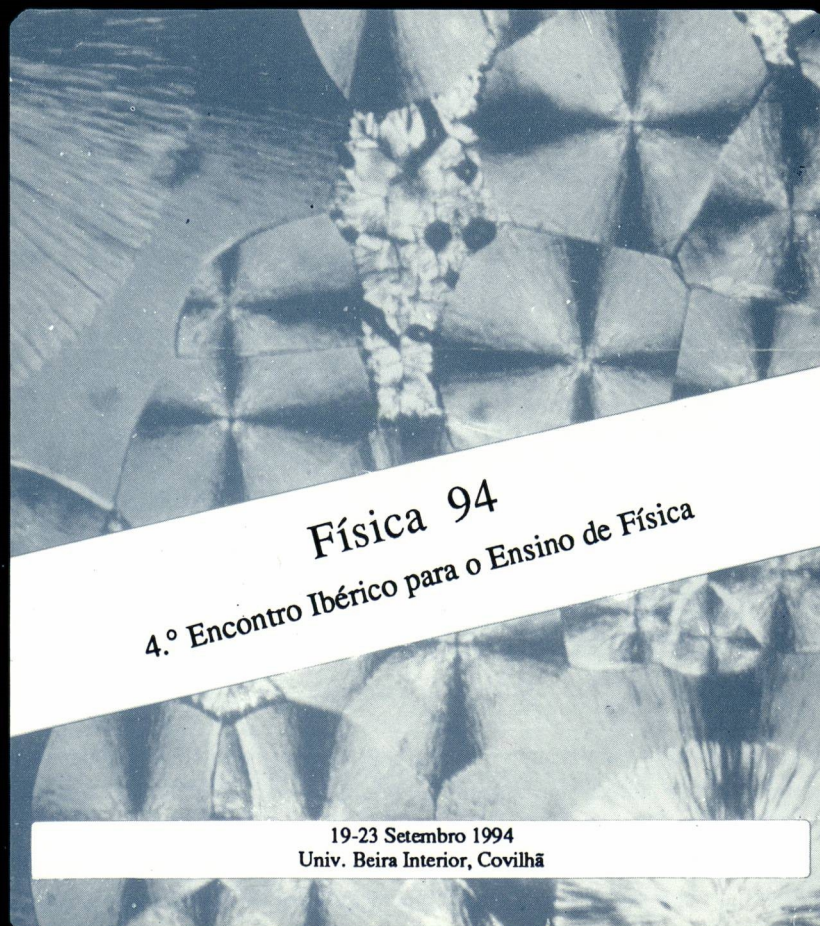


FÍSICA



Física 94
4.º Encontro Ibérico para o Ensino de Física

19-23 Setembro 1994
Univ. Beira Interior, Covilhã

Gazeta de Física

Propriedade da Sociedade Portuguesa de Física

Registo na DGCS n.º 107280 de 13/5/80

Depósito Legal n.º 51419/91

Publicação Trimestral

N.º 1 - 1994

Redacção e Administração

Avenida da República, 37 - 4.º - 1000 Lisboa

Telefone (01) 7973251

Fax (01) 7952349

Directores

João Bessa Sousa (FCUP)

Filipe Duarte Santos (FCUL)

Carlos Fiolhais (FCTUC)

Comissão de Redacção e Administração

Carlos Matos Ferreira (IST)

Margarida Telo da Gama (FCUL)

Ana Maria Eiró (FCUL)

Maria Margarida Cruz (FCUL)

Preparação e Revisão de Texto

Florbela Martins Teixeira

Execução Gráfica

Imprensa Portuguesa

Rua Formosa, 108-116, 4000 Porto

Telefone (02) 2002466

Fax (02) 2015105

Tiragem: 2500 exemplares

Preço avulso: 600\$00

Assinatura anual (quatro números):

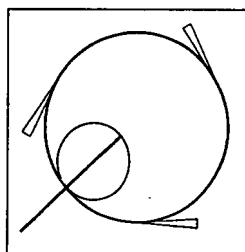
2000\$00 (Continente, Açores, Madeira e Macau)

35 US dólares (estrangeiro)

**Publicação subsidiada pela Fundação Calouste Gulbenkian
e pela Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica**

A **Gazeta de Física** publica artigos, com índole de divulgação, considerados de interesse para estudantes, professores e investigadores em Física. Deverá constituir também um espaço de informação para as actividades da SPF, nomeadamente as suas Delegações Regionais e Divisões Técnicas. Os artigos podem ter índole teórica, experimental ou aplicada, visando promover o interesse dos jovens pelo estudo da Física, o intercâmbio de ideias e experiências profissionais entre os que ensinam, investigam ou aplicam a Física. As opiniões expressas pelos autores não representam necessariamente posições da SPF.

Os **manuscritos** devem ser submetidos em duplicado, dactilografados em folhas A4 a dois espaços (máximo *equivalente* a 4000 palavras, incluindo figuras; 1 figura corresponde em média a 140 palavras). Deverão ter sempre um curto resumo, não excedendo 130 palavras. Deve ser indicado o(s) endereço(s) completo(s) das instituições dos autores. Agradece-se o envio do texto em disquete (de preferência «Word» para Macintosh ou PC). Os originais de figuras devem ser apresentadas em folhas separadas, prontos para reprodução. Endereço para correspondência: **Gazeta de Física - Sociedade Portuguesa de Física, Av. da República, 37 - 4.º — 1000 Lisboa.**



SUMÁRIO

2

O CIRCUITO ELÉCTRICO MÍNIMO ANÁLOGO DA MOLA PESADA

J. Miguel Nunes da Silva

7

FLUXO DE CALOR EM CONTINENTES E OCEANOS

Maria Rosa Alves Duque

12

PORQUE SE CALCULA COM RADIANOS?

Mário J. Pinheiro

15

1.º E 2.º CICLOS DO ENSINO BÁSICO: À DESCOBERTA DA FÍSICA

Fátima Paixão, Jorge Sanches, José A. Farias, Mário Afonso e Paulo Rosário

18

OLIMPIADAS DE FÍSICA: ETAPA REGIONAL 1994

22

OLIMPIADAS NACIONAIS DE FÍSICA 1994

29

O QUE HÁ DE NOVO?

30

NOTÍCIAS SPF

32

VIVA A CIÊNCIA 1994

O CIRCUITO ELÉCTRICO MÍNIMO ANÁLOGO DA MOLA PESADA

J. MIGUEL NUNES DA SILVA

Laboratório de Física da Universidade do Porto
Pr. Gomes Teixeira, 4000 Porto

A bem conhecida e fecunda analogia electromecânica é aplicada ao caso da mola de massa não desprezável.

É mostrado que, pelo menos em teoria, esta pode ser representada por uma única malha LC sendo facilmente calculadas as frequências de ressonância do sistema mecânico original.

Este tratamento revela-se uma forma natural de fazer uma primeira abordagem à técnica de renormalização.

1. Introdução

São bem conhecidas as vantagens de representarmos um sistema mecânico pelo seu análogo eléctrico. De entre elas contam-se: fácil montagem de forma a evidenciar um aspecto particular da física do sistema; fácil identificação de efeitos de ressonância; e fácil acesso a uma diversidade de medidas. Um exemplo simples disto é o circuito LC usado como análogo de uma idealização do sistema massa/mola (fig. 1). Esta analogia é formal e expressa com base na equação diferencial

$$R \frac{d^2}{dt^2} X + TX = U \cos \omega t \quad (1)$$

através da correspondência $(R, T, U, X) \Leftrightarrow (M, K, F_0, x) \Leftrightarrow (L, 1/C, \omega V_0, i)$, onde

M \equiv massa suspensa na mola
 K \equiv rigidez da mola
 F_0 \equiv amplitude da força excitadora
 x \equiv alongação da mola em relação ao equilíbrio
 L \equiv indutância da bobina
 C \equiv capacidade do condensador
 V_0 \equiv amplitude da tensão excitadora

i \equiv corrente eléctrica na malha
 ω \equiv 2π vezes a frequência da força ou tensão excitadoras, supostas sinusoidais.

