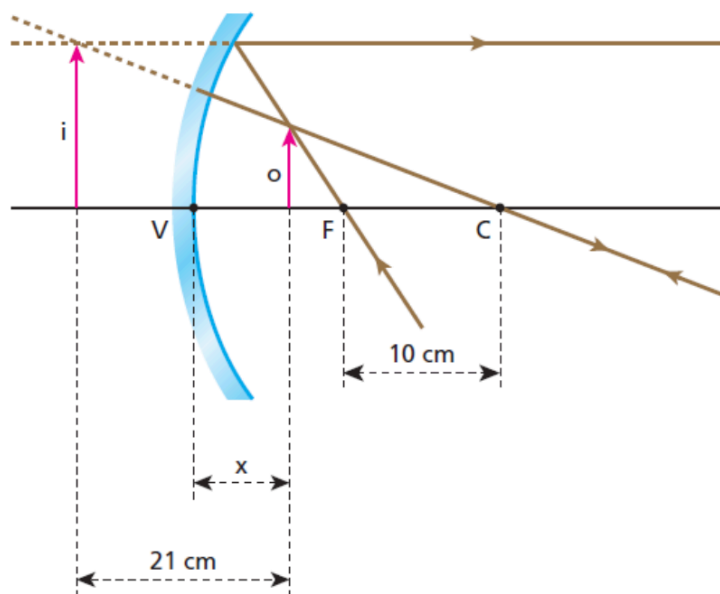
9. (Upe 2015) Dois espelhos planos, E_1 e E_2 são posicionados de forma que o maior ângulo entre eles seja igual a $\theta = 240^\circ$. Um objeto pontual está posicionado à mesma distância d até cada espelho, ficando na reta bissetriz do ângulo entre os espelhos, conforme ilustra a figura. Sabendo que a distância entre as imagens do objeto é igual a 1,0m, determine o valor da distância d .



10. Dois espelhos planos verticais formam um ângulo de 120° , conforme a figura. Um observador está no ponto A . Quantas imagens de si mesmo ele verá?



11. (Mack-SP) Um objeto real O encontra-se diante de um espelho esférico côncavo, que obedece às condições de Gauss, conforme o esquema abaixo:



Sendo C o centro da curvatura do espelho e F seu foco principal, calcule a distância x entre o objeto e o vértice V do espelho.

12. Uma pessoa deseja projetar uma imagem $3x$ maior em uma tela, usando um espelho côncavo de $R = 6$ m. Calcule a distância do objeto ao espelho e a distância da tela ao espelho.

13. Uma pessoa está a 4 m de um espelho convexo de $R = 4$ m. Calcule a distância focal, a abscissa da imagem e o aumento linear transversal.

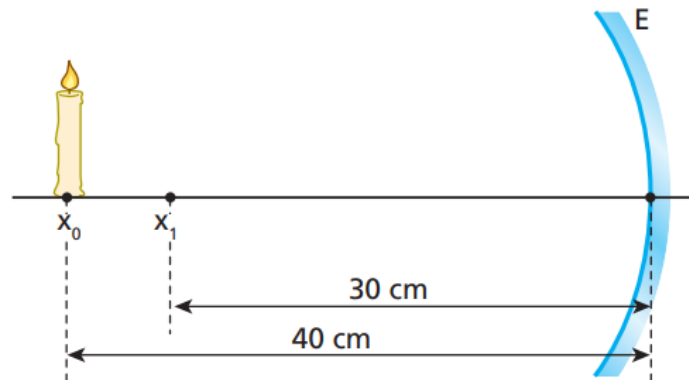
14. Um homem situado a $2,0$ m do vértice de um espelho esférico visa sua imagem direita e ampliada três vezes. Determine: a) a distância focal do espelho. b) sua natureza (côncavo ou convexo).

15. (Mack-SP) Um objeto real se encontra diante de um espelho esférico côncavo, a 10 cm de seu vértice, sobre o eixo principal. O raio de curvatura desse espelho é de 40 cm. Se esse objeto se deslocar até o centro de curvatura do espelho, qual será a distância entre a imagem inicial e a imagem final?

16. Diante de um espelho esférico, perpendicularmente ao seu eixo principal, é colocado um objeto luminoso a 15 cm do vértice. Deseja-se que a imagem correspondente seja projetada num anteparo e tenha quatro vezes o comprimento do objeto. Determine:

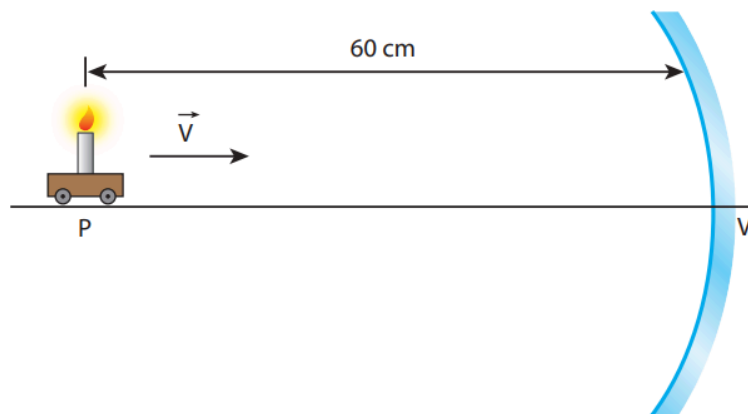
- se a imagem é real ou virtual, direita ou invertida.
- a distância do anteparo ao vértice do espelho para que a imagem seja nítida.
- a distância focal do espelho.

17. Em um experimento de Óptica Geométrica dispuseram-se um toco de vela e um espelho côncavo gaussiano E, de distância focal igual a 20 cm, como representa a figura:



O toco de vela foi deslocado de x_0 a x_1 , com velocidade escalar de módulo 1,0 cm/s. Enquanto o toco de vela foi deslocado, qual foi o módulo da velocidade escalar média da imagem, expresso em centímetros por segundo?

18. Uma vela se aproxima de um espelho esférico côncavo com velocidade escalar constante igual a 5 cm/s. Ao passar pelo ponto P, que está a 60 cm do vértice V do espelho, observa-se que a imagem conjugada pelo espelho é real e tem a metade da altura do objeto.

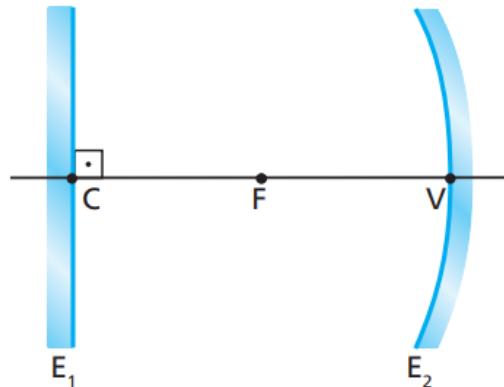


De acordo com o referencial de Gauss, o intervalo de tempo necessário para que a imagem se torne virtual é:

- a) 2 s.
- b) 4 s.
- c) 6 s.
- d) 8 s.
- e) 10 s.

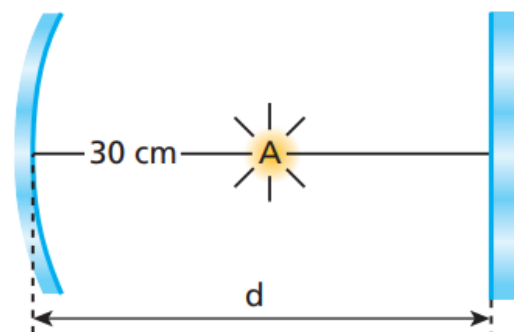
19. (UFSC) A distância entre a imagem e um objeto colocado em frente a um espelho côncavo é de 16 cm. Sabendo que a imagem é direita e 3 vezes maior, determine o raio de curvatura do espelho, em centímetros.

20. No esquema a seguir, E_1 é um espelho plano e E_2 é um espelho esférico côncavo de raio de curvatura $R = 60$ cm. C , F e V são, respectivamente, em relação a E_2 , o centro de curvatura, o foco e o vértice. Em F , é colocada uma fonte pontual de luz. Determine a distância da fonte à sua imagem, considerando que a luz sofre dupla reflexão, primeiro em E_1 e posteriormente em E_2 .

