OLIMPÍADAS NACIONAIS DE FÍSICA 1993

Lisboa, 10 Setembro 1993

Enunciado e resolução das últimas provas nacionais (escalão A e B)

PROVA PARA O ESCALÃO A

Actividade 1 (duração: 1 h)

Verifica se sobre a mesa de trabalho se encontra o seguinte material:
– uma tina com água;
– um frasco de vidro vazio com tampa;
– um frasco de plástico conta-gotas com tinta.

Além do material que existe sobre a tua mesa, o professor vigilante ainda dispõe de uma chaleira eléctrica para aquecimento de água.

1.*a*) Com o auxílio do frasco conta-gotas começa por colocar no frasco de vidro algumas gotas de tinta. Em seguida adiciona-lhe água quente. Assegura-te que o frasco fica totalmente cheio de água. Fecha bem o frasco e agita-o até que a cor da água se torne o mais uniforme possível. Deste modo consegues que a água do frasco possa ser identificada através do corante.

1.*b*) Em seguinda coloca o frasco dentro da tina de modo a ficar completamente mergulhado na água. Cuidadosamente retira-lhe a tampa, pondo em contacto a água corada do frasco com a água da tina.

Descreve agora o que observas, e regista o tempo que demora a tua observação. Para melhor observares, olha para a tina de lado.

2. Esvazia a água da tina e do frasco. Repete agora a experiência anterior, mas enche o frasco com água da tina, ou seja, com água não aquecida. Descreve o que observas e regista novamente o tempo que demora a tua observação.

3. Procura agora explicar a diferença de comportamento verificada na mistura dos dois líquidos nas duas situações criadas.

Actividade 2 (duração: 1 h)

Verifica se sobre a mesa de trabalho se encontra o seguinte material:
– uma lata de refrigerante de forma cilíndrica;
– uma lata pequena de chá de forma paralelipipédica;
– uma vela de estearina;
– uma palhinha para beber líquidos.

Além do material que existe sobre a tua mesa, o professor vigilante ainda dispõe de fósforos para acender a vela.

1. Começa po: acender a vela. Com o auxílio da palhinha sopra suavemente em direcção à chama sem a apagares. Entre a extremidade da palhinha e a vela deverá haver uma distância de 25 a 30 cm.

Faz um esquema da observação e procura a razão pela qual a direcção da chama da vela se modifica.

2. Coloca agora, entre a palhinha e a chama, a caixa de chá, de modo a que fique centrada na direcção definida pela palhinha e a vela e o mais próxima possível desta. Faz um novo esquema para esta observação e procura a razão pela qual não consegues modificar a direcção da chama da vela da mesma forma que na experiência anterior.

3. Substitui agora a caixa paralelipipédica pela lata de refrigerante. Repete a experiência anterior. Faz um novo esquema, e compara-o com a observação anterior.

4. O que te sugere dizer sobre a forma da carroceria dos automóveis de desporto em face das observações que acabaste de efectuar?

PROVA PARA O ESCALÃO B

Problema 1: o caminho mais rápido

Um objecto desloca-se no plano xy de um ponto A (–30,40) para um ponto B (20,–30) (ver figura 1; os valores indicados para as coordenadas são em metros). A velocidade do objecto no meio 1 é igual a 3 m/s e no meio 2 é de 1 m/s. Os dois meios estão separados por uma linha tomada como eixo das abcissas.

a) Calcula o tempo de percurso se a trajectória da partícula for o segmento de recta $\overline{AB}$.

b) Repete o cálculo da alínea anterior para o percurso rectilíneo $\overline{AC}$ seguido de $\overline{CB}$, sendo C o ponto sobre a linha de separação, de coordenadas (20,0).

c) Obtém a trajectória entre A e B (trajectória rectilínea $\overline{AM}$ seguida da trajectória rectilínea $\overline{MB}$, onde M é um ponto semi-eixo positivo das abcissas) a que corresponda um *tempo mínimo* de percurso e calcula esse tempo.

(Em caso de dificuldade na resolução analítica deste problema poderás recorrer à representação gráfica da função e obter a solução mais aproximada que te for possível).

O cálculo que acabas de efectuar aplica-se igualmente a raios luminosos quando a luz passa de um meio óptico a outro com índice de refracção diferente. Os princípios da óptica geométrica decorrem, aliás, do *Princípio de Fermat* segundo o qual o percurso seguido pelo fluxo luminoso, de um ponto para outro, corresponde sempre àquele em que a propagação se dá num tempo mínimo.