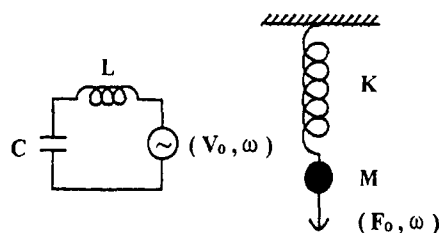


Fig. 1 — Circuito LC e sistema massa-mola análoga com as correspondentes tensão excitadora $V(t) = V_0 \cos \omega t$ e força excitadora $F(t) = F_0 \cos \omega t$.

O problema das oscilações de uma massa M suspensa numa mola pesada ou massiva (em que a sua própria massa « m » não é desprezada) é um velho problema [1], fonte de muitos pontos de vista: veja-se J. T. Cushing [2], e as primeiras doze referências aí citadas; e, ainda, J. T. Cushing [3] e J. M. Nunes da Silva [4]. Como é bem conhecido [1] este sistema tem um número infinito, mas discreto, de frequências de ressonância (ou modos próprios de oscilação) expressos pelas soluções da equação

$$\frac{m}{M} = \left(\omega \sqrt{\frac{m}{M}} \right) \operatorname{tg} \left(\omega \sqrt{\frac{m}{M}} \right). \quad (2)$$

Uma abordagem
elementar à técnica
de renormalização

Introdução

Redução do circuito

Redução sucessiva

Redução máxima

Conclusão

No limite $m \ll M$, a mola comporta-se como se a sua massa m contribui-se para uma massa efectiva de $M + m/3$.

O circuito eléctrico análogo à mola massiva poderia ser um sistema contínuo — um cabo coaxial — como indica a Fig. 8 de [2], exigindo a operação frequências na região dos megahertz. Contudo [4], por exemplo, sugere uma representação discreta de uma série de $N \gg 1$ pequenas molas, de rigidez $S = K N$, acoplando outras tantas pequenas massas de valor $r = m/N$. Essa representação, que é ilustrada na Fig. 2a, tem, do ponto de vista macros-

Com efeito, se a corrente i_n atravessar a inductância à esquerda do nodo n , temos:

- para a inductância da esquerda:

$$i_0 = 0; \quad (4.a)$$

- para uma inductância intermédia:

$$L_0 \frac{d^2}{dt^2} i_n = \frac{1}{C_0} (i_{n-1} - 2 i_{n+1}); \quad (4.b)$$

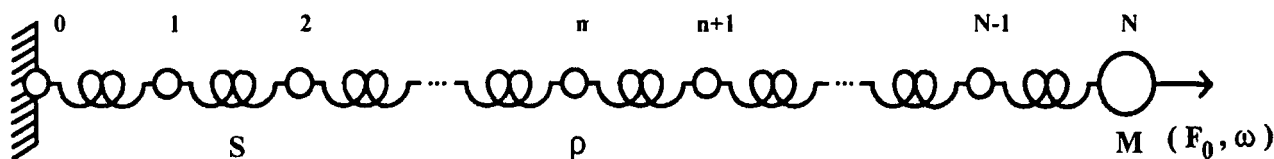


Fig. 2a — Representação discretizada para a mola pesada com uma massa M acoplada no extremo oposto à ponta fixa.

cópico, os ingredientes necessários de elasticidade e de distribuição uniforme de massa [4]. Ela exprime-se em três tipos de equações para os deslocamentos x_n em relação às posições de equilíbrio:

- para a ponta fixa

$$x_n = 0; \quad (3.a)$$

- para as massas intermédias $n = 1, 2, \dots, N - 1$:

$$\rho \ddot{x} = S (x_{n-1} - 2 x_n + x_{n+1}); \quad (3.b)$$

- e para a massa M acoplada à mola massiva:

$$M \ddot{x}_n = S (x_{N-1} - x_N) + F_0 \cos \omega t. \quad (3.c)$$

Do que foi dito em torno da eq. (1), e da aplicação das leis de Kirchoff, facilmente se conclui que o circuito da Fig. 2b é o análogo da referida representação discreta.

- e para a inductância L_F da ponta direita:

$$L_F \frac{d^2}{dt^2} i_N = \frac{1}{C_0} (i_{N-1} - i_N) + \omega V_0 \cos \omega t. \quad (4.c)$$

(a diferença de fase em (4.c) foi esquecida por irrelevante). É pois patente entre (3) e (4) uma analogia caso se faça corresponder M a L_F e se defina

$$L_0 \equiv L/N \quad (5.a)$$

e

$$C_0 \equiv C/N, \quad (5.b)$$

correspondendo estas definições (num sentido fácil de precisar) à inductância e capacidade por unidade de comprimento do cabo coaxial descrito em [2].

Neste artigo procuraremos responder à questão do número mínimo de elementos para o circuito eléctrico análogo. Como veremos estes «contam-se pelos dedos de uma mão», o que constitui uma vantagem (pelo menos no

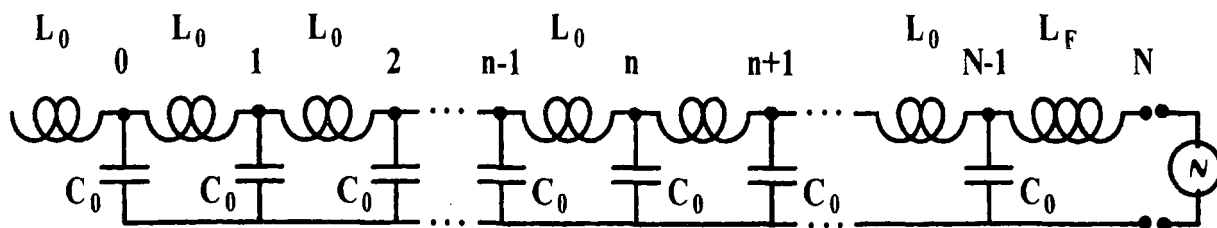


Fig. 2b — Circuito eléctrico equivalente. A tensão aplicada é sinusoidal de amplitude V_0 e frequência ω .

ponto de vista da teoria) a acrescentar às enunciadas no início desta introdução.

Uma primeira redução a um circuito equivalente ao da Fig. 2b, mas com apenas $N/2$ elementos LC, é conseguido na Secção 2 por aplicação da bem conhecida transformação $\Pi \rightarrow T$ para circuitos quadripolares. Fazendo uso da notação da Fig. 3, das leis de associação de impedâncias, e considerada a simetria, basta estabelecer a igualdade de impedâncias:

i) entre os nodos 1 e 3:

$$(2j\omega \Delta L)^{-1} = \left(\frac{2}{j\omega C_0} \right)^{-1} + \frac{1}{j\omega L_0}$$

(com $j^2 = -1$), i. e.,

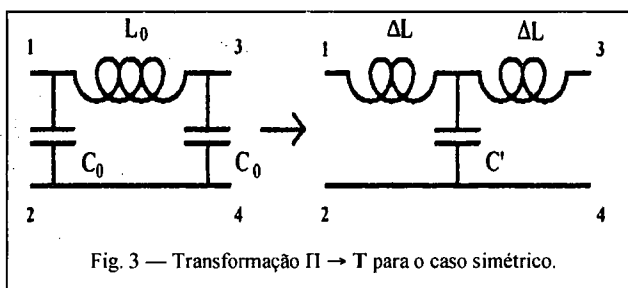


Fig. 3 — Transformação $\Pi \rightarrow T$ para o caso simétrico.

$$\Delta L = \frac{L_0}{2 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2} \quad (6.a)$$

e

$$\omega_0 \equiv 1/\sqrt{L_0 C_0} = N/\sqrt{L C} \quad (7)$$

ii)

entre os nodos 1 e 2:

$$\left[j\omega \Delta L + \frac{1}{j\omega C'} \right]^{-1} = \left[j\omega L_0 + \frac{1}{j\omega C_0} \right]^{-1} + j\omega C_0,$$

i.e.,

$$C' = C_0 \left[2 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right] \quad (6.b)$$

Na Secção 3 aplicaremos sucessivamente as relações de passagem (6.a,b) reduzindo repetidamente a metade o número de elementos LC do circuito equivalente: por isso escolhemos $N = 2p$, com p inteiro. Na Secção 4 faremos a sua redução máxima a uma simples malha LC.

2. Redução do circuito

Começemos por realçar dois factos importantes sobre o nosso circuito da Fig. 2b. No lado esquerdo do nodo «0» a indutância aí residente, e mantida apenas para tornar mais clara a analogia, é irrelevante do ponto de vista eléctrico. Ela constitui, digamos assim, uma «ponta morta». Não sendo atravessada por qualquer corrente é indiferente a alteração do seu valor pela aplicação da transformação $\Pi \rightarrow T$ ao quadripolo inserido entre os nodos «0» e «1». No outro lado, notemos que a fonte de tensão não é afectada pelo processo de redução mantendo as suas características: em particular ω é fixo.