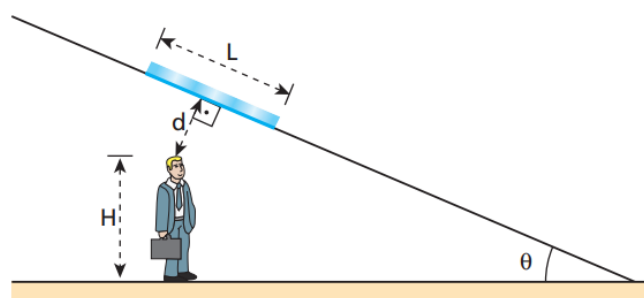


21. (ITA-SP) Um espelho plano está colocado em frente de um espelho côncavo, perpendicularmente ao eixo principal. Uma fonte luminosa pontual A , colocada sobre o eixo principal entre os dois espelhos, emite raios que se refletem sucessivamente nos dois espelhos e formam, sobre a própria fonte A , uma imagem real desta. O raio de curvatura do espelho é 40 cm e a distância do centro da fonte A até o vértice do espelho esférico é de 30 cm. A distância d do espelho plano até o vértice do espelho côncavo é, então:

- a) 20 cm.
- b) 30 cm.
- c) 40 cm.
- d) 45 cm.
- e) 50 cm.



22. (OBF – adapt.) A figura a seguir ilustra uma pessoa de altura H posicionada diante de um espelho plano fixado em uma parede inclinada de um ângulo θ em relação ao solo.



Supondo-se conhecida a distância d entre o topo da cabeça da pessoa e o espelho e desprezando-se a distância entre seus olhos e o topo de sua cabeça, pede-se determinar: a) o comprimento mínimo L do espelho para que a pessoa possa se ver de corpo inteiro. b) o valor de L para o caso particular em que $\theta = 90^\circ$. c) a distância Y entre a borda inferior do espelho e o solo na situação do item b.

D.2. Refração da Luz - Teoria

Índice de refração

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

$$n \geq 1$$

$$n = 1 \text{ (v\u00e1cuo)}$$

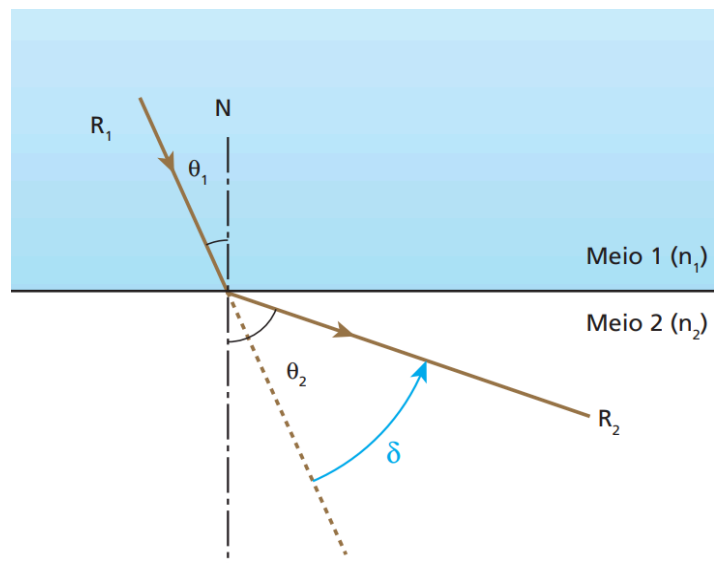
$$n \approx 1 \text{ (ar)}$$

\u00cdndices relativos:

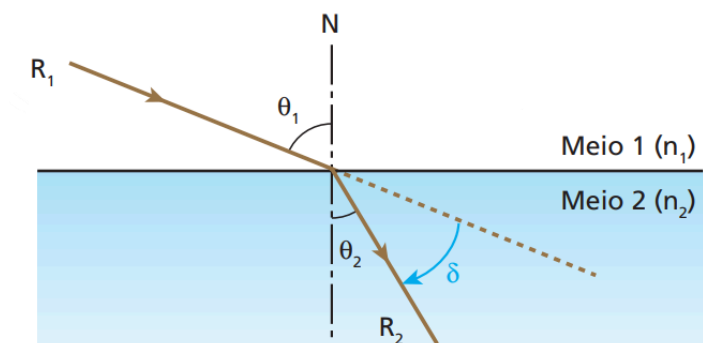
$$n_{A,B} = \frac{n_A}{n_B}$$

Refra\u00e7\u00e3o da luz

DO MAIS PARA O MENOS,
AFASTEMOS.



DO MENOS PARA O MAIS,
APROXIMAIS.



Lei de Snell-Descartes

$$n_1 \text{sen}(i) = n_2 \text{sen}(r)$$

$$\frac{\text{sen}(i)}{\text{sen}(r)} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\frac{\text{sen}(i)}{\text{sen}(r)} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Ângulo limite e reflexão total

Seja L o ângulo limite:

$$\text{sen } L = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}}$$

A reflexão total ocorre quando:

- $i \geq L$;

- a luz deve dirigir-se do meio mais refringente para o meio menos refringente.

Dioptro plano

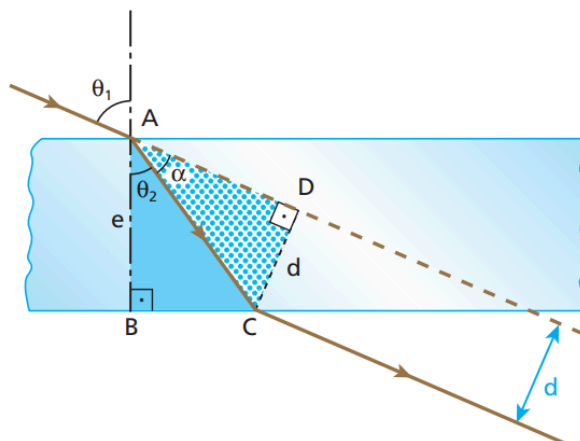
Observador no meio menos refringente: para esse observador, o resto dos objetos localizados no outro meio parece maiores e mais próximos.

Observador no meio mais refringente: para esse observador, o resto dos objetos localizados no outro meio parece menores e mais afastados.

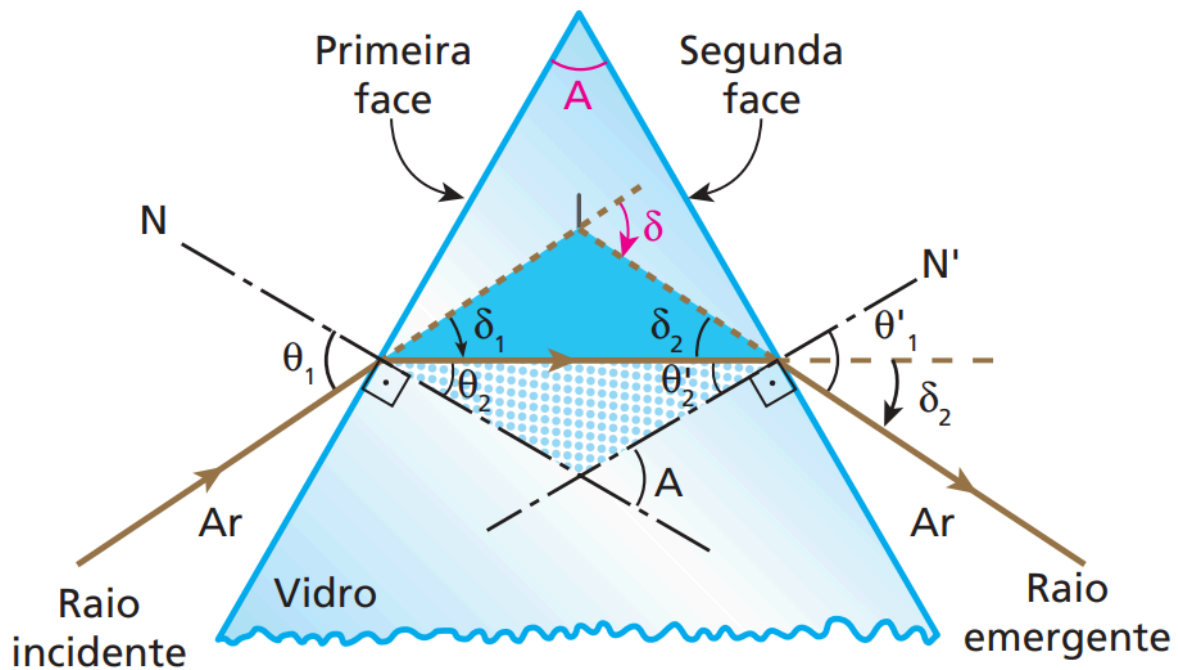
$$\frac{n_{\text{maior}}}{d_{\text{maior}}} = \frac{n_{\text{menor}}}{d_{\text{menor}}}$$

Lâminas de faces paralelas

$$d = \frac{e \text{sen}(\theta_1 - \theta_2)}{\cos \theta_2}$$



Prismas



A = abertura do prisma

δ = desvio

$$A = \theta_2 + \theta'_2$$

$$\delta = \theta_1 + \theta'_1 - A$$

Desvio mínimo: raio interno é paralelo à base: $\theta_1 = \theta'_1$ e $\theta_2 = \theta'_2$

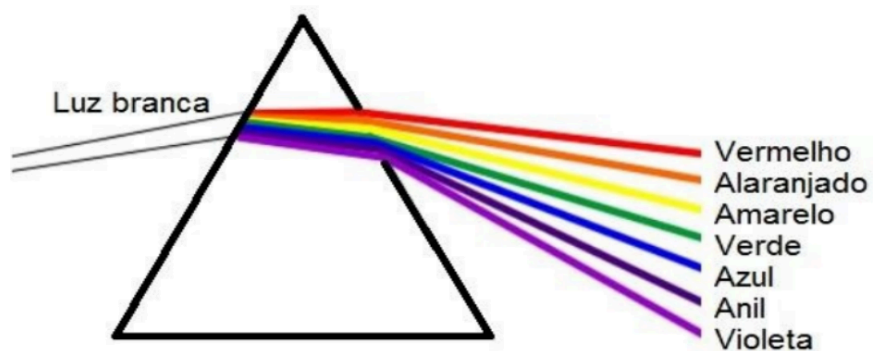
Desvio máximo: rasância na entrada ou na saída: $\theta_2 = L$ ou $\theta'_2 = L$

Dispersão cromática

Quanto mais curta for a onda, maior a frequência do fóton, e maior o desvio.