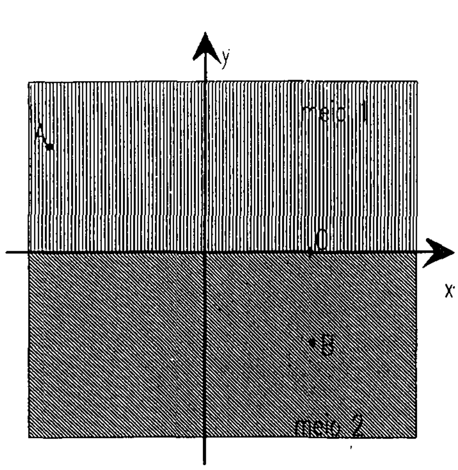


FIGURA 1

d) Faz corresponder à trajectória obtida em *c*) um raio luminoso incidente (no meio onde a velocidade de propagação é maior) e um raio refractado (no meio onde a velocidade de propagação é menor). Sabendo que a razão dos índices de refracção é igual ao inverso da razão da velocidade de propagação da luz nos referidos meios (supõe que esta razão é 3 como no problema de cinemática considerado inicialmente), verifica a validade da segunda lei da refracção segundo a qual o ângulo de incidência (α_i) e o ângulo de refracção (α_r) estão relacionados por

$$n_1 \sin \alpha_i = n_2 \sin \alpha_r ,$$

onde n_1 e n_2 são os índices de refracção dos meios.

e) Admite agora que B se encontra sobre nova linha de separação do meio 2 com o meio 1 (ver fig. 2). Determina o valor do menor ângulo β por forma a que, em B, o raio considerado não se refracte para o meio 1.

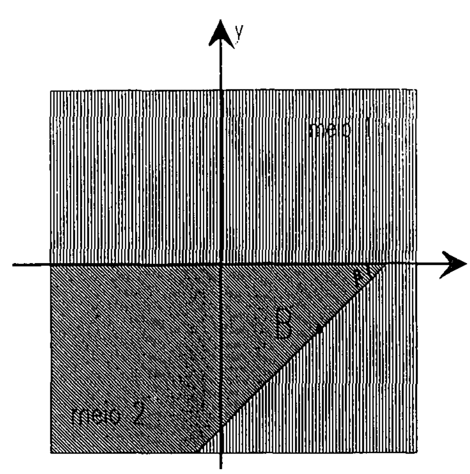


FIGURA 2

Problema 2: circuito olímpico

Considera o circuito da figura em que as baterias e o amperímetro têm resistências internas desprezáveis. Na resistência variável, de 20 Ω, o cursor está colocado exactamente a meio do percurso. Os valores indicados para as outras resistências são expressos em Ω.

a) Os interruptores S, S1, S2 e S3 estão inicialmente abertos. Fecha-se o interruptor S. Qual o valor da intensidade de corrente lida no amperímetro?

b) Estando inicialmente os interruptores S e S3 abertos e S1 e S2 fechados, fecha-se o interruptor S. Qual o valor da intensidade de corrente lida no amperímetro?

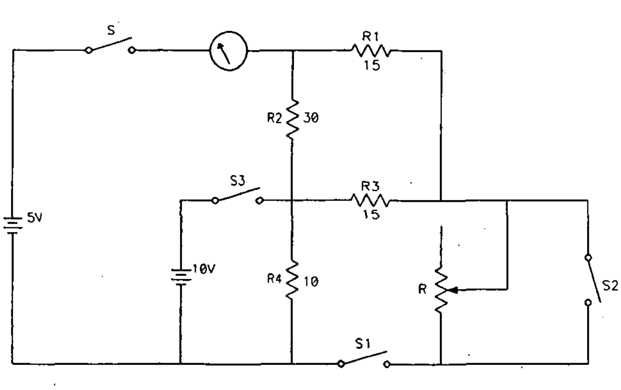
c) Supõe agora que os interruptores S, S2 e S3 estão inicialmente abertos e S1 fechado, fechando-se então o interruptor S.

Qual a corrente (intensidade e sentido) que passa em R_3 e qual o valor da intensidade de corrente lida no amperímetro?
Qual o valor que deverá ter a resistência R para que não passe corrente em R_3?

d) Considera por fim a situação em que os interruptores S, S1, S2 estão inicialmente abertos e S3 fechado; fecha-se então o interruptor S.

d.1 - Qual o valor da intensidade de corrente que passa na bateria de 10 V
i) imediatamente antes de se fechar o interrutor S;
ii) após o fecho de S.

d.2 - Qual é então o valor da corrente lida no amperímetro?
d.3 - Calcula a potência total dissipada no circuito.



Problema 3: a roda da sorte

A figura mostra, em esquema, o dispositivo experimental que vais utilizar, constituído por uma roda de raio *R* fixa a um eixo (barra cilíndrica A) que se apoia em dois rolamentos R1 e R2. O conjunto pode descrever um movimento de rotação em torno do eixo horizontal definido pela barra A, em condições de atrito mínimo. Perpendicularmente, ligada à barra A, encontra-se uma barra B onde estão colocadas duas massas m_1 e m_2 ($m_1 = m_2$) respectivamente a distâncias r_1 e r_2 do ponto médio C da barra B. Durante a experiência poderás alterar a distância de cada uma das massas ao ponto médio da barra B. Na roda de raio R encontra-se enrolado um fio inextensível e de massa desprezável no qual é suspenso um corpo de massa *m*. Podes medir o tempo de descida do corpo com o auxílio de um cronómetro. Para medir o espaço que o corpo m percorre até chegar ao solo dispões de uma régua graduada.

Na primeira parte do trabalho (até à alínea *f*) considera $r_1 = r_2 = r$. Como poderás observar, o tempo de queda do corpo depende da posição em que as massas m_1 e m_2 são colocadas.