Para reduzir o circuito da Fig. 2b fez-se a aplicação, em malhas alternadas, da transformação $\Pi \rightarrow T$ formalizada em (6.a,b). Cada quadripolo compreendido entre o nodo « $2n$ » e « $2n + 1$ », com $n = 0, 1, 2, \dots, N/2 - 1$, é transformado num quadripolo T (veja-se a Fig. 4a).

Resulta, assim, o aparecimento de novos condensadores de capacidades C' dadas directamente por (6.b). De forma idêntica, surge uma nova indutância L' , resultado de duas contribuições adicionais dadas por (6.a):

$$L' = L_0 + 2 \Delta L = L_0 \frac{4 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}{2 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2} \quad (8)$$

O caso da indutância da ponta direita é diferente, havendo só uma contribuição adicional ΔL , pelo que se define

$$L'_F = L_F + 2 \Delta L. \quad (9)$$

Temos, se atentarmos na Fig. 4a, que o nosso circuito eléctrico se simplificou drasticamente. De facto, obtemos,

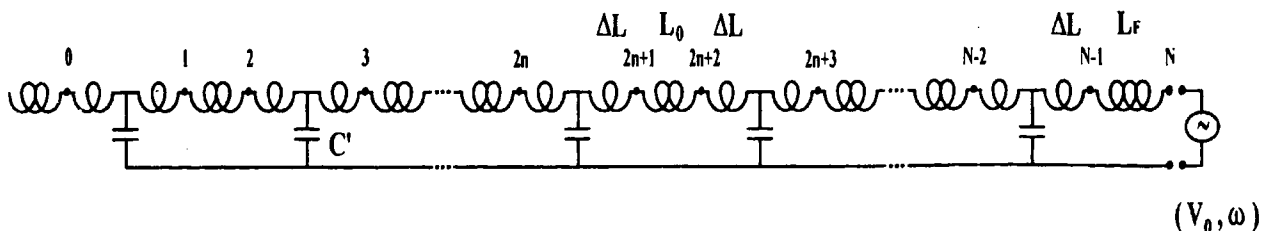


Fig. 4a — Circuito reduzido por aplicação da transformação $\Pi \rightarrow T$ de forma alternada.

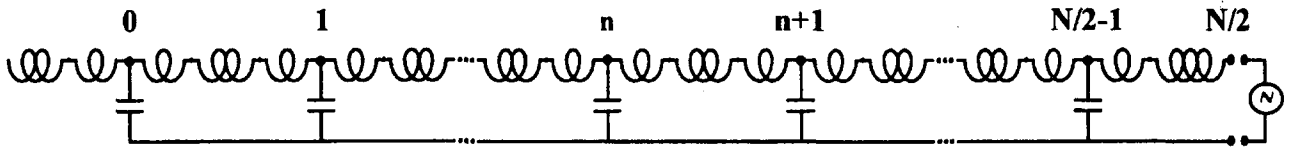


Fig. 4b — Redefinição dos índices identificadores dos nodos para o circuito da Fig. 4a.

por redefinição dos nodos segundo indica a Fig. 4b, uma representação idêntica à inicial, expressa na Fig. 2b, mas com apenas metade dos elementos. Notemos ainda, partindo de (6.b) e (8), que, para este novo circuito, o equivalente da frequência característica ω_0 , definida em (7), vem dado por

$$\omega_0'^2 = \omega_0^2 \left[4 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right]^{-1} \quad (10)$$

3. Redução sucessiva

Esta última expressão (10) pode adquirir uma forma muito simples (veja-se por exemplo [4]) se fizermos

$$\frac{\omega}{\omega_0} \equiv 2 \operatorname{sen} \chi, \quad (11)$$

o que é remanescente da relação de dispersão para ondas numa cadeia linear infinita de massas e molas. De facto (10) toma a forma

$$\chi' = 2 \chi \quad (12)$$

e as relações (6.b) e (8.b) ficam:

$$C' = 2 C_0 \cos 2 \chi \quad (13.a)$$

$$L' = 2 L_0 \frac{\cos^2 \chi}{\cos 2 \chi}. \quad (13.b)$$

Quanto à indutância terminal L_F basta notar, para o que segue, que de (8.a) e (9) se conclui

$$2 L_F' - L' = 2 L_F - L_0. \quad (14)$$

Vimos, no final da secção anterior, que o circuito obtido por redução era idêntico ao inicial, mas com apenas metade dos elementos. Por isso estamos autorizados a repetir o mesmo procedimento de redução, digamos k vezes. O circuito resultante passa, em consequência de (12) e (13.b), a ser constituído por indutâncias de valor

$$\begin{aligned} L^{(k)} &= L_0 \frac{\cos \chi}{\cos 2^k \chi} \prod_{i=0}^{k-1} 2 \cos 2^i \chi \\ &= L_0 \frac{\operatorname{tg} 2^k \chi}{\operatorname{tg} \chi}, \end{aligned} \quad (15)$$

onde se usa o resultado em apêndice. Os novos condensadores terão um valor resultante da iteração de (13.a):

$$\begin{aligned} C^{(k)} &= C_0 \prod_{i=0}^{k-1} 2 \cos 2^{i+1} \chi \\ &= C_0 \frac{\operatorname{sen} 2^{k+1} \chi}{\operatorname{sen} 2 \chi}. \end{aligned} \quad (16)$$

Quanto à indutância terminal, a invariância do binómio $2 L_F^{(i)} - L^{(i)}$, expressa por (14),

$$\begin{aligned} L_F^{(k)} &= \frac{1}{2} L^{(k)} + L_F - \frac{1}{2} L_0 \\ &= L_F + \frac{1}{2} L_0 \left[\frac{\operatorname{tg} 2^k \chi}{\operatorname{tg} \chi} - 1 \right], \end{aligned} \quad (17)$$

fazendo uso de (15).

As equações (15), (16) e (17) exprimem os valores das indutâncias, condensadores e indutância terminal de um circuito com a forma do da Fig. 4a com $2^p - k$ nodos.

4. Redução máxima

Somos, assim, levados a concluir que existe um limite máximo para o número de reduções. De facto, no caso $k = p$ o circuito reduzido é mínimo, sendo constituído apenas por uma malha LC (tal como a fig. 1) com componentes de valores $C^{(p)}$ e $L_F^{(p)}$ dados por (16) e (17). A correspondente frequência de ressonância vem então dada por

$$\omega = 1 / \sqrt{C^{(p)} L_F^{(p)}}. \quad (18)$$

Esta equação pode ser escrita de forma explícita se notarmos que w_0 é, devido a (7), proporcional a $N \gg 1$. Então resulta de (11)

$$\chi \approx \omega \frac{\sqrt{LC}}{2N}, \quad (19)$$

que, substituído em (16) e (17), torna

$$C^{(p)} = C \frac{\text{sen} \omega \sqrt{LC}}{\omega \sqrt{LC}} \quad (20)$$

e

$$L_F^{(p)} = L_F + L \frac{\text{tg} \frac{\omega}{2} \sqrt{LC}}{\omega \sqrt{LC}}. \quad (21)$$

Assim, a eq. (18) toma a forma já nossa familiar

$$\frac{L}{L_F} = (\omega \sqrt{LC}) \text{tg}(\omega \sqrt{LC}). \quad (22)$$

De facto, fazendo uso da analogia electromecânica enunciada na Introdução ($L_F \rightarrow M$, $L \rightarrow m$, $C \rightarrow 1/K$) recuperamos, a partir de (22), a muito celebrada expressão (2).

5. Conclusão

A mola massiva com massa acoplada é um sistema surpreendente, quer pela diversidade da Física que revela quer pela quantidade de métodos que permite aplicar [2-4].

O processo de redução do análogo eléctrico surge como o primeiro ponto de contacto com um conhecido método. Este estende os conceitos da análise dimensional e a noção de similaridade (patente entre os modelos ou circuitos representados nas Figs. 2b e 4a) [4]. De facto esse método, conhecido por renormalização e que valeu em 1982 o prémio Nobel ao físico americano Kenneth G. Wilson, apenas necessita de um outro ingrediente, o da mudança de escala de comprimentos [4], que, no nosso caso, se traduz na redefinição de índices (coordenadas) operada na Fig. 4b e que pode ser interpretada como uma duplicação do espaçamento entre os elementos do circuito.