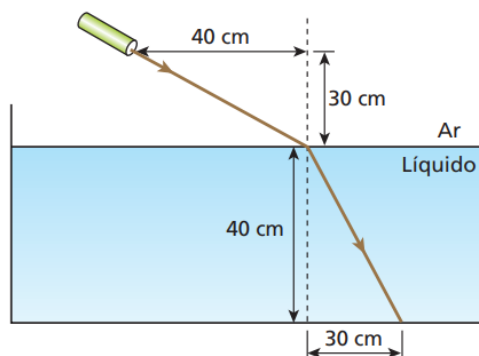
$$f_{\text{vermelho}} \leq f_{\text{luz}} \leq f_{\text{violeta}}$$

$$\lambda_{\text{violeta}} \leq \lambda_{\text{luz}} \leq \lambda_{\text{vermelho}}$$



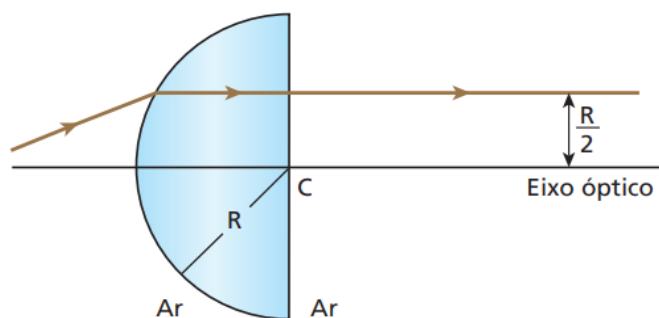
D.2. Refração da Luz - Questões

1. (UFSE) O raio de luz monocromática representado no esquema abaixo se propaga do ar para um líquido:



Qual é o índice de refração do líquido em relação ao ar?

2. (UFRJ) Um raio de luz monocromática, propagando-se no ar, incide sobre a face esférica de um hemisfério maciço de raio R e emerge perpendicularmente à face plana, a uma distância $R/2$ do eixo óptico, como mostra a figura:



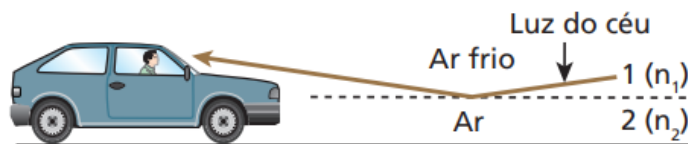
O índice de refração do material do hemisfério, para esse raio de luz, é $n = \sqrt{2}$. Calcule o desvio angular sofrido pelo raio ao atravessar o hemisfério.

3. Qual o comprimento de onda de uma luz de frequência igual a $4 \cdot 10^{14}$ Hz propagando-se em um meio de índice de refração igual a 1,5?

4. (Tópicos) As estrelas cintilam porque:

- acendem e apagam alternadamente.
- o índice de refração da atmosfera cresce com a altitude.
- o índice de refração da atmosfera diminui com a altitude.
- ocorrem reflexões em seu interior, enquanto elas se movem.
- os valores dos índices de refração nos diversos pontos da atmosfera não são estáveis e a intensidade da luz que recebemos delas é muito pequena.

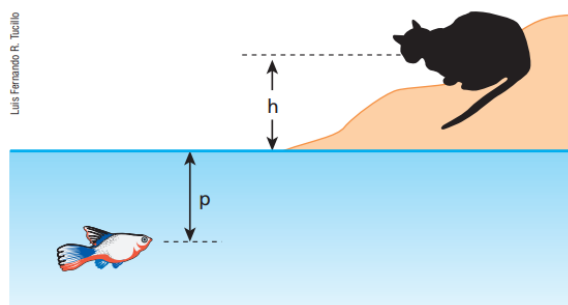
5. (Unicamp) Um tipo de miragem muito comum nos leva a pensar que há água no chão de uma estrada. O que vemos é, na verdade, a reflexão da luz do céu por uma camada de ar quente próxima ao solo. Isso pode ser explicado por um modelo simplificado como o da figura abaixo, em que n representa o índice de refração. Numa camada próxima ao solo, o ar é aquecido, e assim seu índice de refração n_2 se reduz. Considere a situação na qual o ângulo de incidência é de 84° . Adote $n_1 = 1,010$ e use a aproximação $\sin 84^\circ = 0,995$.



a) Qual deve ser o máximo valor de n_2 para que a miragem seja vista? Dê a resposta com três casas decimais.

b) Em qual das camadas (1 ou 2) a velocidade da luz é maior?

6. (Tópicos) Na figura a seguir, em relação à superfície da água:



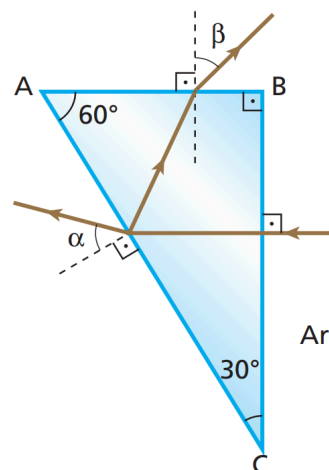
a) o peixe vê o gato a uma altura maior ou menor que h ?

b) o gato vê o peixe a uma profundidade maior ou menor que p ?

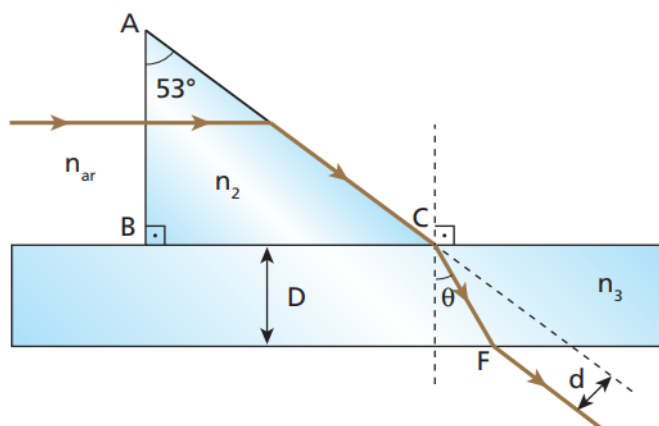
7. No fundo de uma piscina, há uma pedrinha a 2,0 m de profundidade. Considerando igual a $4/3$ o índice de refração da água, qual a profundidade aparente dessa pedra para uma pessoa que se encontra fora da água, nas vizinhanças da vertical que passa pela pedra?

8. (ITA) Um raio luminoso incide sobre uma lâmina transparente de faces paralelas, de espessura a e índice de refração n . Calcule o desvio sofrido pelo raio luminoso ao atravessar a lâmina, supondo que o ângulo de incidência, α , seja pequeno. (Utilize as aproximações: $\sin \alpha = \alpha$ e $\cos \alpha = 1$.)

9. (UFPE) Um feixe de luz incide em um prisma imerso no ar, conforme indica a figura ao lado. Após sofrer reflexão parcial na face AC, um feixe de menor intensidade emerge através da face AB. Determine o valor dos ângulos α e β , em graus, se o índice de refração do prisma é $n_p = \sqrt{2}$ para o comprimento de onda do feixe de luz incidente.



12. (OBF) Um raio de luz monocromático, vindo do ar, incide na face AB do prisma representado na figura e emerge rasante, paralelo à face AC, até encontrar uma lâmina de faces paralelas, justaposta à face BC.