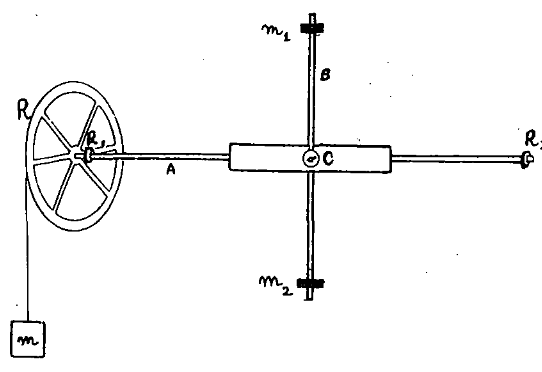
a) Identifica as forças que actuam sobre o corpo suspenso e indica a direcção e sentido de cada uma delas.

b) Escreve as equações do movimento para o corpo e para o sistema em rotação e obtém a expressão da aceleração do corpo de massa *m*. Classifica o movimento. A tensão do fio varia durante a queda do corpo? Justifica.

c) Faz variar a posição das massas m_1 e m_2 na barra B (mantendo $r_1 = r_2 = r$) e, para cada distância, mede o tempo que o corpo demora a chegar ao solo. Regista os tempos obtidos e preenche as restantes colunas da tabela.

d) Representa, em papel milimétrico, a aceleração em função de *r*.

Explica o facto de a aceleração linear do corpo ser dependente de *r*.
Para que valor tende a aceleração quando *r* aumenta? E quando r decresce para zero? Justifica.



e) A partir das medidas que obtiveste calcula o momento de inércia do sistema para o caso de ser $r = 40$ cm e compara o valor obtido com o calculado (considerando desprezáveis as massas das barras A e B e da roda de raio R). Comenta os resultados.

f) Sendo $E_p = mgh$ a energia potencial do corpo de massa m no instante inicial, mostra que a energia mecânica decresce durante a sua queda, atingindo o valor $E_{mec} = mah$ (sendo a a aceleração do movimento) no instante em que o corpo toca o solo. Explica como é verificado o Princípio de Conservação da Energia.

g) Coloca a barra B em posição vertical e observa que, mantendo $r_2 = 40$ cm, se reduzires a distância r_1 da massa m_1 (a que se encontra na posição mais elevada) à barra A, o sistema atinge o equilíbrio numa posição em que a barra B faz um ângulo θ_0 com a vertical.

g.1) Identifica as forças que actuam no sistema para essa posição de equilíbrio.

g.2) Estabelece as equações que traduzam esse equilíbrio e determina o ângulo θ_0 de equilíbrio em função das características do sistema.

g.3) Coloca m_1 numa posição em que $\theta \sim 20° - 30°$ e verifica a equação obtida em g.2).

h) Abandonado após um pequeno afastamento da posição de equilíbrio, o sistema oscila em volta dessa posição com uma frequência característica. Com o cronómetro de que dispões determina a frequência de oscilação e regista os valores de r_1 e r_2 que utilizaste.

i) Escreve as equações do movimento relativas ao sistema e, considerando a nova variável $\phi = \theta - \theta_0$, obtém a equação que descreve o movimento harmónico do sistema. (Para ϕ muito pequeno pode considerar-se $\sin\phi \sim \phi$ e $\cos\phi \sim 1$). A partir da equação assim obtida calcula a frequência das oscilações e compara com o resultado obtido em h).

TABELA DE RESULTADOS

Altura de queda ....

r (cm)	tempo	aceleração	tensão no fio	aceleração angular
5				
10				
15				
20				
25				
30				
35				
40				

RESOLUÇÃO DOS PROBLEMAS

Problema 1: o caminho mais rápido

a) Considere-se a figura:

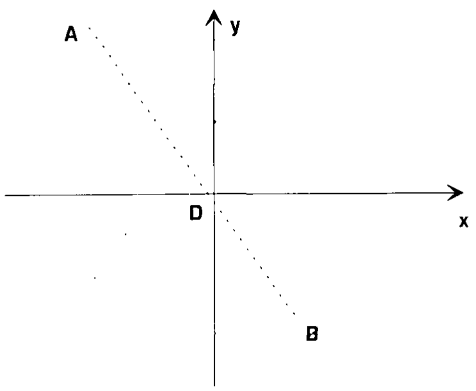


Figura 1.1

A equação da recta AB é $y = -1.4x - 2$, e o ponto D tem coordenadas (–1.429,0). As distâncias AD e BD são, respectivamente: $\overline{AD} = 40.156$ m e $\overline{DB} = 36.867$ m. A velocidade é de 3 m/s no meio 1 e de 1 m/s no meio 2, pelo que o tempo total de percurso é

$$\Delta t_1 = \frac{49.156}{3} + \frac{36.867}{1} = 53.252 \text{ s} .$$

b) As distâncias AC e CB são respectivamente $\overline{AC} = 64.031$ m e $\overline{CB} = 30.000$ m. O tempo total de percurso é

$$\Delta t_2 = \frac{64.031}{3} + \frac{30.000}{1} = 51.344 \text{ s} .$$

c) Considere-se a figura seguinte:

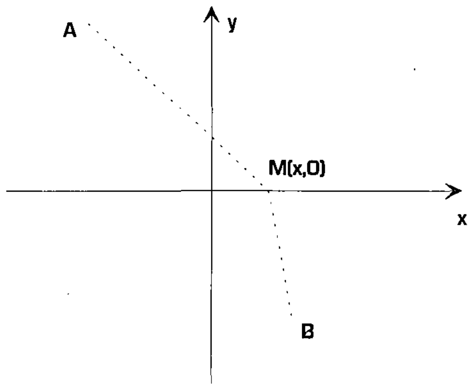


Figura 1.2

As distâncias AM e MB são

$$\overline{AM}=\sqrt{1600+(30+x)^2} \qquad \overline{MB}=\sqrt{900+(20-x)^2}\,.$$

O tempo total de percurso é

$$\Delta t_3=\frac{1}{3}\sqrt{1600+(30+x)^2}+\sqrt{900+(20-x)^2}\,.$$

O mínimo desta função pode ser encontrado a partir do zero da sua primeira derivada. A derivada de Δt_3 em ordem a x é a seguinte função:

$$f(x)=\frac{1}{3}\frac{30+x}{\sqrt{1600+(30+x)^2}}-\frac{20-x}{\sqrt{900+(20-x)^2}}\,.$$

Com o auxílio de uma calculadora (mesmo não programável) pode encontrar-se facilmente o zero desta função (no intervalo [10,20]) obtendo-se $f(x_o)=0$ para $x_0 = 12.495$. Inserindo na expressão de Δt_3 este valor x_0 obtém-se o *tempo mínimo:*

$$\Delta t_3 = 50.378 \text{ s}\,.$$

d) O ângulo de incidência e o ângulo de refracção são α_i e α_r indicados na figura.

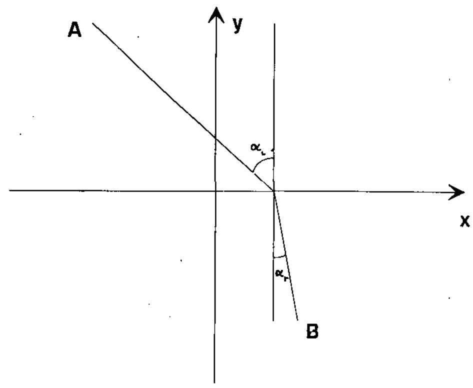


Figura 1.3

A partir do resultado da alínea *c*) para a abcissa do ponto M, obtém-se

$$\sin\alpha_i = 0.728, \quad \sin\alpha_r = 0.243,$$

pelo que

$$\frac{\sin\alpha_i}{\sin\alpha_r}=3.000 \quad \left(=\frac{n_1}{n_2}\right) \qquad \text{c.q.d.}$$

e) Da alínea anterior pode determinar-se o ângulo α_r. Obtém-se $\alpha_r = 14.045°$.

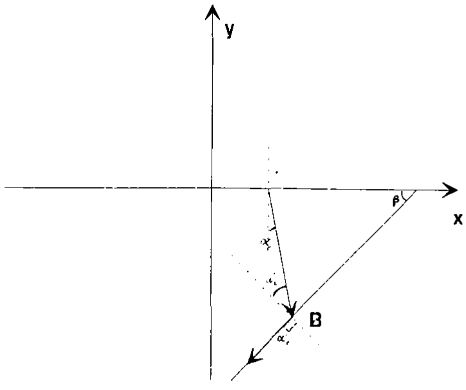


Figura 1.4

Para que o raio não se refracte para o meio 1 terá α_i' de corresponder ao ângulo limite, sendo pois $\alpha_r' = 90°$. Assim,

$$\frac{\sin\alpha_r'}{\alpha_i'}=3 \quad\rightarrow\quad \alpha_i'=19.471°.$$

Atendendo a que $\beta=\alpha_i'+\alpha_r$, obtém-se

$$\beta = 33.516°.$$

Problema 2: circuito olímpico

a) Estando os interruptores S_1, S_2 e S_3 abertos e S fechado o circuito toma o aspecto

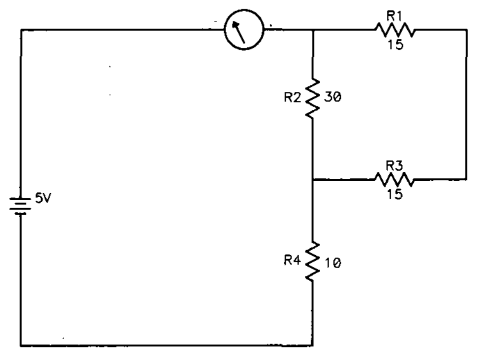


Figura 2.1

ficando as resistências R_1 e R_3 em série e este conjunto em paralelo com R_2.
A resistência total será então:

$$R_{eq} = \frac{(15 + 15) \times 30}{(15 + 15) + 30} + 10 = 25\Omega .$$

A intensidade de corrente lida no amperímetro é:

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{5}{25} = 0.2A = 200mA .$$

b) Estando S, S_1 e S_2 fechados e S_3 aberto o circuito fica:

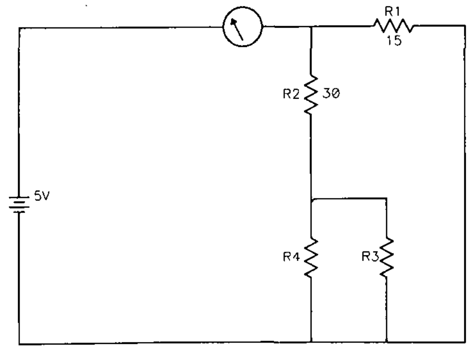


Figura 2.2

Para o cálculo da resistência equivalente consideramos $R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = 6\Omega$ ficando portanto R_1 em paralelo com $(R_2 + R_{34})$. Então

$$R_{eq} = \frac{15 \times (30 + 6)}{15 + (30 + 6)} \sim 10.6\Omega$$

e

$$I = \frac{V}{R_{eq}} \sim 0.47A .$$

c) Com S_2 e S_3 abertos e S_1 e S fechados, o circuito vem

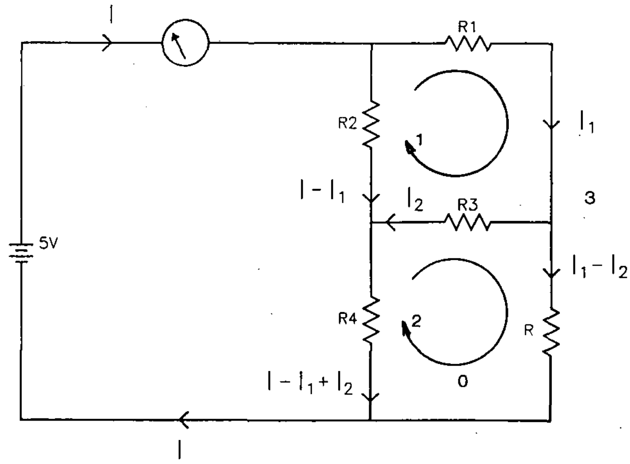


Figura 2.3

Para aplicar a lei das malhas precisamos de estabelecer correntes nos diferentes ramos do circuito. Na figura indicam-se as intensidades de corrente de acordo com a lei dos nodos. Teremos então para as malhas 1, 2 e 3 indicadas na figura, respectivamente

$$\begin{aligned} R_1 I_1 + R_3 I_2 - R_2(I - I_1) &= 0 \\ -R_3 I_2 + R(I_1 - I_2) - R_4(I - I_1 + I_2) &= 0 \\ R_1 I_1 + R(I_1 - I_2) &= 5 \end{aligned}$$

que conduz ao sistema

$$\begin{aligned} 3I_1 + I_2 - 2I &= 0 \\ 4I_1 - 7I_2 - 2I &= 0 \\ 5I_1 - 2I_2 &= 1 , \end{aligned}$$

cuja solução é

$$I = 0.329A \quad I_1 = 0.210A \quad I_2 = 0.025A .$$

A corrente que passa em R_3 tem 25 mA de intensidade e o sentido indicado na figura. O amperímetro marca 0.329A.

Para que não passe corrente em R_3 ($I_2 = 0$) terá de ser nula a d.d.p. entre os seus terminais. Então,

$$R_2(I - I_1) = R_1 I_1 \qquad R_4(I - I_1) = R I_1 .$$

ou seja

$$R = \frac{R_1 R_4}{R_2} = 5\Omega .$$

d) Com o interruptor S_3 fechado e S_1, S_2 e S_3 abertos o circuito fica

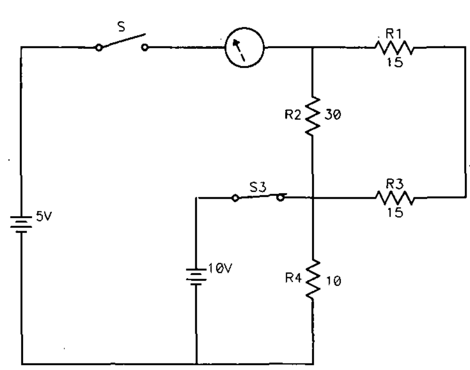


Figura 2.4

d.1 – i) antes de fechar o interruptor *S* circula, na resistência R_4, uma corrente $I_2 = 10/10 = 1$ A.

ii) depois de fechar S, atendendo a que a resistência R_2 está em paralelo com $R_1 + R_3$, podemos substituir o conjunto pela resistência equivalente

$$R_{eq} = \frac{R_2(R_1 + R_3)}{R_2 + (R_1 + R_3)} \sim 15\Omega .$$

A d.d.p. aos terminais da resistência R_4 é

$$V_{R_4} = 10 \text{ V} = R_4 I_1 + 5 .$$

pelo que

$$I_2 = 1 \text{ A} \quad I_1 = 0.333 \text{ A} .$$

A bateria de 10 V fornece pois a corrente de intensidade $I = I_1 + I_2 = 1.333$ A.

d.2 – O amperímetro marca agora uma corrente de 0.333 A mas de sentido contrário ao observado nas alíneas a) a c). (Será necessário trocar as ligações aos terminais do aparelho.)

d.3 – A potência total dissipada no circuito calcula-se adicionando as potências dissipadas em R_4 e em R_{eq}:

$$P = R_4 I_2^2 + R_{eq} I_1^2 = 11.7 \text{ W}$$

Problema 3: a roda da sorte

a) O corpo de massa m está sujeito a duas forças verticais: — o seu peso $\vec{P}$ e a força $\vec{T}$, exercida pelo fio, a qual tem sempre sentido para cima e intensidade inferior a $\vec{P}$.