A linguagem da analogia electromecânica apresenta-se, pois, como uma forma natural de introduzir técnicas e conceitos que tiveram a sua génese na electrodinâmica quântica (Gell-Mann e Low, 1954). Estes levaram um grande impulso durante a aplicação às transições de fase (Kadanoff, 1967), e estabeleceram-se como método de aplicação sistemática com os trabalhos de Wilson (1971). Em [5] podem ser encontrados alguns desenvolvimentos e aplicações recentes.

Apêndice

Neste pequeno apêndice explicitaremos a transformação trigonométrica mais elaborada empregue neste artigo:

$$\prod_{i=0}^{n-1} 2 \cos 2^i \chi = \frac{\text{sen} 2^n \chi}{\text{sen} \chi}.$$

Para tal basta notar que

$$\begin{aligned} \text{sen} \chi \cdot 2 \cos \chi \cdot 2 \cos 2 \chi \cdots 2 \cos 2^{n-1} \chi &= \\ &= \text{sen} 2 \chi \cdot 2 \cos 2 \chi \cdots 2 \cos 2^{n-1} \chi \\ &= \text{sen} 2^2 \chi \cdot 2 \cos 2^2 \chi \cdots 2 \cos 2^{n-1} \chi \\ &= \text{sen} 2^{n-1} \chi \cdot 2 \cos 2^{n-1} \chi \\ &= \text{sen} 2^n \chi. \end{aligned}$$

Referências

- [1] COULSON, C. A. e Jeffrey, A. I. — *Waves* (Longman, Londres, § 43. (1977).
- [2] CUSHING, J. T. — *The spring-mass system revisited*. Am. J. Phys. **52**, 925-933. (1984).
- [3] CUSHING, J. T. — *The method of characteristics applied to the massive spring problem*. Am. J. Phys. **52**, 933-937. (1984).
- [4] NUNES DA SILVA, J. M. — *Renormalized vibrations of a loaded spring*. Am. J. Phys. (aceite para publicação)
- [5] CLERC, J. P.; GIRAUD G.; LAUGIER, J. M. e LUCK, J. M. — *The electrical conductivity of binary disordered systems, percolation clusters, fractals and related models*. Adv. Phys. **39**, 191-309. (1990).

FLUXO DE CALOR EM CONTINENTES E OCEANOS

MARIA ROSA ALVES DUQUE

Departamento de Física da Universidade de Évora, 2700 Évora
e Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa, 1200 Lisboa

Os sismos ou as erupções vulcânicas são manifestações temporárias de transferência de energia do interior para o exterior do nosso planeta. Vamos discutir o calor transferido continuamente para o exterior da Terra, através da sua superfície. Trata-se de um fenómeno que ocorre em toda a superfície do globo terrestre e que está directamente relacionado com os fenómenos tectónicos que ocorrem à superfície do nosso planeta.

Os cálculos feitos utilizando os valores obtidos nas medições de fluxo de calor em continentes e no fundo dos oceanos dão-nos um valor relativamente elevado para a energia «perdida» através da superfície (a potência é 4×10^{13} W) (). Vamos ver quais são as fontes de calor existentes no interior da Terra que, 5 mil milhões de anos depois da formação da Terra, ainda fornecem essa energia ao exterior.*

1. Introdução

As estimativas mais recentes do valor da energia transferida do interior para o exterior da Terra, através da sua superfície, são feitas com base nos valores de fluxo de calor obtidos em continentes e no fundo dos oceanos.

O estudo deste parâmetro geofísico é relativamente recente, tendo sido publicados os primeiros dados de fluxo de calor obtidos em continentes em 1939 (Benfield, 1939 e Bullard, 1939). As primeiras medições obtidas em fundo oceânico foram apresentadas em 1952 (Revelle e Maxwell, 1992).

O número de medições de fluxo de calor tem vindo a aumentar lenta mas continuamente, tendo sido apresentados 7177 dados de fluxo de calor obtidos no continente europeu e regiões limítrofes (Hurtig *et al.*, 1992).

As estimativas mais antigas, com valores de potência de cerca de 3×10^{13} W, foram obtidas fazendo a média aritmética dos valores de fluxo de calor obtidos em continentes e em oceanos, e multiplicando o resultado obtido pela área da superfície terrestre.

Com o aumento do número de dados de fluxo de calor e o desenvolvimento da teoria da tectónica de placas tornou-se claro que tal processo não deveria ser utilizado. As estimativas actuais são baseadas em modelos geodinâmicos, tendo em conta os dados de fluxo de calor existentes, os mecanismos de transferência de calor e a natureza e localização das fontes respectivas.

Começemos então por analisar os dados existentes sobre o fluxo de calor.

2. Fluxo de calor nos oceanos

Nos modelos de tectónica de placas verifica-se a ascensão de materiais do manto, junto das cristas oceânicas, que, por arrefecimento à superfície, dão origem a nova crosta oceânica. À medida que se afasta da crista oceânica, a nova crosta vai arrefecendo até maiores profundidades formando uma placa rígida cada vez mais espessa.

(*) As «perdas» de energia, em cada segundo, equivalem ao conteúdo em energia térmica de aproximadamente $1,4 \times 10^3$ toneladas de carvão.

Introdução

Fluxo de calor nos oceanos

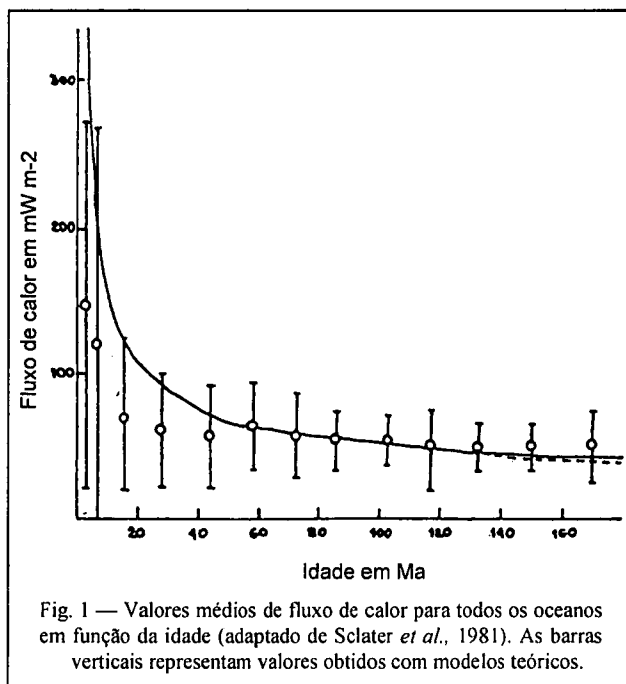
Zonas de subducção

Fluxo de calor nos continentes

Fontes radioactivas

Fontes não radioactivas

O fluxo de calor junto das cristas oceânicas tem valores elevados que diminuem à medida que nos afastamos da zona de ascensão de materiais do manto. Os gráficos dos valores de fluxo de calor em função da idade da litosfera mostram um decaimento exponencial (Fig. 1).



Os valores de fluxo obtidos com modelos teóricos (modelo de placa e modelo convectivo) são mais elevados do que os obtidos experimentalmente para idades relativamente novas e aproximam-se dos resultados obtidos para regiões com idades mais elevadas.

Este desacordo entre os valores teóricos e os experimentais foi motivo de discussão durante algum tempo. Actualmente considera-se que nas regiões em causa existe transferência de calor por processos não condutivos devido a circulação hidrotermal na crosta oceânica jovem, que é altamente permeável, permitindo a penetração e circulação de água do mar.

À medida que aumenta a idade da crosta forma-se uma camada sedimentar, cada vez mais espessa, que servirá de tampão à circulação da água. É a partir da formação desta zona que os resultados coincidem com os previstos teoricamente.

O desenvolvimento de novos instrumentos para medir fluxo de calor permitiu a realização de medições de fluxo em estações relativamente próximas, verificando-se variações acentuadas do fluxo e com características que confirmam a circulação hidrotermal na crosta.

