

# Olimpíadas de Física

## PROBLEMAS DAS OLIMPÍADAS INTERNACIONAIS DE FÍSICA

Apresenta-se a seguir o enunciado do 1.º problema experimental da XXIV IPhO (EUA, 1993). A sua resolução será publicada no próximo número da Gazeta. Os enunciados dos problemas teóricos da IPhO 93 foram publicados na Gazeta de Física 17 (1994) fasc. 1, p. 28.

### Problema n.º 2 — Calor de vaporização do azoto (\*)

O objectivo desta experiência é a medição do calor de vaporização do azoto por unidade de massa ( $L$ ), usando dois métodos diferentes. No método 1, irá adicionar um pedaço de alumínio à amostra de azoto líquido e medir a quantidade de azoto líquido que se evapora à medida que o alumínio arrefece. No método 2, irá fornecer energia à amostra de azoto líquido a uma taxa conhecida e medir a cadência a que o azoto líquido se evapora.

O azoto líquido é-lhe fornecido num "reservatório". Daí poderá vertê-lo para o vaso que utilizará na experiência, o qual pode estar colocado na balança. A leitura registada na balança decrescerá à medida que o azoto se vai evaporando. Isto ocorre: (1) porque o vaso não é um isolador térmico perfeito, (2) porque está a ser adicionada energia ao azoto líquido pela ocorrência de um fluxo de calor, quando o alumínio arrefece (no método 1), e (3) porque está a ser fornecida energia ao sistema quando passa corrente eléctrica na resistência mergulhada no azoto líquido (no método 2). É-lhe fornecido um cronómetro e também um multímetro, que pode ser usado para medir diferenças de potencial ( $V$ ), intensidades de corrente ( $I$ ) e resistências ( $R$ ). As instruções para o uso do multímetro e do cronómetro são-lhe fornecidas em folhas separadas.

### Precauções

(1) O azoto líquido (ou qualquer objecto por ele arrefecido) é muito frio, pelo que de modo algum deverá estar em contacto com a sua pele ou mesmo com a sua roupa.

(2) Não deixe cair seja o que for no azoto líquido, e utilize sempre luvas durante a experiência.

(3) Coloque o pedaço de alumínio no azoto líquido muito lentamente, pois isso irá provocar a rápida ebulição do azoto até que se atinja o equilíbrio. Utilize o fio que lhe é fornecido para esse fim.

(4) A resistência pode ficar muito quente se não estiver imersa no azoto líquido. Só deverá ligar o circuito, passando corrente na resistência, quando esta estiver totalmente mergulhada no azoto líquido.

### Método 1

O calor específico do alumínio ( $c$ ) varia significativamente entre a temperatura ambiente e a temperatura a que se dá a vaporização do azoto à pressão atmosférica (77 K). Junta-se um gráfico que mostra a variação de  $c$  com a temperatura  $T$ . Desenvolva a experiência por forma a medir a quantidade de azoto que se evapora quando o pedaço de alumínio arrefece. Use esta medição e o gráfico do calor específico para determinar o calor de vaporização do azoto por unidade de massa. Admita que a temperatura ambiente é igual a  $21 \pm 2^\circ\text{C}$ . Faça também uma estimativa quantitativa da incerteza que afecta o valor que encontrou para o calor de vaporização.

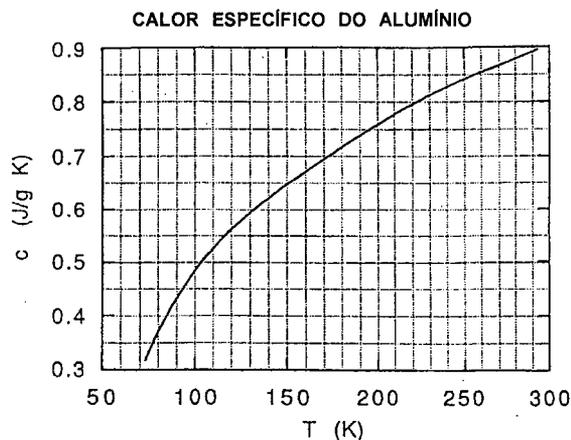
### Método 2

Desenvolva uma experiência que lhe permita medir a taxa a que o azoto líquido se evapora quando passa corrente na resistência mergulhada no azoto líquido. É-lhe fornecida uma fonte de alimentação. Utilize este resultado para determinar o calor de vaporização por unidade de massa de azoto. Faça também uma estimativa quantitativa do erro que afecta o valor que encontrou para o calor de vaporização.