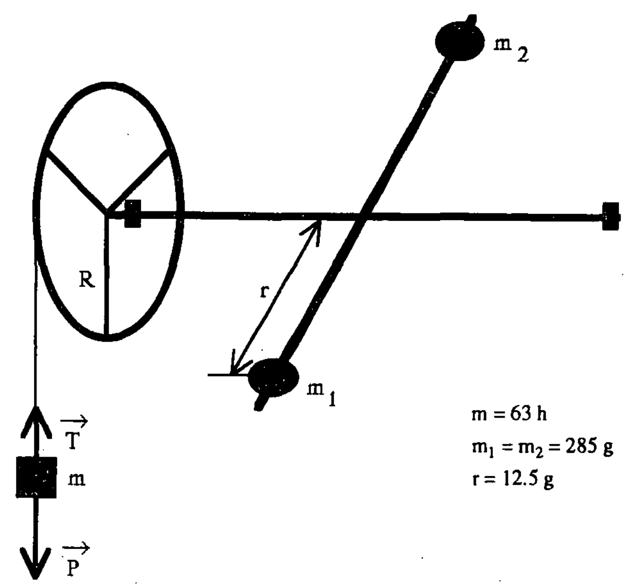


Figura 1

b) A equação do movimento para o corpo de massa m é:

$$mg - T = ma \qquad (1)$$

A resultante das forças que actuam sobre o sistema em rotação é nula, visto que o seu centro de massa mantém-se sempre em repouso. O módulo do momento $\vec{M}$ da força que o fio exerce sobre a roda está relacionado com a aceleração angular α do movimento de rotação através da igualdade:

$$M = I\alpha ,$$

onde

$$M = T R$$

é o módulo do momento das forças aplicadas sobre o sistema (calculado em relação ao centro da roda) e I é o momento de inércia em relação ao eixo de rotação. Se considerarmos apenas as duas massas m_1 e m_2, será:

$$I = 2m_1\, r_2 .$$

Os módulos da aceleração angular, α, do sistema e da aceleração do movimento do corpo suspenso no fio estão relacionados entre si pela igualdade:

$$a = \alpha\, R .$$

A aceleração, obtida a partir das equaçõs anteriores, é:

$$a = \frac{mR^2}{I + mR^2}\, g . \qquad (2)$$

Sendo esta aceleração uma constante dependente apenas da configuração do sistema (desprezam-se as forças de atrito), o movimento do corpo de massa m é uniformemente acelerado.

Das equações (1) e (2) podemos obter para a tensão do fio a seguinte relação:

$$T = \frac{I}{I + mR^2}\, mg . \qquad (3)$$

A tensão do fio também é constante durante o movimento.

c) **TABELA DE RESULTADOS**

Altura de queda: 1,50 m

r (cm)	t (s)	a (m/s^2)	T (N)	α (rad/s^2)
6	2.25	0.59	0.580	4.72
10	2.74	0.40	0.592	3.20
15	3.06	0.32	0.597	2.56
20	3.69	0.22	0.604	1.76
25	3.97	0.19	0.605	1.52
30	4.80	0.13	0.609	1.04
35	5.48	0.10	0.611	0.80
40	6.12	0.08	0.612	0.64

d)

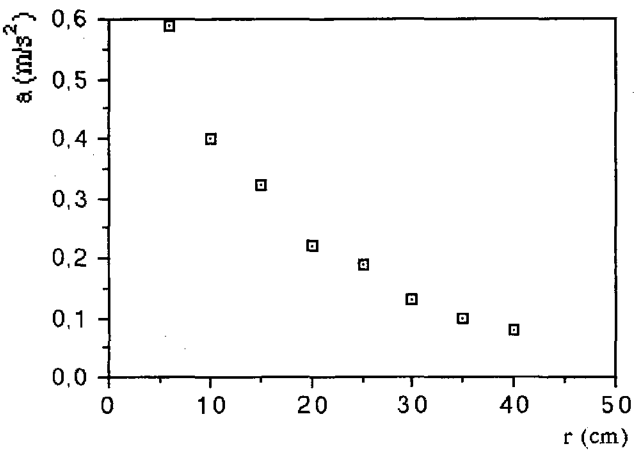


Gráfico 1

O gráfico 1 representa a dependência da aceleração de m em função de r. O decréscimo de a quando r aumenta é naturalmente relacionado com o momento de inércia do sistema em rotação. Da equação (2) conclui-se que a aceleração do corpo depende do momento de inércia do sistema em rotação, tendendo para zero com o aumento de r. Por outro lado, esta aceleração é igual a g quando o momento de inércia do sistema for nulo.