Manifestações espectaculares de actividade hidrotermal têm sido observadas desde 1977 em descidas em cápsulas nas partes mais elevadas das cristas oceânicas. As primeiras foram observadas no Oceano Pacífico mas pos-

teriormente foi detectada actividade deste tipo nos Oceanos Atlântico e Índico.

As fontes mais importantes são conhecidas como «black smokers» e são constituídas por jactos de água que circulou através do basalto quente e que atingiu o fundo oceânico sem diluição, emergindo a uma temperatura de cerca de 350 °C. Estas águas contêm sais dissolvidos que se precipitam construindo chaminés de sulfetos, sulfatos, óxidos e silicatos, que podem atingir alguns metros de altura.

Existem também os «white smokers» que emergem a temperaturas entre 100 e 300 °C com cor branca devido aos precipitados constituídos essencialmente por baritite e sílica.

Estas manifestações hidrotermais são acompanhadas pela existência de formas de vida estranhas e variadas, que se alimentam da energia e nutrientes proporcionados pelos jactos de água.

A energia térmica libertada por um único «black smoker» foi estimada (Mac Donald *et al.*, 1980) obtendo-se uma perda total de calor de 23 080 MW (o orifício estudado tinha um raio de 15 cm). Este valor é equivalente ao calor perdido por circulação hidrotermal num segmento de crosta de 4 - 7 km, estendendo-se lateralmente até um milhão de anos, ou ao valor teórico calculado para gerar um comprimento de crosta de 3 - 6 km.

Na região onde foram feitas estas medições foram detectadas cerca de 12 chaminés em actividade num segmento de crosta com 1 km de extensão.

Esta observação vem pôr em destaque a importância da actividade hidrotermal na perda global de calor por parte da Terra. Ela sugere também que a actividade hidrotermal nestas chaminés a esta temperatura não pode ser um processo estacionário; elas devem funcionar apenas durante um certo tempo. Para o comprovar, atente-se no pequeno volume dos depósitos de material dissolvido (sulfatos) e as ideias restritas das populações encontradas junto das chaminés.

2.1. Zonas de subducção

Na Fig. 2 mostra-se esquematicamente uma zona de subducção. A placa que sofre um movimento de descida está mais fria do que o manto, e o fluxo de calor que se observa nas fossas e nas regiões continentais imediatamente adjacentes da placa sobreposta é, em geral, baixo.

Observa-se também a existência de vulcanismo no lado continental da fossa, sendo os arcos de ilhas, que em geral aparecem nestas zonas, de origem vulcânica. Nestas regiões o fluxo de calor apresenta, em geral, valores elevados.

Quando existe uma bacia marginal entre o arco de ilhas e o continente, observa-se, em geral, nestes mares interiores o fluxo de calor mais elevado destas zonas no lado côncavo do arco e por cima da placa descendente.

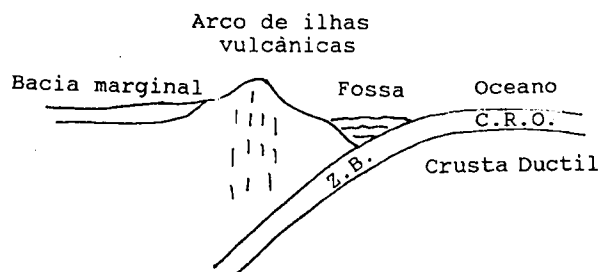


Fig. 2 — Representação esquemática de uma zona de subducção. Z.B. = Zona de Benioff; C.R.O. = Crusta Rígida Oceânica.

Esta distribuição de fluxo é observada em algumas zonas do Oceano Pacífico incluindo o arco NE do Japão.

Existem vários modelos que pretendem explicar os processos térmicos que ocorrem nestas regiões. Vamos falar do modelo apresentado por Honda (Honda, 1985).

O modelo é a duas dimensões e trata essencialmente de transferência de calor por condução.

Não são incluídas no modelo a produção de calor devido à existência de elementos radioactivos e a possíveis reacções endotérmicas, como a desidratação.

Os baixos valores de fluxo no lado do oceano são explicados pelo arrefecimento da placa oceânica antiga e os fluxos elevados do lado oposto por convecção no manto adjacente, induzida pela placa que está a descer e por atrito associado com o escoamento.

As condições impostas ao modelo são:

- o perfil do fluxo de calor observado à superfície;
- a existência da cadeia vulcânica numa região onde a profundidade da Zona de Benioff é aproximadamente 120-150 km, definindo a frente vulcânica;
- temperaturas de cerca de 1400 °C no manto, por baixo da frente vulcânica.

Para explicar o baixo valor do fluxo de calor que se observa nas fossas considera-se que o triângulo a tracejado (Fig. 3) está no estado sólido, enquanto para explicar as temperaturas de cerca de 1400 °C, requeridas por estudos petrológicos desta região, o manto superior por baixo do Mar do Japão tem de ser considerado bastante quente.

As temperaturas elevadas terão de ser superiores se a bacia marginal estiver activa, porque a situação de uma

bacia marginal pode ser muito semelhante à de uma crista oceânica normal. Os resultados obtidos encontram-se na Fig. 3.

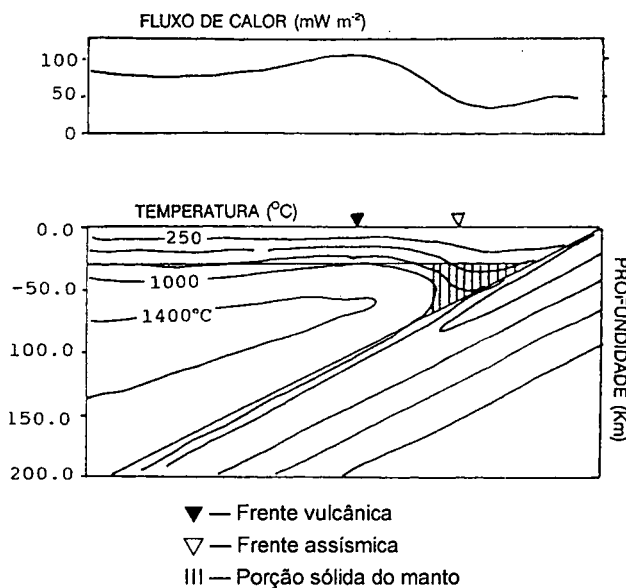


Fig. 3 — Modelo térmico de uma zona de subducção apresentado por Honda (1985).

O fluxo de calor em zonas de subducção tem uma distribuição característica e um significado físico definido. No entanto, um valor médio de fluxo de calor nestas províncias não tem qualquer significado.

3. Fluxo de calor nos continentes

A distribuição de fluxo de calor nos continentes mostra um padrão mais complicado que o observado nos oceanos.

O fluxo medido nos continentes pode ser produzido por processos distintos (fusão ou intrusão magmática durante um processo orogénico, extensão da crosta, erosão, geração de calor por elementos radioactivos) com características físicas distintas e que ocorrem em escalas de tempo com ordens de grandeza diferentes.

Assim, os dados de fluxo em continentes terão que ser examinados de acordo com a região onde foram obtidos. Polyak e Smirnov (1968) mostraram que eles estão relacionados com a idade tectónica da formação onde foram obtidos. Estes estudos foram retomados e desenvolvidos por vários autores, mas o resultado obtido em todos eles conduz à hipótese de uma diminuição exponencial do fluxo com o aumento da idade tectónica da região (Fig. 4).

O intervalo de tempo característico para a diminuição do fluxo de calor nos continentes é uma ordem de grandeza superior ao obtido para os valores de fluxo de áreas oceânicas.

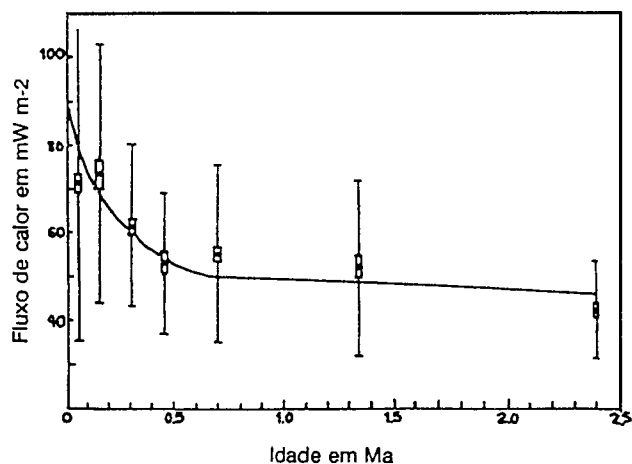


Fig. 4 — Fluxo vertical de calor em continentes, em função da idade (adaptado de Vitorello e Pollack, 1980). As barras duplas representam o erro da média e as barras simples representam o desvio padrão.