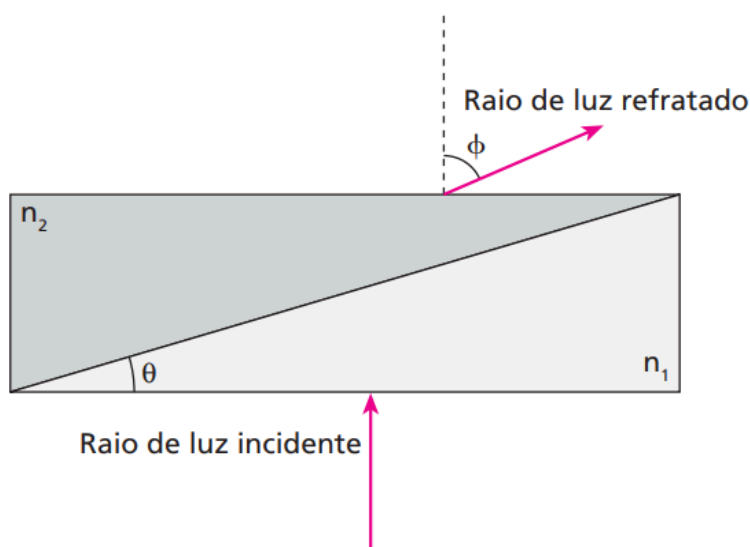


Dados: $n_{\text{ar}} = 1,0$ (índice de refração do ar); $n_3 = 1,6$ (índice de refração do material da lâmina de faces paralelas); $D = 2,0$ cm (espessura da lâmina de faces paralelas); $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s (velocidade da luz no ar); $\text{sen } 53^\circ = 0,80$; $\text{sen } 37^\circ = 0,60$; $\text{sen } 23^\circ = 0,40$; $\text{cos } 30^\circ = 0,87$.

Determine:

- a velocidade da luz no interior do prisma.
- o ângulo de refração θ .
- o desvio lateral d sofrido pelo raio de luz.

13. (Olimpíada Paulista de Física) Dois prismas de geometria idêntica, mas índices de refração ligeiramente diferentes (n_1 e n_2), são acoplados na forma da figura. Quando um raio de luz laser atinge a base de um dos prismas perpendicularmente a sua superfície, o raio de luz refratado é levemente desviado de um pequeno ângulo ϕ , conforme a figura. Determine a diferença entre os índices de refração dos dois prismas como função de θ e ϕ . Considere que estão medidos em radianos e que o meio externo é o vácuo. Considere os ângulos pequenos tal que $\text{sen } (\theta) = \theta$ e $\text{sen } (\phi) = \phi$.



14. (IME 2024) Um navio de guerra encontra-se parado com um marinheiro de vigia em um posto de observação 9 m acima do nível do mar. Em um determinado instante, esse marinheiro avista um submarino aproximando-se na direção do eixo x , à velocidade constante e a 4 m de profundidade, conforme ilustra a figura. No instante em que o submarino é avistado, uma carga de profundidade é liberada do navio e, depois de um certo tempo, o submarino é destruído ao ser atingido pela carga de profundidade.

Dados:

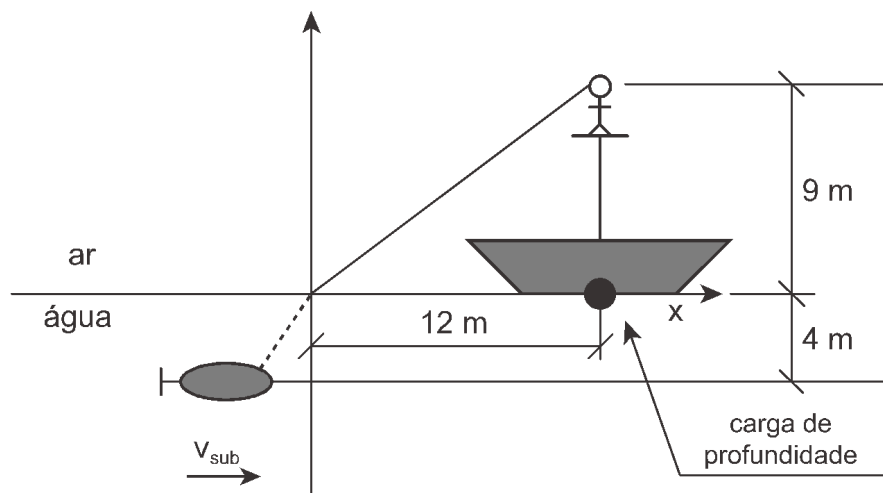
- velocidade inicial da carga de profundidade: 0 m/s;
- aceleração da gravidade: 10 m/s^2 ;
- volume da carga de profundidade: $0,001 \text{ m}^3$;
- massa específica da água: 1000 kg/m^3 ;
- massa da carga de profundidade: 1,8 kg;
- índice de refração do ar: 1;
- índice de refração da água: $4/3$.

Observação:

- considere constante o empuxo sobre a carga de profundidade.

Diante do exposto, a velocidade do submarino, em m/s, era de:

- a) $5\sqrt{5}$
- b) $5\sqrt{3}$
- c) $6\sqrt{5}$
- d) $6\sqrt{3}$
- e) $4\sqrt{3}$

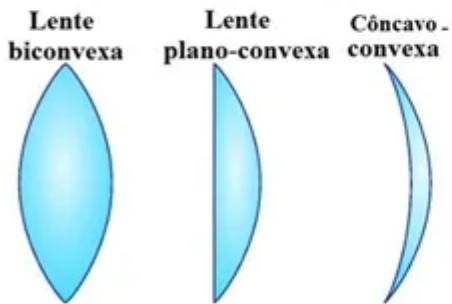


D.3. Lentes Esféricas - Teoria

Classificação

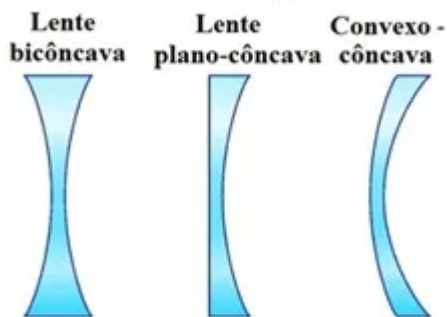
Vamos estudar apenas as lentes delgadas (ou gaussianas), cujas espessuras centrais são aproximadamente zero.

1. Lentes de bordas finas:



São convergentes no ar e divergentes em meios mais refringentes.

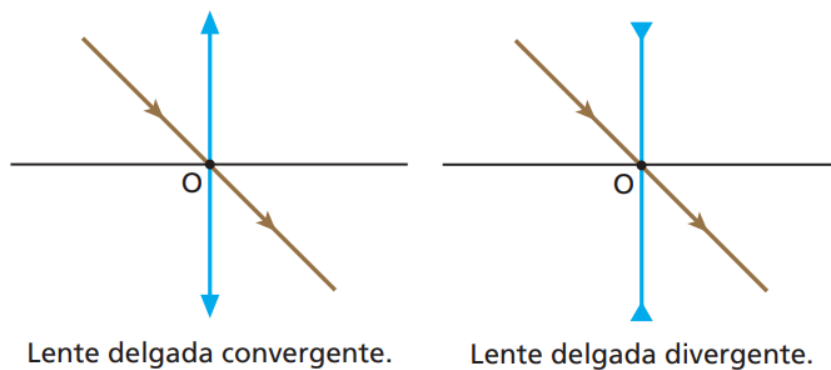
2. Lentes de bordas grossas:



São divergentes no ar e convergentes em meios mais refringentes.

Referencial gaussiano

Representação:



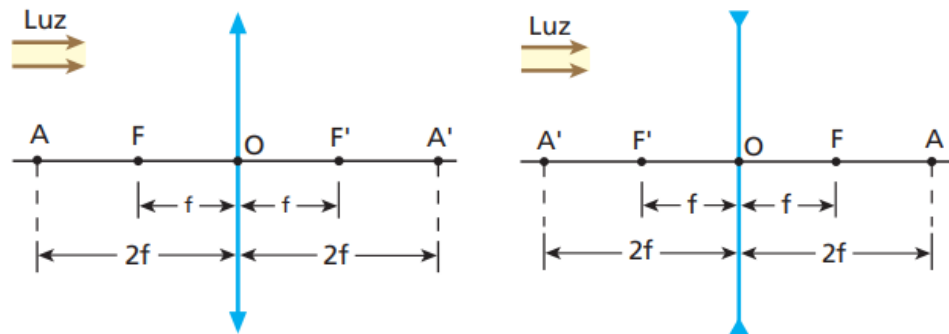
Espelhos esféricos: V F C
 Lentes esféricas: O F A

O = centro óptico

F = foco principal

A = ponto antiprincipal

OA = 2OF



Raios notáveis

- Chega paralelo, passa na direção do foco.
- Chega pelo foco, passa paralelo.
- Passa pelo centro óptico, não ocorre desvio.
- Chega pelo A, passa na direção do outro A.

Determinação gráfica de imagens

A) Convergentes:

A.1) Objeto antes de F → imagem real e invertida. Menor se estiver antes de A, igual se estiver em A e maior se estiver entre A e F.

A.2) Objeto em F → imagem imprópria. Raios paralelos.