### Notas

1) Na folha de resposta, inclua diagramas esquemáticos, tabelas devidamente identificadas, resultados nas unidades apropriadas, de modo a que seja possível avaliar o que realmente fez.

2) Peça ajuda no caso de considerar que há problemas com o equipamento.



(\*) Problema experimental da XXIV IPhO, EUA (1993). A sua resolução será apresentada no próximo número da Gazeta de Física.

**RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DAS OLIMPIADAS INTERNACIONAIS DE FÍSICA**

**Problema n.º 1 — Partícula Relativista**

Enunciado em Gaz. Fis. 17, fasc. 4, p. 25 (1994)

1) Tomando o centro de forças como origem da coordenada espacial  $x$  e ponto de energia potencial zero, a energia potencial da partícula escreve-se:

$$U(x) = f|x|, \quad (1)$$

A energia total é  $W = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4} + f|x|$ .

Se desprezarmos a energia em repouso, vem

$$W = |p| c + f|x|. \quad (2)$$

Uma vez que  $W$  se conserva, temos:

$$W = |p| c + f|x| = p_0 c. \quad (3)$$

Considerando a direcção inicial da quantidade de movimento da partícula segundo  $Ox$ , tem-se

$$\begin{cases} pc + fx = p_0 c & , & x > 0, p > 0, \\ -pc + fx = p_0 c & , & x > 0, p < 0, \\ pc - fx = p_0 c & , & x < 0, p > 0, \\ -pc - fx = p_0 c & , & x < 0, p < 0. \end{cases} \quad (4)$$

Na posição de afastamento máximo, que corresponde a  $p = 0$ , a partícula encontra-se a uma distância  $L$  da origem, dada por  $L = p_0 c / f$ .

De (3) e usando a lei de Newton,

$$dp/dt = F = \begin{cases} -f, & x > 0 \\ f, & x < 0 \end{cases}, \quad (5)$$

podemos obter o módulo da velocidade da partícula

$$|dx/dt| = |dp/dt| c/f = c, \quad (6)$$

isto é, a partícula com energia muito elevada move-se sempre à velocidade da luz, excepto se estiver na região muito próxima dos pontos de retorno  $x = \pm L$ . O tempo necessário para a partícula se mover da origem até ao ponto  $x = L$  é  $\tau = L/c = p_0/f$ . A partícula oscila pois entre  $x = L$  e  $x = -L$  com velocidade  $c$  e período igual a  $4\tau = 4 p_0/f$ . A relação entre  $x$  e  $t$  é:

$$\begin{cases} x = ct, & 0 \leq t \leq \tau, \\ x = 2L - ct, & \tau \leq t \leq 2\tau, \\ x = -2L + ct, & 2\tau \leq t \leq 3\tau, \\ x = ct - 4L, & 3\tau \leq t \leq 4\tau. \end{cases} \quad (7)$$

Nas Figs. 1 e 2 apresentam-se os diagramas  $(x,t)$  e  $(p,x)$  para um período do movimento da partícula.