Como a crosta continental contém uma quantidade significativa de fontes radioativas, elas contribuem para o fluxo medido à superfície.

Existe uma relação empírica entre o fluxo de calor medido à superfície, numa dada região, e o calor produzido pelos elementos radioativos existentes em amostras retiradas dessa mesma região. Esta relação foi descoberta por Roy *et al.* (1968) para algumas regiões dos EUA, tendo sido depois obtida noutras regiões.

Esta relação diz que, para uma dada região chamada «provincia de fluxo de calor», o fluxo de calor à superfície, Q , está relacionado com a produção de calor devido à existência de elementos radioativos nas rochas da superfície A_0 , por uma expressão do tipo

$$Q = Q_r + DA_0,$$

onde Q_r representa o fluxo de calor proveniente de zonas mais profundas e D representa a espessura da camada externa onde estão concentrados os elementos radioativos, se a taxa de geração de calor por estes elementos for considerada constante. Se considerarmos que a taxa de geração de calor depende da profundidade Z

$$A(z) = A_0 e^{-Z/D},$$

então D pode ser tomado como uma espessura característica da camada radioactiva.

Cada provincia de fluxo geotérmico tem valores característicos de Q_r e D .

Esta relação obtida para rochas plutónicas foi encontrada mais tarde para terrenos metamórficos e metasedimentares (Kutas, 1977; Jaupart *et al.*, 1981).

Estudando várias provincias geométricas, Pollack e Chapman (1977) concluíram que Q e Q_r estão relacionados por

$$Q_r = 0,6 Q,$$

isto é, 40% do fluxo de calor detectado à superfície terá a sua origem na camada de espessura D onde estão concentrados os elementos radioactivos; os restantes 60% serão provenientes de regiões profundas.

Conhecendo a localização dos dados de fluxo e tendo em conta as áreas das diferentes regiões é possível obter-se uma estimativa da energia geométrica perdida pela Terra.

A perda global de calor na Terra é de $4,2 \times 10^{13}$ W (Sclater *et al.*, 1981), sendo cerca de 30% deste valor ($1,26 \times 10^{13}$ W) obtido em continentes e 70% ($2,94 \times 10^{13}$ W) obtido em oceanos. No caso dos continentes já vimos que 40% do fluxo medido à superfície terá a sua origem na camada radioactiva perto da superfície terrestre.

Surge-nos, no entanto, um problema. O valor obtido é muito elevado. Quais são as fontes responsáveis por este fluxo? Atendendo à idade da Terra ($4,6 \times 10^9$ anos), como é possível que essas fontes se tenham mantido durante todo este tempo e ainda hoje estejam em actividade?

4. Fontes radioactivas

A radioactividade do manto é obtida a partir da abundância de urânio e tório nos meteoritos condriticos. Esta abundância é cerca de 12 ppb para o tório e 40 ppb para o urânio (*), obtendo-se um valor de $0,923 \times 10^{13}$ W para a produção de calor pelo urânio e tório.

A estimativa para a abundância de potássio na crosta e manto é de 151 ppm, obtendo-se uma produção de calor de $0,213 \times 10^{13}$ W pelo potássio.

A produção total pelos elementos radioactivos será então $1,14 \times 10^{13}$ W.

Como é feita esta distribuição pelos continentes e pelos oceanos?

Considera-se que a distribuição de potássio na Terra é uniforme, obtendo-se um valor de $0,13 \times 10^{13}$ W nos oceanos e de $0,09 \times 10^{13}$ W nos continentes.

Se subtrairmos o calor gerado pelo potássio ($0,13 \times 10^{13}$ W) da perda global por parte dos oceanos ($2,94 \times 10^{13}$ W) obteremos $2,81 \times 10^{13}$ W.

(*) 1 ppb = 1 parte por bilião.

Campanhas mundiais feitas para medir o hélio 4 nos oceanos mostraram que a quantidade deste elemento existente nos oceanos, proveniente do decaimento de elementos radioactivos, é apenas 5% do esperado; a taxa de energia correspondente ao decaimento do urânio e do tório será apenas $0,14 \times 10^{13}$ W (5% de $2,81 \times 10^{13}$ W).

A produção de calor por fontes não radioactivas nos oceanos será $2,67 \times 10^{13}$ W, sendo a produção por fontes radioactivas $0,28 \times 10^{13}$ W.

A produção de calor pelo urânio e tório nos continentes obtém-se subtraindo da produção total pelo urânio e tório ($0,923 \times 10^{13}$ W) a produção nos oceanos ($0,14 \times 10^{13}$ W), obtendo-se o valor $0,78 \times 10^{13}$ W. Somando a este valor a produção pelo potássio ($0,09 \times 10^{13}$ W) obteremos $0,87 \times 10^{13}$ W para o calor de origem radioactiva em continentes.

A produção de calor por fontes não radioactivas em continentes será então $0,39 \times 10^{13}$ W.

Na Tab. 1 mostram-se os valores obtidos nos oceanos e continentes.

Tab. 1 — Perda global de calor nos continentes e oceanos e principais fontes.

| | Oceanos | Continentes |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Total | $2,94 \times 10^{13}$ W (70%) | $1,26 \times 10^{13}$ W (30%) |
| Fontes radioactivas | $0,28 \times 10^{13}$ W (9%) | $0,87 \times 10^{13}$ W (69%) |
| Fontes não radioactivas | $2,67 \times 10^{13}$ W (91%) | $0,39 \times 10^{13}$ W (31%) |

Como podemos verificar, os mecanismos de produção e transferência de energia térmica para o exterior são completamente diferentes nos oceanos e continentes. As fontes de calor existentes nos continentes são essencialmente (69%) de origem radioactiva enquanto nos oceanos as fontes de origem radioactiva só são responsáveis por 9% da energia libertada.

5. Fontes não radioactivas

Nos modelos mais recentes considera-se que o calor provenha do arrefecimento secular e da libertação de energia potencial gravítica pela absorção de FeO do manto no núcleo.

Esta reacção foi produzida em laboratório, a temperaturas e pressões da ordem de grandeza das da fronteira núcleo-manto.

À medida que o ferro fundido do núcleo extrai o FeO da perovskite do manto, o material residual menos denso, formado principalmente por óxidos de magnésio e sílica, junta-se em «bolsas» com dimensões suficientes para vencer a alta viscosidade do manto e subir em forma de plumas ou megalitos transferindo calor para regiões mais externas do manto e base da litosfera.

BIBLIOGRAFIA

- BENFIELD, A. E. — The terrestrial heat flow in Great Britain, *Proc. Roy. Soc., London, Ser A*, 173, 428-450 (1939).
- BULLARD, E. C. — Heatflow in South Africa, *Proc. Roy. Soc., London, Ser A*, 173, 474-502 (1939).
- HONDA, S. — Thermal structure beneath the Northeast Japan, *Tectonophysics*, 112, 69-102 (1985).
- HURTIG, E., CERMAK, V., HAENEL, R., ZUI, V. (Editores) — Geothermal Atlas of Europe. *Hermann Haack* (1992).
- JAUPART, C., SCLATER, J. G., SIMMONS, G. — Heat flow studies: constraints on the distribution of Uranium, Thorium and Potassium in the continental crust. *Earth and Planet. Sci. Letters*, 52, 328-344 (1981).
- KUTAS, R. I. — Investigation of heat flow in the territory of the Ukraine. *Tectonophysics*, 103, 335-344 (1977).
- MACDONALD, K. C., BECKER, K., SPIESS, F. N., BALLARD, R. D. — Hydrothermal heat flux of the «Black Smoker» vents on the East Pacific Rise. *Earth and Planet. Sci. Letters*, 48, 1-7 (1980).
- POLLACK, H. N., CHAPMAN, D. S. — On the regional variation of heat flow geotherms and the thickness of the lithosphere. *Tectonophysics*, 38, 279-296 (1977).
- POLYAK, B. G., SMIRNOV, Y. B. — Relationships between terrestrial heat flow and tectonics of continents. *Geotectonics*, 4, 205-213 (1968).
- REVELLE, R., MAXWELL, A. E. — Heat flow through the floor of the eastern North Pacific Ocean. *Nature*, 170, 199-200 (1952).
- ROY, R. F., BLACKWELL, D. D., BIRCH, F. — Heat generation of plutonic rocks and continental heat flow provinces. *Earth Planet. Sci. Letters*, 5, 1-12 (1968).
- SCLATER, J. G., PARSONS, B., JAUPART, C. — Oceans and continents: similarities and differences in the mechanisms of heat loss. *J. Geophys. Res.*, 86, 11535-11552 (1981).
- UYEDA, S. — Implications. Geodynamics. IN: R. Haenel, L. Rybach, and L. Stegena (editores). *Handbook of Terrestrial Heat Flow Density Determination*, 317-351. Kluwer (1988).
- VACQUIER, V. — The origin of terrestrial heat flow. *Geophys. J. Int.*, 106, 199-202 (1991).
- VACQUIER, V. — Corrigendum to «Origin of terrestrial heat flow». *Geophys. J. Int.*, 111, 637-638 (1992).
- VITORELLO, I., POLLACK, H. N. — Continental heat flow with age and the thermal evolution of continents. *J. Geophys. Res.*, 85, 983-995 (1980).