A.3) Objeto entre F e O → imagem virtual, direita e maior.

B) Divergentes: Caso único → imagem virtual, direita e menor.

Observações gerais:

Todas as vezes em que a imagem é real, ela também é invertida.

Todas as vezes em que a imagem é virtual, ela também é direita.

Em lentes divergentes, a imagem é sempre menor, virtual e direita.

Cálculo analítico das imagens

Objeto real: $p > 0$

Imagem real: $p' > 0$

Imagem virtual: $p' < 0$

Lentes convergentes: $f > 0$

Lentes divergentes: $f < 0$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Seja A o aumento linear transversal:

$$A = \frac{i}{o} = \frac{-p'}{p} = \frac{f}{f - p}$$

i e o com mesmo sinal: imagem direita

i e o com sinais opostos: imagem invertida

Vergência

$$V = \frac{1}{f} \qquad [V] = m^{-1} = di = grau \qquad \text{obs: di = dioptria}$$

Justaposição de lentes

$$V_{eq} = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad \rightarrow \text{Teorema das Vergências}$$

Equação dos Fabricantes de Lentes (ou Equação de Halley)

$$V = (n_{L,m} - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

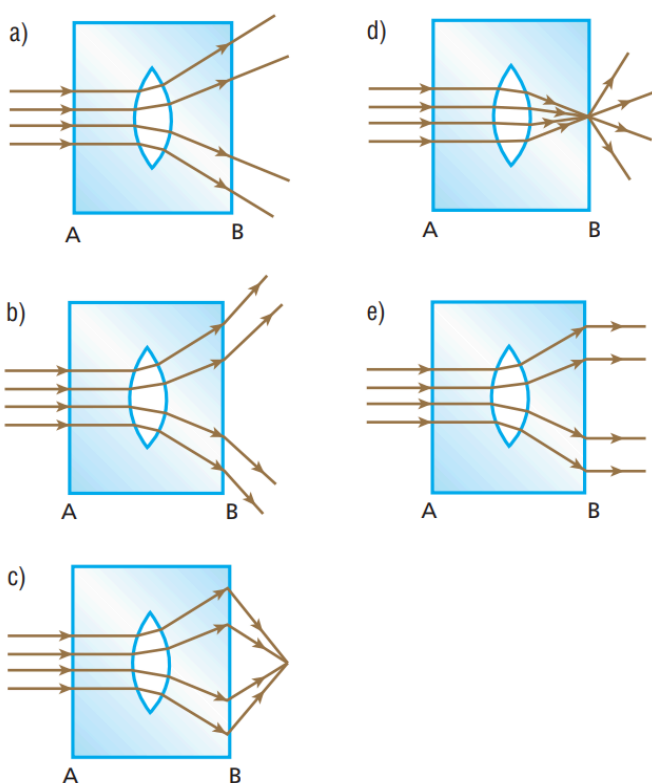
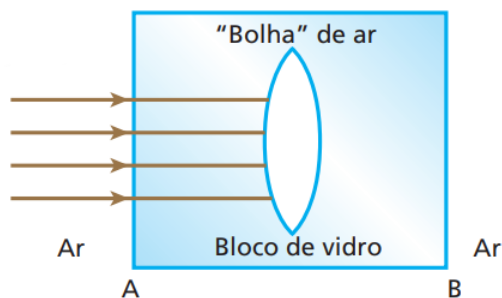
Faces convexas: $R > 0$

Faces côncavas: $R < 0$

Faces planas: $R \rightarrow 0$

D.3. Lentes Esféricas - Questões

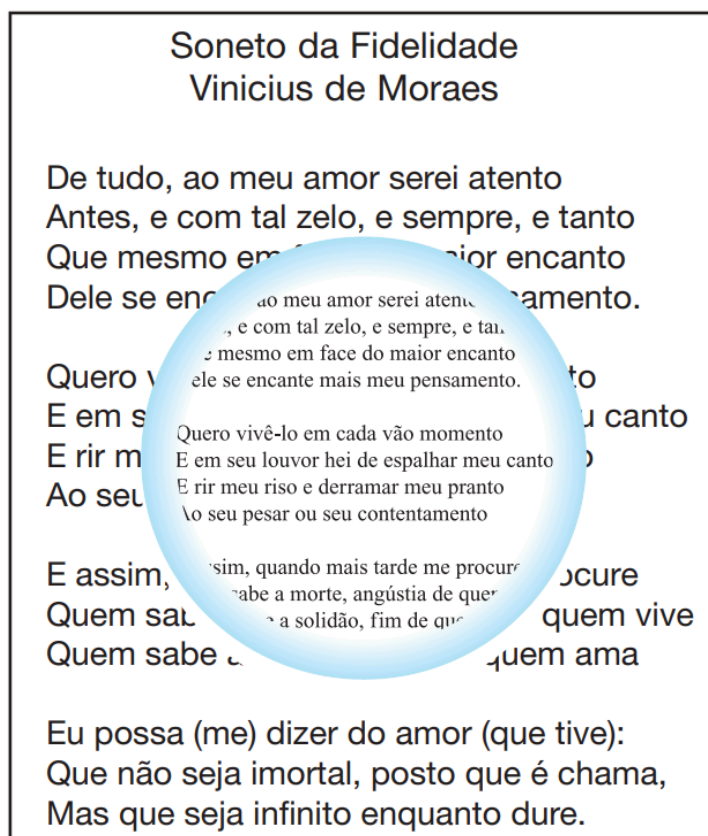
1. (Mack-SP) Na produção de um bloco de vidro flint, de índice de refração absoluto 1,7, ocorreu a formação de uma “bolha” de ar (índice de refração absoluto 1,0), com o formato de uma lente esférica biconvexa. Um feixe luminoso monocromático, paralelo, incide perpendicularmente à face A do bloco, conforme a figura a seguir, e, após passar pelo bloco e pela bolha, emerge pela face B. A figura que melhor representa o fenômeno é:



2. (Fuvest) Tem-se um objeto luminoso situado em um dos focos principais de uma lente convergente. O objeto afasta-se da lente, movimentando-se sobre seu eixo principal. Podemos afirmar que a imagem do objeto, à medida que ele se movimenta:

- a) cresce continuamente.
- b) passa de virtual para real.
- c) afasta-se cada vez mais da lente.
- d) aproxima-se do outro foco principal da lente.
- e) passa de real para virtual.

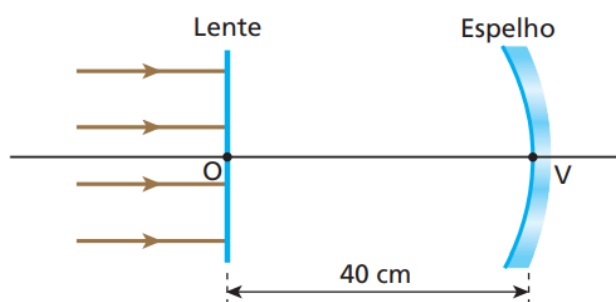
3. (Fuvest) Uma pessoa segura uma lente delgada junto a um livro, mantendo seus olhos aproximadamente a 40 cm da página, obtendo a imagem indicada na figura.



Em seguida, sem mover a cabeça ou o livro, vai aproximando a lente de seus olhos. A imagem, formada pela lente, passará a ser:

- a) sempre direita, cada vez menor.
- b) sempre direita, cada vez maior.
- c) direita cada vez menor, passando a invertida e cada vez menor.
- d) direita cada vez maior, passando a invertida e cada vez menor.
- e) direita cada vez menor, passando a invertida e cada vez maior.

4. (Tópicos) A figura representa uma lente esférica simétrica de vidro, imersa no ar, diante da qual está a superfície refletora de um espelho esférico côncavo, cujo raio de curvatura vale 60 cm. O vértice do espelho dista 40 cm do centro óptico da lente. Raios luminosos paralelos entre si e ao eixo óptico comum à lente e ao espelho incidem no sistema. Sabendo que os raios emergentes do sistema sobrepõem-se aos incidentes: a) classifique a lente como biconvexa ou bicôncava. b) obtenha o valor absoluto de sua distância focal.



5. (Tópicos) Uma lente esférica produz uma imagem real de um objeto situado a 30 cm da lente. Sabendo que o objeto se encontra a 50 cm de sua imagem, pede-se:

- classificar a lente em convergente ou divergente.
- calcular a distância focal da lente.

6. (Tópicos) Um objeto luminoso está posicionado no eixo principal de uma lente esférica convergente, distante 20 cm do seu centro óptico. Sabendo que a distância focal da lente é de 10 cm, calcule a distância da imagem ao objeto, em centímetros.

7. (Tópicos) Uma pequena lâmpada fluorescente está acesa e posicionada perpendicularmente ao eixo principal de uma lente delgada convergente. A imagem da lâmpada conjugada por essa lente tem metade do tamanho da lâmpada e se forma sobre um anteparo a 60 cm da lente. Nessas condições, qual é a distância focal da lente expressa em centímetros?