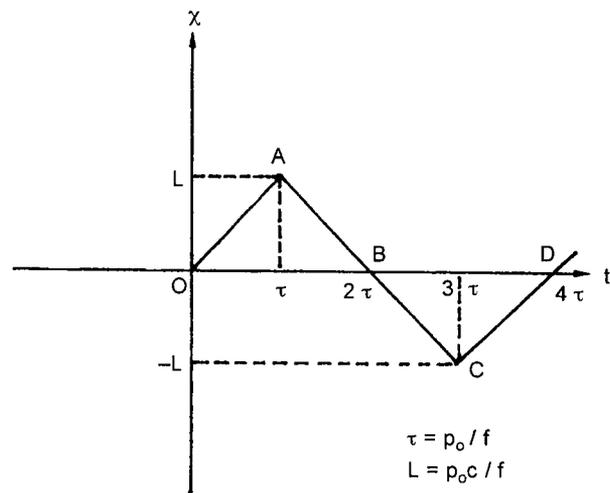


Fig. 1

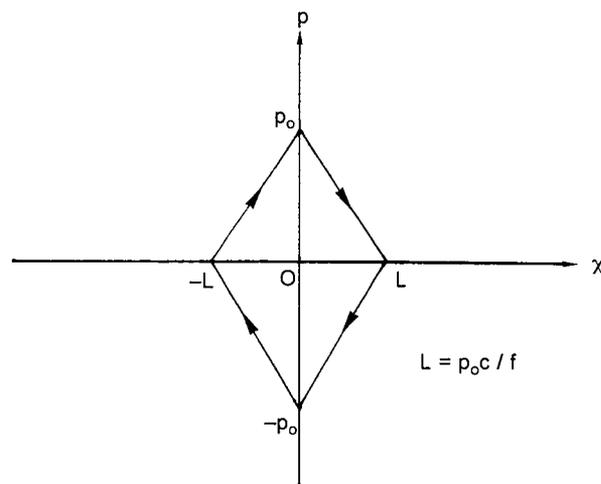


Fig. 2

2) A energia total do sistema constituído pelos dois quarks pode ser expressa pela equação

$$Mc^2 = |p_1| c + |p_2| c + f|x_1| - x_2|, \quad (8)$$

com  $x_1, x_2$  as coordenadas dos quarks 1 e 2, e  $p_1, p_2$  as respectivas quantidades de movimento. Para o mesão em repouso, a quantidade de movimento total dos dois quarks é zero, movendo-se as duas partículas simetricamente, em sentidos opostos, pelo que

$$p = p_1 + p_2 = 0; \quad p_1 = -p_2, \quad x_1 = -x_2. \quad (9)$$

Sendo  $p_0$  a quantidade de movimento do quark 1 quando passa pela origem ( $x = 0$ ), a eq. (8) reduz-se a

$$Mc^2 = 2 p_0 c \quad \text{ou} \quad p_0 = Mc/2. \quad (10)$$

Usando as eqs. (8-10) pode exprimir-se metade da energia total do mesão em função de  $p_1$  e  $x_1$  do quark 1:

$$p_0 c = |p_1| c + f|x_1|, \quad (11)$$

que é semelhante à eq. (3), obtida no caso de uma só partícula com quantidade de movimento  $p_0 = Mc/2$ . As Figs. 3 e 4 mostram os diagramas  $(x, t)$  e  $(p, x)$  para os dois quarks. Para o quark 1 a situação é semelhante à representada nas Figs. 1 e 2. Para o quark 2 os sinais de  $x$  e  $p$  estão invertidos relativamente ao quark 1.