PORQUE SE CALCULA COM RADIANOS?

MÁRIO J. PINHEIRO

Departamento de Física e Centro de Electrodinâmica
do Instituto Superior Técnico, 1096 Lisboa Codex

Os alunos colocam frequentemente questões de grande perspicácia e que são fonte de reflexão para os professores. Uma delas e que não nos parece trivial é porque se deve calcular com os ângulos com raios e não em graus? É a esta questão que procuramos responder. Os ângulos são grandezas geométricas adimensionais, perfeitamente determinados pela razão de dois comprimentos. Houve controvérsia em certa altura sobre se se deveria considerar o ângulo uma grandeza fundamental. Foi na 11.^a *Conférence Générale de Poids et Mesures* (CGPM), em 1960, que se estabeleceu o *Sistema Internacional de Unidades* (SI) que preconizou o ampere como unidade de intensidade de corrente, retirando ao ângulo a qualidade de grandeza com dimensões (Denis-Papin e Castellán, 1970; Almeida, 1988; Baptista, 1994).

A divisão do plano em 360 partes igualmente separadas deve-se à técnica de contagem inventada pelos Sumérios, que fundaram a primeira civilização conhecida. Contavam até 12 pelas falanges e, quando era necessário prolongar a contagem, dobravam um dedo da outra mão. Assim, podiam contar facilmente até 60 (Struik, 1989).

É igualmente interessante referir que na América pré-colombiana, a chave da mitologia e do simbolismo azteca encontra-se na *Pedra do Sol*, frequentemente designada por *calendário azteca*. O nome indígena é «Cuauhxicalli», o que significa «Receptáculo da Águia». Esta pedra apresenta-se dividida em 8 círculos concêntricos. No 3.^o círculo inscreve-se o ano civil, constituído por 18 meses e 20 dias, perfazendo no total 360 dias. A origem histórica da noção de ângulo definido em graus e a divisão do plano em 360 graus encontra-se provavelmente nessas civilizações.

Contudo, a referida origem histórica da noção de ângulo medido em graus pode escamotear a razão porque se deve calcular os ângulos em raios. Com efeito, um ângulo infinitamente pequeno pode-se avaliar pela expressão $d\theta = |d\vec{s}|/|\vec{R}|$, onde o vector $d\vec{s}$ é perpendicular ao vector \vec{R} (Fig. 1).

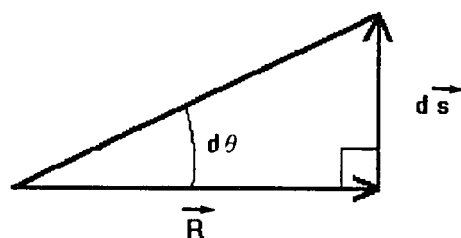


Fig. 1

O radiano é igualmente uma unidade de arco. É, com efeito, um arco de comprimento igual ao raio, de forma que há 2π raios numa circunferência. Com todo o rigor, o radiano é o ângulo plano compreendido entre dois raios que, na circunferência de um círculo, intersectam um arco de comprimento igual ao raio desse círculo, $\theta = l/R$ (Fig. 2).

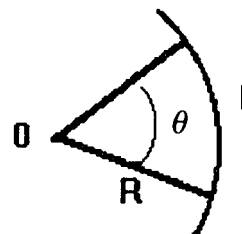


Fig. 2

Exprime-se o momento de uma força \vec{M} , pela expressão em módulo $M = Fd$ e o momento de um binário

Breve nota
pedagógica
sobre
o radiano

O radiano
e os sistemas
de Unidades

por $C = FR$ (onde R é o comprimento do braço) em unidades de trabalho ($N.m$) (Fig. 3). O momento de um binário ao rodar de um ângulo θ realiza o trabalho $W = C\theta$. Vemos neste exemplo, e antes da formulação do SI, que se o ângulo é avaliado em rad , o momento de um binário possui as dimensões de um trabalho por um ângulo ($J.rad^{-1}$). Da mesma forma, em electromagnetismo, definir-se-ia o ampere espira por metro, ou em língua francesa ampere-tour, (At) para unidade de campo magnético onde o «tour» definia uma unidade de ângulo correspondente a 2π radianos. Nesta perspectiva, parecia que o ângulo era uma grandeza com dimensões.

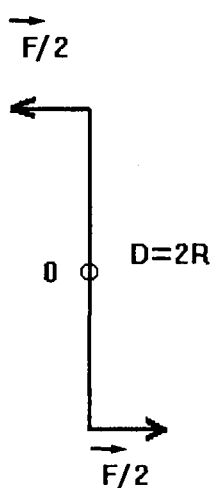


Fig. 3

Mas a CGPM retirou ao ângulo essa qualidade de grandeza com dimensões, fundando o SI, e definindo o ampere como a unidade de intensidade de corrente que, circulando em dois condutores paralelos rectilíneos de comprimento infinito, colocados a 1 m de distância um do outro no vácuo, exerce entre eles uma força de atracção a $2 \times 10^{-7} N$ por metro de comprimento.

Todas as outras unidades eléctricas são definidas a partir do ampere e de unidades mecânicas. As unidades magnéticas resultam de equações de definição independentes do ampere. Foram propostas duas fórmulas que dão origem ao sistema natural (ou não-racionalizado) e ao sistema racionalizado. No SI, com o objectivo de racionalizar as unidades, convencionou-se que a permeabilidade do vácuo é $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H.m^{-1} = 10^{-7} H.m^{-1}.sr^{-1}$, onde sr é a unidade de ângulo sólido.

O processo de racionalização ou não-racionalização só afecta as unidades pela utilização do *spat* (mais conhecido como ângulo sólido completo) ou do *esterradiano* como unidade de ângulo sólido ($1 spat = 4\pi sr$). Esse processo reflecte-se de igual modo nas fórmulas em que surge

ou desaparece o factor 4π ou $1/4\pi$. Por exemplo, no sistema racionalizado, introduz-se um coeficiente κ , definido de tal forma que $\epsilon_0\mu_0c^2 = \kappa$. Assim, no SI, temos $\kappa = 1$, $4\pi \epsilon_0 = \frac{1}{9 \times 10^9}$ e $\frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}$. No sistema de Gauss (unidades eléctricas do sistema CGS electrostático e unidades magnéticas do sistema CGS electromagnético), $\kappa = c$, $4\pi \epsilon_0 = 1$ e $\frac{\mu_0}{4\pi} = 1$. As equações de Maxwell no vácuo passam a escrever-se (tendo os símbolos o significado habitual) na forma:

$$\text{rot}\vec{E} + \frac{1}{\kappa} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\text{div}\vec{B} = 0 \quad (2)$$

$$\text{rot}\vec{B} - \frac{\epsilon_0\mu_0}{\kappa} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \frac{\mu_0}{\kappa} \vec{j} \quad (3)$$

$$\text{div}\vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (4)$$

A unidade racionalizada ampere-tour entra na definição do campo magnético H criado por uma solenóide de comprimento L contendo N espiras percorridas cada uma pela corrente eléctrica I : $H = NI/L$ (unidade: $At.m^{-1}$) = $4\pi NI/L$ (unidade: $A.sr.m^{-1}$). Mais uma vez, foi no CGPM que se desaconselhou o uso de unidades que contenham as expressões *esterradiano*, *tour* ou *spat*. Assim, a unidade do campo magnético será o $A.m^{-1}$ para H . A principal justificação para esta posição reside em que as palavras «tour» ou «spat», que designam a unidade de ângulo sólido, representam o espaço inteiro que se encontra naturalmente implícito e não precisa de ser nomeado sempre que se fala de uma grandeza física.