Podemos também relacionar a aceleração do movimento de m com a tensão no fio. Da equação (1) verifica-se que a aceleração toma o valor g quando T se anula e tende para zero quando T tende para mg. Refira-se que, para r = 40 cm calculámos T = 0.612N (ver tabela de resultados), enquanto o peso do corpo é 0.617N.

e) O momento de inércia do sistema que efectua o movimento de rotação pode ser obtido a partir dos dados experimentais através da igualdade

$$I = mR^2 \left(\frac{g}{a} - 1 \right) .$$

Para o caso de ser r = 40 cm obtém-se $a = 0.08$ m/s^2, pelo que o valor de I obtido experimentalmente é:

$$I = 0.119 \ \mathrm{Nm}^2 .$$

Por outro lado, calculando o momento de inércia a partir da relação $I = 2m_1 r^2$, obtemos o valor 0.091 Nm^2.

No valor calculado ($I = 2m_1 r^2$) apenas foram consideradas as massas m_1 e m_2, pelo que o valor obtido ($I = 0.091$ Nm^2) é obviamente inferior ao momento de inércia do sistema em rotação.

Por outro lado, como a aceleração medida é influenciada pelos momentos das forças de atrito nos apoios dos sistemas, o valor de I obtido experimentalmente ($I = 0.091\ Nm^2$) é necessariamente maior do que o valor real de I.

f) A energia cinética do corpo m, em função do tempo é dada por:

$$E_c = \frac{1}{2} m(at)^2 ,$$

A energia potencial de m em cada instante é:

$$E_P = mg\left(h - \frac{1}{2}at^2\right).$$

Das equações anteriores podemos obter a expressão da energia mecânica de m em função do tempo. Assim temos:

$$E_m = mgh + \frac{1}{2}ma(a - g)t^2 . \qquad (4)$$

No instante em que o corpo m chega ao solo,

$$t = \left(\frac{2\,h}{a}\right)^{1/2} .$$

a sua energia mecânica é:

$$E_m = mah .$$

Verifica-se então que a energia mecânica do corpo m diminuiu durante a descida. De facto, mesmo considerando o sistema ideal, sem atritos, observa-se a não conservação de energia mecânica de m.

Subsituindo na equação (4) o valor da aceleração dado pela equação (2), obtemos a energia mecânica de m em cada instante, isto é:

$$E_m(t) = mgh - \frac{1}{2} m_1 \left(\frac{mrR}{I + mR^2}\right)^2 (gt)^2 . \qquad (5)$$

Esta equação mostra-nos que a energia mecânica de m, $E_m(t)$, diminui durante a descida, sendo a sua variação condicionada pela constituição do sistema. O Princípio da Conservação da Energia é verificado se atendermos a que, durante o movimento, uma parte da energia de m é transferida para o sistema que efectua o movimento de rotação. No caso de não haver atritos, a energia cinética de rotação é, em cada instante, dada por:

$$E_{rot}(t) = \frac{1}{2} m_1 \left(\frac{mrR}{I + mR^2}\right)^2 (gt)^2 .$$

No instante em que m chega ao solo a energia cinética do sistema em rotação é

$$E_{rot} = \frac{1}{2} I\omega^2 = mg(h - a) , \qquad (6)$$

naturalmente igual à perda de energia mecânica do corpo.

g)

g.1 – As forças que actuam sobre o sistema quando este se encontra em equilíbrio estão representadas na figura 2.

g.2 – Suspendendo no fio o corpo de massa m, e fixando as massas m_1 e m_2 na barra B, respectivamente às distâncias r_1 e r_2 do seu ponto médio C, o sistema ficará em equilíbrio estável quando a barra B formar um ângulo θ_0 com a vertical que passa por C.

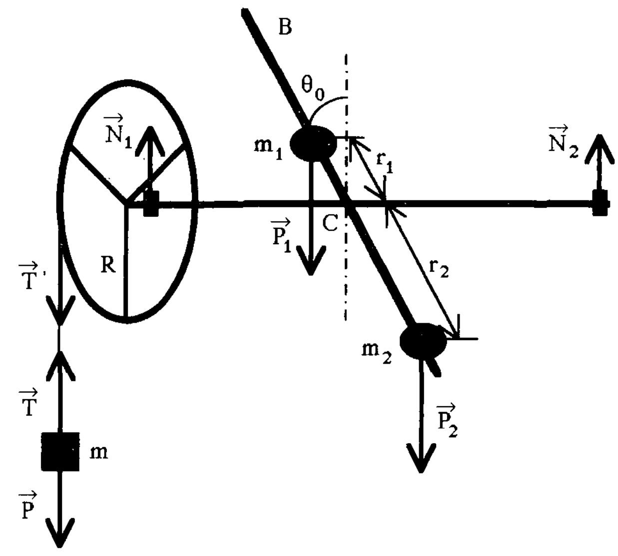


Figura 1

No equilíbrio é nula a soma dos momentos de $\vec{T}'$, $\vec{P}_1$, e $\vec{P}_2$. Sendo $|\vec{T}'| = |\vec{T}|$ obtemos a seguinte igualdade entre as componentes destes momentos, calculados em relação ao ponto C:

$$(m_2r_2 - m_1r_1)g \sin\theta_0 = mgR\,, \tag{7}$$

ou seja:

$$\sin\theta_0 = \frac{mR}{m_2r_2 - m_1r_1}\,, \tag{8}$$

i) Se abandonarmos o sistema afastado da sua posição de equilíbrio θ_0, este oscila com uma frequência f em torno dessa posição. Em cada instante $\phi(t) = \theta(t) - \theta_0$ é o ângulo de afastamento da barra B em relação à posição de equilíbrio.