8. (Tópicos) A imagem que uma lente esférica divergente conjuga a um objeto linear colocado perpendicularmente ao seu eixo óptico tem um quarto do tamanho do objeto e está situada a 6,0 cm da lente. Supondo válidas as condições de Gauss, determine:

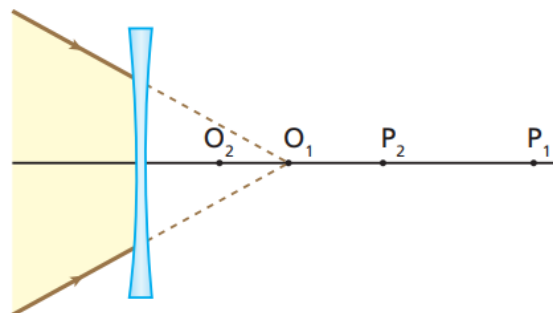
- a distância do objeto à lente.
- a abscissa focal da lente.

9. (Tópicos) Considere uma lente plano-convexa de vidro imersa no ar, em que o raio de curvatura da face convexa vale 25 cm. Se o índice de refração do vidro vale 1,5, calcule a distância focal e a vergência da lente.

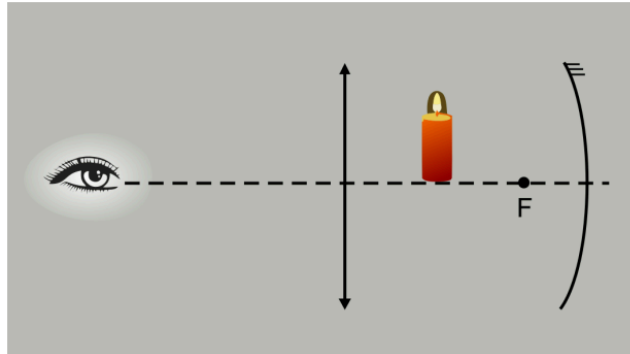
10. (Tópicos) Uma lente delgada biconvexa de raios de curvatura iguais a 50 cm, feita de material de índice de refração 1,5, está imersa no ar (índice de refração igual a 1,0). A que distância da lente deve-se colocar um objeto real para que sua imagem se forme no infinito?

11. (Unisa) Um objeto luminoso é colocado a 60 cm de uma lente convergente de 20 cm de distância focal. Uma segunda lente convergente, de 30 cm de distância focal, é colocada a 80 cm da primeira lente, tendo seus eixos principais coincidentes. A que distância da segunda lente se forma a imagem final fornecida pelo sistema?

12. (OBF) Um feixe de raios convergentes aponta na direção do ponto O_1 , localizado no eixo óptico de uma lente divergente, a uma distância de 15 cm da mesma. Após a refração, os raios convergem para o ponto P_1 . Entretanto, se os raios, antes da refração, convergirem para um ponto O_2 que está a 10 cm da lente, os raios refratados convergem para um ponto P_2 que está a 40 cm de P_1 . Determine a distância da lente ao ponto P_1 , bem como a distância focal da lente.

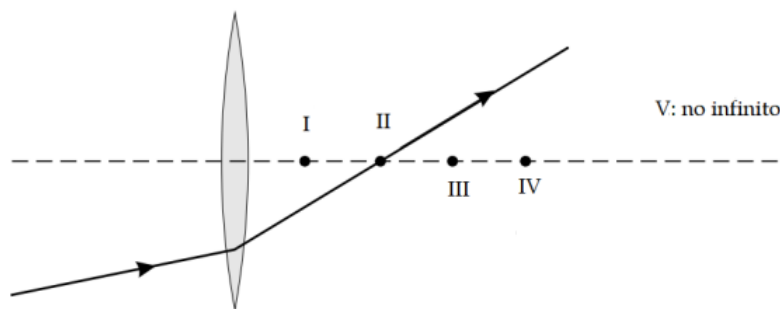


13. (OBF 2023 - Terceira Fase) Durante uma experiência de óptica em um laboratório didático, uma estudante faz a montagem na qual uma vela de 4,00 cm de altura é posicionada entre uma lente convergente e um espelho côncavo, conforme diagrama mostrado na figura. O espelho e a lente têm distâncias focais, respectivamente de 10,0 cm e 30,0 cm. A vela e a lente são posicionadas, respectivamente, a 15,0 cm e 45,0 cm do espelho.



- Determine a posição (em relação à lente) e a altura da imagem vista pela estudante.
- Apresente o esquema com os raios de luz que determinam geometricamente a imagem.

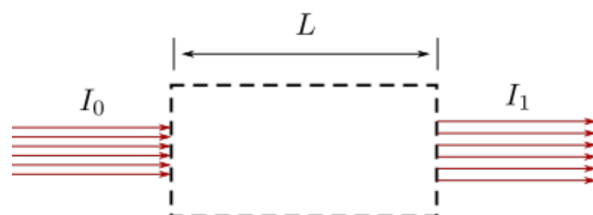
14. (OBF 2023 - Primeira Fase) A figura mostra um raio de luz que incide e é refratado por uma lente delgada convergente.



Qual dos pontos indicados representa melhor a posição do foco da lente?

- I
- II
- III
- IV
- V

15. (OBF 2022 - Terceira Fase) Um estudante de física deve construir um equipamento óptico para diminuir a intensidade de um feixe cilíndrico de radiação laser de $I_0 = 8,00 \text{ kW/m}^2$ para $I_1 = 2,00 \text{ kW/m}^2$ usando apenas duas lentes que estão separadas por uma distância de $L = 30 \text{ cm}$, veja a figura. Determine as distâncias focais das duas lentes em mm e apresente o correspondente diagrama de raios de luz nos casos (a) as duas lentes são convergentes e (b) uma lente é convergente e a outra é divergente.



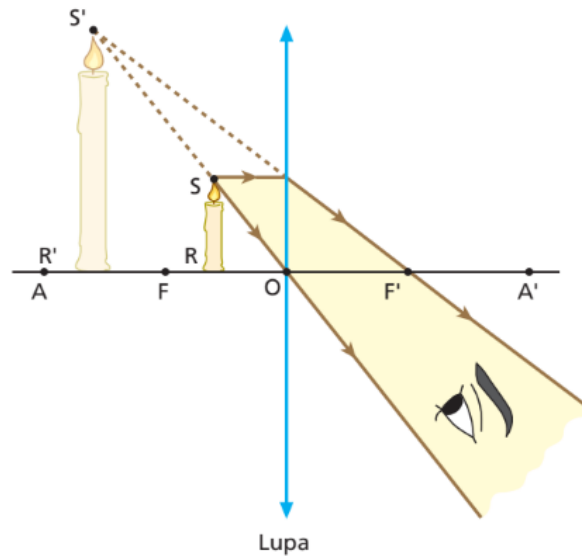
D.4. Instrumentos Ópticos e Visão - Teoria

Lupa

1 lente convergente

Objeto real deve estar entre F e O.

Imagem virtual, direita e maior



Microscópio composto

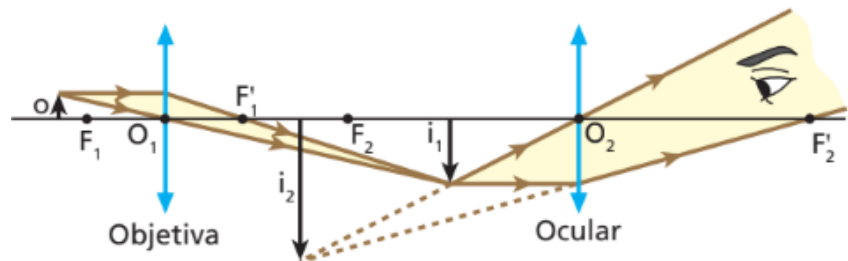
2 lentes convergentes (objetiva e ocular)

Objeto entre F_1 e A_1 (da lente 1)

i_1 entre F_2 e O_2 (da lente 2)

i_1 : real, invertida e maior

i_2 : virtual, invertida e maior



$$A = A_{ob} \cdot A_{oc}$$

Máquina fotográfica

1 lente convergente

Objeto antes de A

Imagem: real, invertida e menor

Luneta

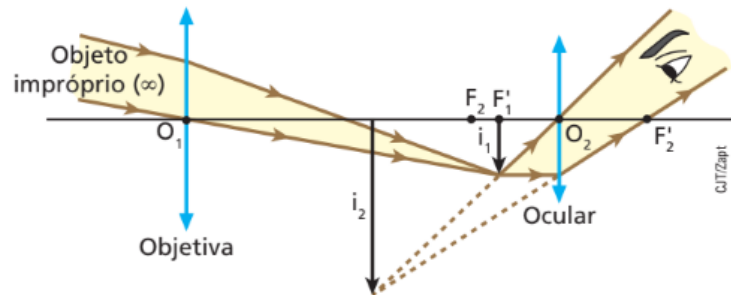
2 lentes convergentes (objetiva e ocular)