A distância máxima entre os dois quarks é

$$d = 2L = 2p_0 c/f = Mc^2/f. \quad (12)$$

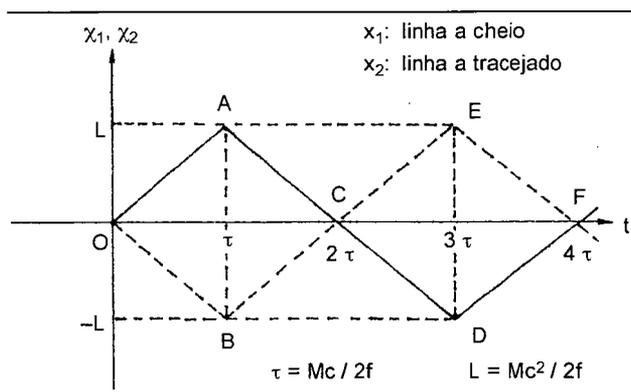


Fig. 3

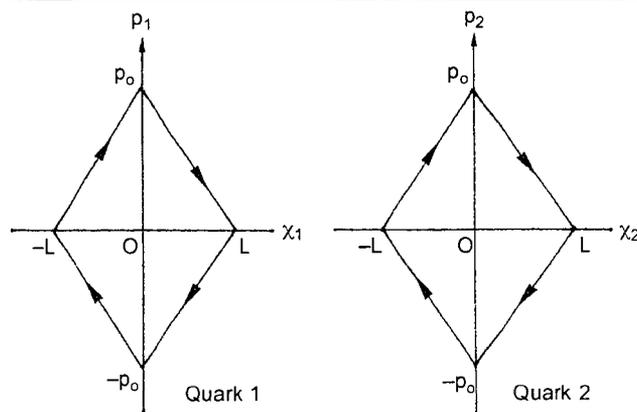


Fig. 4

3) O sistema de referência S move-se com uma velocidade constante  $V = 0.6c$  relativamente ao referencial do laboratório S', na direcção do eixo  $x'$ ; as origens dos dois sistemas de referência coincidem para  $t = t' = 0$ . A transformação de Lorentz para estes dois sistemas é dada por:

$$\begin{cases} x' = \gamma(x + \beta ct) \\ t' = \gamma(t + \beta x/c) \end{cases}, \quad (13)$$

onde  $\beta = V/c$  e  $\gamma = \sqrt{1 - \beta^2}$ . Para  $V = 0.6c$ , temos  $\beta = 3/5$  e  $\gamma = 5/4$ . Como a transformação de Lorentz é linear, uma linha recta no diagrama  $(x, t)$  transforma-se numa linha

recta no diagrama  $(x', t')$ , pelo que precisamos apenas de calcular as coordenadas dos pontos de retorno no sistema S'.

Para o quark 1 as coordenadas dos pontos de retorno nos sistemas S e S' são:

Sistema S		Sistema S'	
$x_1$	$t_1$	$x'_1 = \gamma(x_1 + \beta ct_1) = 5x_1/4 + 3ct_1/4$	$t'_1 = \gamma(t_1 + \beta x_1/c) = 5t_1/4 + 3x_1/(4c)$
0	0	0	0
L	$\tau$	$\gamma(1 + \beta)L = 2L$	$\gamma(1 + \beta)\tau = 2\tau$
0	$2\tau$	$2\gamma\beta L = 3L/2$	$2\gamma t = 5\tau/2$
-L	$3\tau$	$\gamma(3\beta - 1)L = L$	$\gamma(3 - \beta)\tau = 3\tau$
0	$4\tau$	$4\gamma\beta L = 3L$	$4\gamma\tau = 5\tau$

Com  $L = p_0 c/f = Mc^2/2f$  vem  $\tau = p_0/f = Mc/2f$ .

Para o quark 2 temos:

Sistema S		Sistema S'	
$x_2$	$t_1$	$x'_2 = \gamma(x_2 + \beta ct_2) = 5x_2/4 + 3ct_2/4$	$t'_2 = \gamma(t_2 + \beta x_2/c) = 5t_2/4 + 3x_2/(4c)$
0	0	0	0
-L	$\tau$	$-\gamma(1 - \beta)L = -L/2$	$\gamma(1 + \beta)\tau = 2\tau$
0	$2\tau$	$2\gamma\beta L = 3L/2$	$2\gamma t = 5\tau/2$
L	$3\tau$	$\gamma(3\beta + 1)L = 7L/2$	$\gamma(3 - \beta)\tau = 3\tau$
0	$4\tau$	$4\gamma\beta L = 3L$	$4\gamma\tau = 5\tau$

Na Fig. 5 representam-se os diagramas  $(x', t')$  para cada um dos quarks.

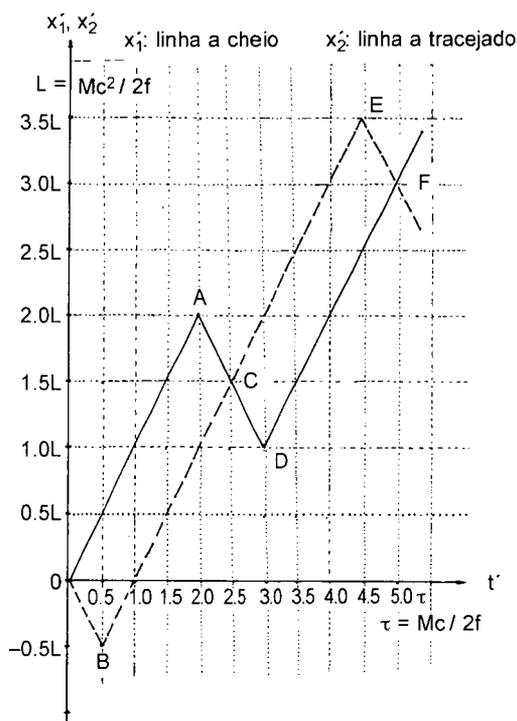


Fig. 5

As equações das rectas OA e OB são:

$$\begin{cases} x_1'(t') = ct' & , & 0 \leq t' \leq \gamma(1 + \beta)\tau = 2\tau; & (14a) \\ x_2'(t') = -ct' & , & 0 \leq t' \leq \gamma(1 - \beta)\tau = \tau/2. & (14b) \end{cases}$$

A distância entre os dois quarks atinge o seu máximo  $d'$  quando  $t' = \tau/2$ , sendo dada por:

$$d' = 2c\gamma(1 - \beta)\tau = 2\gamma(1 - \beta)L = Mc^2/2f. \quad (15)$$

4) A velocidade do mesão no sistema do laboratório é  $V = 0.60 c$ . A sua energia medida nesse mesmo referencial é:

$$\begin{aligned} E' &= \sqrt{p^2 + M^2c^4} = \sqrt{M^2V^2c^2/(1 - V^2/c^2) + M^2c^4} = \\ &= \sqrt{1 + 0.36/0.64} Mc^2 \\ &= 5/4 Mc^2 = 5/4 \cdot 140 = 175 \text{ MeV.} \end{aligned}$$

## PREPARAÇÃO PARA A XXVI IPhO

*Realizou-se de 19 a 21 de Janeiro passado, no Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, um primeiro encontro dos oito alunos pré-seleccionados para a representação portuguesa na XXVI Olimpíada Internacional de Física, a realizar na Austrália de 5 a 12 de Julho de 1995. Compareceram igualmente os professores orientadores desses alunos.*

*A reunião serviu para aprofundar os conhecimentos nos domínios da Mecânica, da Termodinâmica, da Relatividade Restrita e da Física Experimental. Regista-se o ambiente de grande empenho de todos os participantes e agradece-se aos Profs. Pedro Alberto e Carlos Fiolhais, que colaboraram com os líderes da equipa olímpica nesta actividade. Está previsto para Março um novo encontro de trabalho no Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. (APL e MF)*

## OLIMPÍADAS DE FÍSICA 1994/95 — FASE REGIONAL —

As fases regionais das Olimpíadas de Física 1994/95 realizam-se a 6 de Maio de 1995 simultaneamente em:

- Lisboa, no Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa;
- Porto, no Departamento de Física da Faculdade de Ciências Universidade do Porto;
- Coimbra, no Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra;

Para mais informações poderá contactar as respectivas Delegações Regionais da SPF, que organizam as provas.

## Acções de Formação em Física — Programa FOCO —

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

O Grupo de Física da FCUP propõe-se realizar quatro acções de formação durante o corrente ano de 1995.

### \* Experimentação em Física

(50 horas, Turma A - início: 19.04.95; fim: 28.06.95 — Turma B - início: 20.06.95; fim: 20.07.95)

### \* A Abordagem Laboratorial no Ensino da Física

(50 horas, início: 04.10.95; fim: 13.12.95)

### \* Luz e Visão

(37 horas, início: 03.07.95; fim: 15.07.95)

### \* Cálculo Automático Aplicado à Física

(37 horas, início: 10.07.95; fim: 22.09.95)

Todas estas acções exigem um mínimo de 20 e um máximo de 60 inscrições (2 Turmas). Cada inscrição será considerada firme através de um depósito de 5.000\$00, a devolver no fim da acção respectiva.

As acções de formação em Física integram-se num conjunto de acções em diversos ramos científicos, organizadas pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, estando sujeitas a cancelamento ou alteração, conforme decisão superior que se aguarda.

*Para mais informações contactar:*

### LABORATÓRIO DE FÍSICA

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto  
Praça Gomes Teixeira — 4050 Porto  
Tel: 310290 — Fax: 319267