Simultaneamente o corpo de massa m oscila na vertical sob a acção do seu peso e a força exercida pelo fio. O seu movimento é descrito pela equação

$$mg - T = ma\,,$$

sendo

$$a = R\frac{d^2\theta}{dt^2} = R\frac{d^2\theta}{dt^2}\,.$$

Atendendo a que as forças $\vec{T}$ e $\vec{T}'$ são simétricas entre si, as componentes na direcção do eixo de rotação dos momentos de $\vec{T}'$, $\vec{P}_1$, e $\vec{P}_2$, calculadas em relação ao ponto C, estão relacionadas com a aceleração angular α do sistema pela igualdade:

$$I\frac{d^2\Phi}{dt^2} = -g(m_2r_2 - m_1r_1)\sin(\Phi + \theta_0) + \left(mg - mR\frac{d^2\Phi}{dt^2}\right)R, \tag{9}$$

sendo I o momento de inércia do sistema em relação ao eixo de rotação.

Se considerarmos oscilações de pequena amplitude, para as quais $\sin\Phi \cong \Phi$ e $\cos\Phi \cong 1$, e atendendo à equação (7), a equação (9) tomará a seguintes forma:

$$(I + mR^2)\frac{d^2\Phi}{dt^2} = -g\cos\theta_0(m_2r_2 - m_1r_1)\Phi, \tag{10}$$

cuja solução é:

$$\Phi(t) = \Phi_0 \cos(\omega t + \delta), \tag{11}$$

onde $\Phi(t)$ e Φ_0 são respectivamente a elongação e a amplitude angular do movimento oscilatório, ω a frequência angular e δ a fase na origem. Se no instante $t = 0$ tivermos $\Phi = \Phi_0$, então será $\delta = 0$.

A frequência do movimento é dada por:

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{m_2r_2 - m_1r_1}{I + mr^2}g\cos\theta_0}\,.$$

OLIMPÍADAS DE FÍSICA
Etapas Regionais 1994

Delegação Regional do Norte

Na região Norte concorreram às Olimpíadas de Física 46 escolas, com 40 equipas no escalão A, 56 alunos no escalão B e 41 alunos no escalão C. Devido ao elevado número de participantes foi organizada uma prova intermédia que decorreu nas Escolas Secundárias Francisco de Holanda (Guimarães), Camilo Castelo Branco (Vila Real), Penafiel, Manuel Gomes de Almeida (Espinho), Garcia de Orta (Porto) e no Externato N.ª Sr.ª do Perpétuo Socorro (Porto). Esta prova teve lugar no dia 23 de Março 1994.

Foram apuradas para a Prova Regional 14 equipas do escalão A, 27 alunos do escalão B e 21 alunos do escalão C, num total de 90 alunos.

A Prova Regional teve Lugar na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto no dia 7 de Abril de 1994. Referem-se seguidamente as equipas e alunos apurados para a Prova Nacional, nos diferentes escalões:

Escalão A: equipa da ES Almeida Garret, do Porto, constituída pelos alunos Alexandre Fernandes Pinto, Paulo Jorge Gonçalves Dias e Tiago Alexandre F. Almeida Rodrigues.

Escalão B: apurados os alunos Hugo Miguel Coelho Pinto do Colégio Liceal St.ª M.ª de Lamas, Hugo Carlos Ascenso Costa da ES Garcia de Orta, João Pedro Gomes Moreira Pego da ES Garcia de Orta, Rui Miguel Teixeira Claro da ES Almeida Garret, João de Medina Prata Pinheiro da ES António Sérgio, Rui Davide Travasso da ES Camilo Castelo Branco (Famalicão), Belmiro da Rocha Seabra da ES de Paredes e José Alexandre Ferreira da ES de Rio Tinto.

Escalão C: apurados os alunos Teresa Maria Bodas Araújo Freitas da ES António Nobre, Vasco A. Fonseca da ES do Cerco do Porto, Maria Cecília Guimarães Monteiro da ES de Fafe, Nuno Miguel Bastardo Roldão da ES Eça de Queirós, Nuno Filipe G. da Silva Gomes da ES Fontes Pereira de Melo, Ricardo Costa Pinto P. de Faria da ES Francisco de Holanda, Pedro Filipe Barros Rolo da ES Manuel Gomes de Almeida e Rui Pedro Sottomaior D. Padrão da ES Manuel Gomes de Almeida.

As etapas Nacionais serão realizadas nos dias 5, 6 e 7 de Maio de 1994, no Porto.

A Direcção da Delegação Regional Norte da SPF agradece os apoios recebidos do Instituto da Juventude, do Banco Totta e Açores, do Instituto do Vinho do Porto, da Editora Gradiva, da Faculdade de Ciências UP. e do seu Departamento de Física.