Objetos são impróprios ($p \rightarrow \infty$)

i_1 : real, invertida, maior e em F_1'

i_1 e F_1' devem estar entre F_2 e O_2

i_2 : virtual, invertida e maior



$$A_{angular} = G = \frac{f_{ob}}{f_{oc}}$$

Projektor

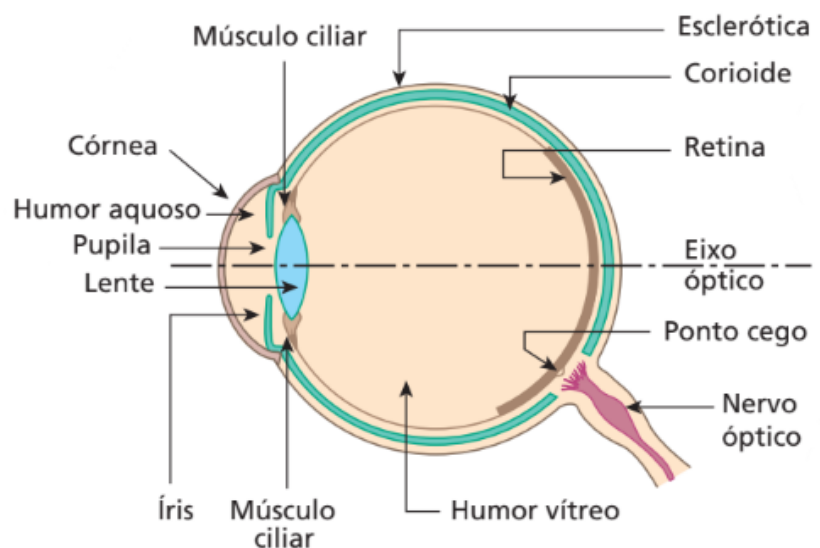
1 lente convergente, objeto entre A e F, imagem (real, invertida e maior).

Olho humano

O bulbo do olho tem a forma aproximada de uma esfera de 22 mm de diâmetro, que possui, em sua parte anterior, uma região mais abaulada, denominada **córnea**.

Com exceção da região da córnea, o bulbo do olho é revestido por uma parede opaca composta de três camadas principais: a externa, conhecida como **esclerótica**, com uma

constituição córnea esbranquiçada, que serve para dar estabilidade mecânica ao olho; a intermediária, chamada **corioide**, altamente vascularizada, cuja função é fazer a irrigação sanguínea do bulbo do olho; e a interna, chamada **retina**, composta das células sensoriais da visão, que se comunicam com o cérebro por meio de um cordão nervoso denominado **nervo óptico**. A retina reveste apenas parte da região posterior do bulbo do olho, denominada fundo do olho.



Adentrando o bulbo do olho a partir da córnea, passa-se por um líquido transparente de nome **humor aquoso**. Logo após fica a **pupila**, um orifício circular de diâmetro variável, cuja função é graduar a quantidade de luz que penetra no olho.

A variação do diâmetro da pupila é feita por um conjunto de músculos que exercem sobre ela esforços radiais. Esses músculos, que respondem pela coloração característica do olho, constituem a **íris**. Depois da pupila, há a **lente**, que é flexível, deformável pela ação dos **músculos ciliares**. Em razão da maior ou menor compressão desses músculos, a lente tem sua vergência alterada, adequando o sistema ocular à visão de objetos a diferentes distâncias. Depois da lente, fica a câmara interna do bulbo do olho, preenchida por uma substância transparente e gelatinosa, chamada **humor vítreo**.

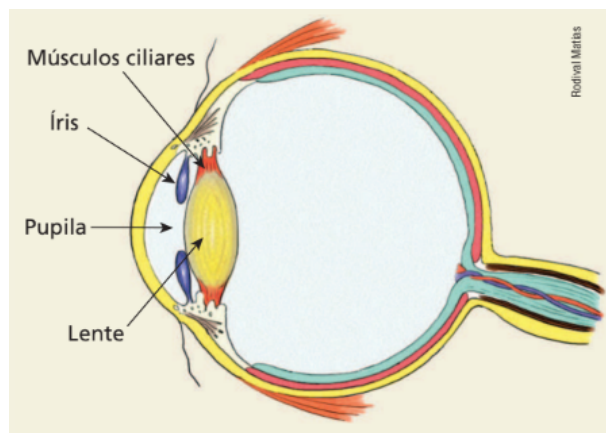
O sistema óptico do bulbo do olho conjuga a um determinado objeto uma imagem **real e invertida**, projetada no fundo do olho (retina). As informações luminosas que lá incidem são transformadas em sinais elétricos, que escoam pelo nervo óptico até o centro da visão (situado no cérebro). A decodificação dos sinais luminosos em sinais elétricos é feita pelas células sensoriais ou receptoras da visão: são os **cones** e **bastonetes**, que promovem a percepção das cores e do preto e do branco, respectivamente.

Para a lente do olho, p' é constante, o que significa que, para diferentes abscissas do objeto (p), há diferentes valores de f . Ou seja, o foco é variável. A variação da distância focal da lente é feita pelos músculos ciliares, por meio da maior ou da menor compressão destes sobre ela. Esse processo de ajuste da distância focal do sistema óptico do bulbo do olho à visão nítida de objetos diferentemente afastados é denominado **acomodação visual**.

Ponto remoto (P_R): É o ponto objeto para o qual a vista conjuga imagem nítida sem nenhum esforço de acomodação. Nesse caso, os músculos ciliares mostram-se relaxados e a lente assume máxima distância focal.

Ponto próximo (P_P): É o ponto objeto para o qual a vista conjuga imagem nítida com máximo esforço de acomodação. Nesse caso, os músculos ciliares mostram-se contraídos e a lente assume mínima distância focal. A distância do ponto próximo ao olho é denominada distância mínima de visão distinta.

Destaquemos que, para o olho normal (ou emétrepe), o ponto remoto se localiza no “infinito”, enquanto o ponto próximo se situa, aproximadamente, a 25 cm do olho (um valor que varia com a idade).



Defeitos visuais e sua correção

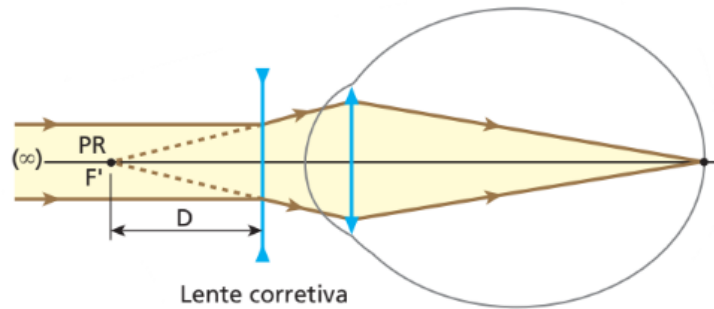
1. Miopia

Excesso de convergência, olhos longos = imagem se forma antes da retina.

P_P e P_R se reduzem.

Correção: lente divergente.

$$V_M = - \frac{1}{P_{RM}}$$



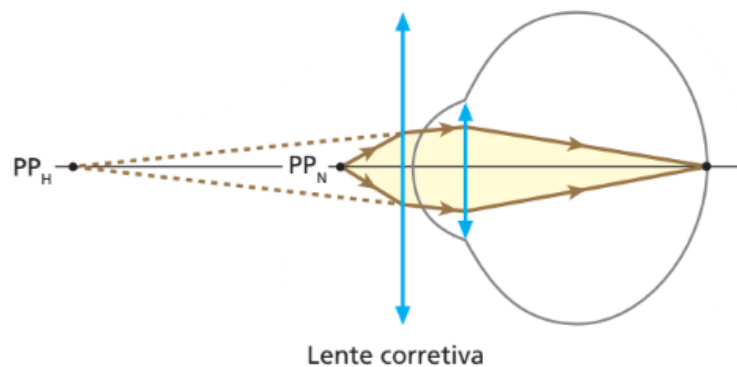
2. Hipermetropia

Falta de convergência, olhos curtos = imagem se forma depois da retina.

P_P e P_R aumentam.

Correção: lente convergente.

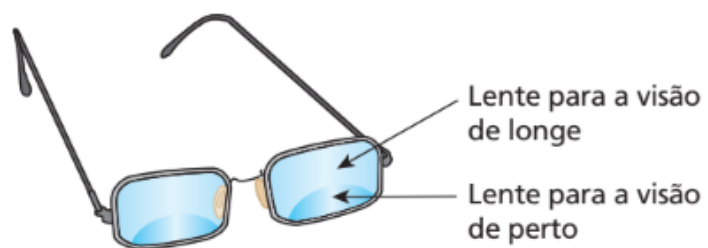
$$V_H = \frac{1}{0,25} - \frac{1}{P_{PH}}$$



3. Presbiopia (ou vista cansada)

A presbiopia é um defeito que consiste no enrijecimento dos músculos ciliares ou da própria lente natural do olho, o que ocorre com o evoluir da idade. A presbiopia é uma ametropia (defeito visual) comum às pessoas com idade superior a 40 anos, que, com a limitação de sua capacidade de acomodação visual, têm dificuldades em “ver de longe” e também “de perto”.

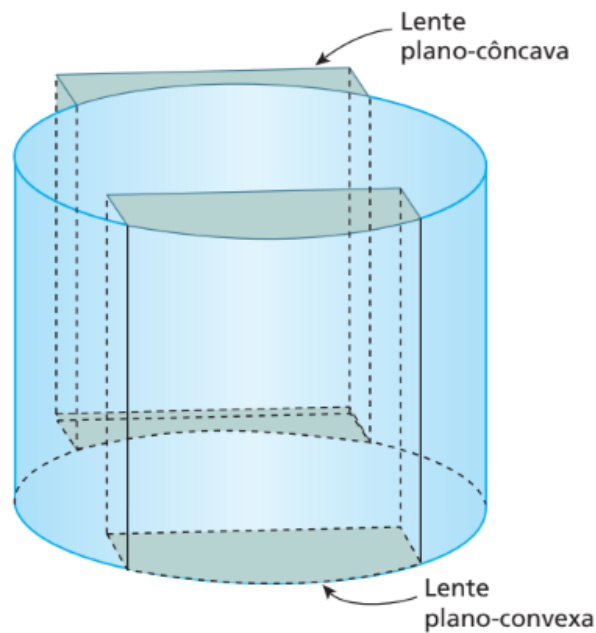
A correção da presbiopia é feita mediante o uso de lentes bifocais (ou multifocais), que têm uma região destinada à visão de objetos longínquos e outra destinada à visão de objetos próximos.



4. Astigmatismo

Em geral, o astigmatismo deve-se a irregularidades na curvatura da córnea, eventualmente abrangendo também as paredes da lente natural do olho.

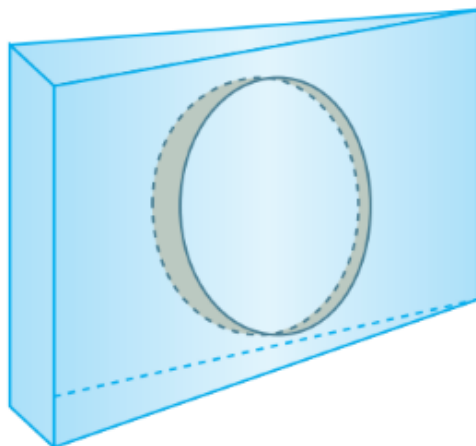
A correção é feita mediante o uso de lentes cilíndricas, que têm o objetivo de compensar a assimetria do sistema óptico ocular.



5. Estrabismo

O estrabismo é um defeito que consiste na incapacidade de dirigir simultaneamente as retas visuais dos dois olhos para o ponto visado.

A correção pode ser feita com o uso de lentes prismáticas, exercícios da musculatura de sustentação do bulbo do olho ou, em casos mais graves, cirurgia.



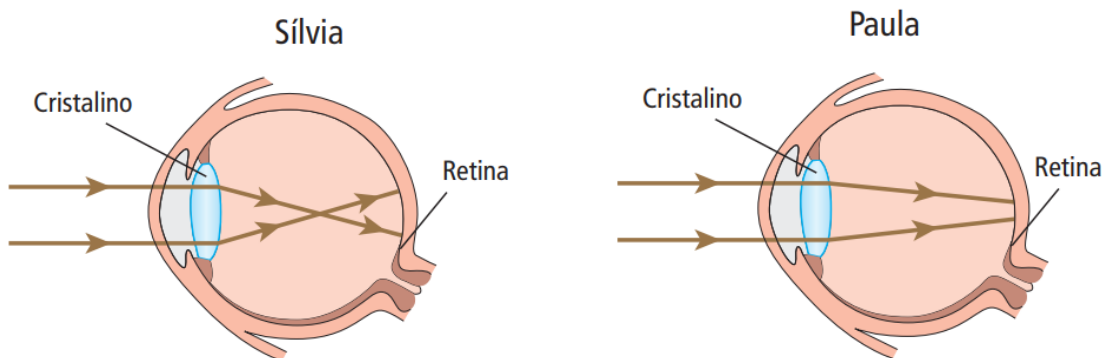
D.4. Instrumentos Ópticos e Visão - Questões

1. (Tópicos) Deve-se projetar em uma tela a imagem de um slide que se encontra a 5,0 cm da lente do projetor. Sabendo que as alturas do slide e de sua imagem valem, respectivamente, 3,0 cm e 180 cm, calcule:

- a) a distância da tela à lente do projetor.
- b) a distância focal da lente do projetor.

2. (Tópicos) Uma luneta é constituída de uma objetiva e uma ocular, associadas coaxialmente e acopladas a um tubo, cujo interior é fosco. Com o uso do referido instrumento, focaliza-se um corpo celeste, e a imagem final visada pelo observador forma-se a 60 cm da ocular. Sabendo que a objetiva e a ocular têm distâncias focais de 80 cm e 20 cm, respectivamente, calcule o comprimento da luneta (distância entre a objetiva e a ocular).

3. (UFMG) Após examinar os olhos de Sílvia e de Paula, o oftalmologista apresenta suas conclusões a respeito da formação de imagens nos olhos de cada uma delas, na forma de diagramas esquemáticos, como mostrado nestas figuras:



Com base nas informações contidas nessas figuras, é correto afirmar que:

- apenas Sílvia precisa corrigir a visão e, para isso, deve usar lentes divergentes.
- ambas precisam corrigir a visão e, para isso, Sílvia deve usar lentes convergentes e Paula, lentes divergentes.
- apenas Paula precisa corrigir a visão e, para isso, deve usar lentes convergentes.
- ambas precisam corrigir a visão e, para isso, Sílvia deve usar lentes divergentes e Paula, lentes convergentes.

4. (Tópicos) Para o olho emétrepe (ou normal), o ponto remoto é impróprio (localizado no “infinito”), enquanto o ponto próximo situa-se a 25 cm do olho. Admitindo que a distância do cristalino à retina seja de 15 mm, determine:

- as distâncias focais do cristalino quando acomodado para o ponto remoto e para o ponto próximo.
- a variação da convergência do cristalino quando um objeto é deslocado do ponto remoto para o ponto próximo.

5. (Tópicos) Considere um olho míope. Se seu ponto remoto está a 50 cm de distância, qual o tipo da lente corretiva a ser utilizada (convergente ou divergente) e qual sua vergência? (Considere desprezível a distância entre a lente e o olho.)

6. (Tópicos) Em um olho hipermetrope, o ponto próximo situa-se a 50 cm de distância. Sabendo que no olho emétrope a distância mínima de visão distinta vale 25 cm, determine a vergência da lente corretiva para a hipermetropia considerada (despreze a distância da lente corretiva ao olho).

7. (Tópicos) Um homem, ao consultar seu oculista, recebe a recomendação para usar lentes corretivas com vergência de +3,0 di. Sabe-se que na visão normal o ponto próximo situa-se a 25 cm do olho.

a) O homem é míope ou hipermetrope?

b) A que distância mínima dos olhos o homem deverá colocar um jornal, para que possa ler sem óculos?

8. (Olimpíada Paulista de Física) Um certo instrumento óptico consta de duas lentes com distâncias focais iguais em módulo. Uma das lentes é convergente e a outra é divergente. As lentes são montadas sobre um eixo comum, a uma determinada distância d uma da outra. Sabe-se que se trocarmos a ordem das lentes, mantendo a mesma distância entre elas, a imagem real da Lua, projetada pelo sistema, se desloca de 20 cm. Determine a distância focal de cada uma das lentes.

Lista de aproximações e constantes

$$\sqrt{2} = 1,4$$

$$\sqrt{3} = 1,7$$

$$\sqrt{5} = 2,2$$

$$\pi = 3$$

$$\text{densidade da água} = 1,0 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{densidade do gelo} = 0,92 \text{ g/cm}^3$$

$$1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$$

$$\text{calor específico da água líquida} = 1,0 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\text{calor específico do gelo} = 0,50 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\text{calor latente de fusão da água} = 80 \text{ cal g}^{-1}$$

$$\text{calor latente de vaporização da água} = 540 \text{ cal g}^{-1}$$

$$\text{velocidade da luz no vácuo} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{velocidade do som no ar} = 340 \text{ m/s}$$

$$\text{constante de gravitação universal} = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

$$\text{aceleração da gravidade} = 10,0 \text{ m/s}^2$$