Ainda convém referir, *ex officio*, que os ângulos têm de ser medidos em radianos para que a aproximação $\text{sen}\theta \sim \theta$ seja válida para ângulos muito pequenos. Este facto é frequentemente objecto de confusão por parte dos alunos ao calcularem a precisão associada à determinação experimental do índice de refacção n de uma substância transparente (por meio de um prisma de dispersão de desvio constante, sendo neste caso $n = \frac{\text{sen}[(\delta_m + \alpha)/2]}{\text{sen } \alpha/2}$, onde α é o desvio constante do prisma e δ_m é o desvio mínimo).

Em resumo, a utilização do radiano resulta do facto de ser, na verdade, a única unidade de ângulo indispensável nas equações da mecânica com significado de energia por unidade de momento, quando se usa um sistema de unidades coerentes.

Um sistema de unidades coerentes é um conjunto de unidades interdependentes de tal forma que é possível definir o maior número possível de relações entre grandezas que podem ser escritas sem coeficientes numéricos (ou de tal forma que todos os coeficientes numéricos sejam iguais a 1). Devem-se escolher o menor número possível de unidades de base. A partir delas definem-se as unidades de outras grandezas, ditas derivadas.

REFERÊNCIAS

- STRIJK, D. J. — *História Concisa das Matemáticas*, Gradiva, Lisboa (1989).
- DENIS-PAPIN, M. e CASTELLAN, J. — *Métrologie Générale*. Vols. I e II, Dunod, Paris (1970).
- ALMEIDA, G. — *Sistema Internacional de Unidades (SI)*, Plátano, Lisboa (1988).
- BAPTISTA, A. M. — *O sistema internacional de unidades (SI)*, Gradiva, Lisboa (1994).

Novas Licenciaturas em Física na Universidade do Porto

Por proposta do Grupo de Física (FCUP), foram recentemente criadas duas novas licenciaturas em Física na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto: as licenciaturas em "Física e Tecnologia de Materiais" e "Optoelectrónica e Lasers". Embora com especializações científicas bem diferenciadas, as novas licenciaturas estão vocacionadas para a formação em áreas tecnológicas de grande relevância para a Indústria moderna.

A licenciatura em Física e Tecnologia de Materiais destina-se a dar formação especializada em Materiais, envolvendo os aspectos fundamentais e as aplicações. Destacam-se, entre outros, os materiais magnéticos, supercondutores, dieléctricos, semicondutores, ferroeléctricos e cristais líquidos, micro e nano-estruturados, e as estruturas artificiais. Apoiada por uma moderna infra-estrutura de técnicas avançadas em Ciência dos Materiais e um corpo docente com elevada experiência, a formação abrangerá vários domínios, desde a preparação, caracterização e optimização de propriedades, até à concepção e realização de dispositivos. Pretende-se fornecer uma qualificação adequada para a produção de trabalho de qualidade nesta área de rápido progresso e impacto tecnológico e industrial. Desde 1989 que está criado o Mestrado em Física do Estado Sólido e Ciência dos Materiais, propiciando a formação a nível pós-graduado nestas áreas avançadas.

A nova licenciatura em Optoelectrónica e Lasers nasceu da necessidade de formação, cada vez mais sentida, de investigadores e técnicos superiores nas áreas de lasers e optoelectrónica. Estas técnicas têm aplicações muito vastas, incluindo comunicação por fibra óptica, tecnologias médicas, caracterização e tratamento de materiais, computação óptica, etc. O Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, pioneiro, em Portugal, dos estudos em fibras ópticas e lasers desde a década de setenta, tem desde então desenvolvido investigação, pura e aplicada, nestas áreas em estreita colaboração com prestigiados laboratórios internacionais. O Departamento de Física está encarregado do ensino nas áreas de optoelectrónica e lasers, mantendo laboratórios específicos dedicados à óptica e electrónica e estimulando o trabalho individual em projectos de fim de curso. Em 1992 foi criado o Mestrado em Optoelectrónica e Lasers, propiciando a formação a nível pós-graduado nestas áreas avançadas.

O Grupo de Física oferece, também, a licenciatura em Física, integrando uma sólida formação em Física Fundamental, dirigida quer para a formação de futuros professores (ramo educacional), quer para a formação de investigadores (ramo científico) com acesso a laboratórios de estudo ou industriais.

Finalmente, o Grupo de Física (FCUP) colabora com o Grupo de Matemática Aplicada (FCUP) na licenciatura interdisciplinar em Física/Matemática aplicada, dirigida à formação de Astrónomos e Astrofísicos, tendo recentemente sido criado um mestrado em Astronomia e aprovada a participação num outro mestrado internacional em Astronomia.

1.º E 2.º CICLOS DO ENSINO BÁSICO: À DESCOBERTA DA FÍSICA

FATIMA PAIXÃO, JORGE SANCHES, JOSÉ ANTONIO FARIAS,
MARIO AFONSO E PAULO ROSARIO.

Escola Superior de Educação, 6000 Castelo Branco

Considerando a pouca tradição de trabalhos sobre a Física nos programas curriculares e prática pedagógica para os 1.º e 2.º ciclos do Ensino Básico, este artigo visa, por um lado, analisar as grandes linhas de orientação (estrutura curricular, orientações metodológicas e atitude experimental expressa) dos referidos programas, e por outro, analisar um tema de Física — o conceito de luz — e sua integração nesses programas. Em conclusão, reflecte-se sobre o papel do professor no processo de ensino — aprendizagem.

Introdução

A Lei de Bases do Sistema Educativo, que consta do Decreto — Lei n.º 286/89, constitui o quadro de referências que serviu de base à elaboração dos actuais programas curriculares.

Foram definidos um conjunto de princípios que determinaram as opções para a selecção e organização das diferentes áreas curriculares, os objectivos e conteúdos.

O programa, que propõe certas experiências educativas, deve ser o meio que operacionalize essas linhas e o motivo e motor para que a Escola organize experiências reais de aprendizagem numa colaboração entre professores, alunos, pais e a comunidade local.

Por isso mesmo, um plano de organização do processo de ensino — aprendizagem, quer seja para um período, um ano ou um ciclo, não poderá nunca ser um compartimento estanque. Pelo contrário, deve ser flexível e aberto à recriação do professor. Este poderá associar os conteúdos de diferentes formas, variar o grau de aprofundamento ou mesmo acrescentar novos conteúdos (Programa, 1991).

No livro de apoio aos programas editado pelo Ministério da Educação

«Organização Curricular e Programas» (DGEBS, 1991) onde é tratado um conjunto de propostas de trabalho (finalidades e objectivos, conteúdos, linhas metodológicas gerais e critérios de avaliação) podemos ler que esse conjunto de propostas, embora «sem função normativa, esclarecem o professor sobre a articulação das várias componentes curriculares. Tal não significa que se corte a liberdade ao professor, a quem fica em aberto, no que se refere à selecção das aprendizagens, um largo campo de decisão, em interacção com o aluno e de acordo com situações pedagógicas concretas».

E mais à frente: «O programa é flexível, mas devem-se respeitar as linhas gerais, na medida em que nestas se concretizam muitas das intenções básicas do programa».

Considerando todos estes aspectos, bem como a necessidade de compreensão do programa no seu todo e **principalmente a pouca tradição de trabalhos de investigação visando o tratamento de aspectos de Física nos programas curriculares e prática pedagógica do 1.º e 2.º ciclos do ensino básico**, pensámos ser oportuno efectuar uma análise dos programas, abrangendo a sua estrutura curricular, linhas orientadoras, a forma do

Análise dos novos programas

Diferenças e pontos de encontro entre o 1.º e o 2.º Ciclos

O conceito de luz nos programas

Introdução explícita ou implícita?

Transição do conceito entre o 1.º e 2.º Ciclos

desenvolvimento da atitude experimental, apresentando as nossas considerações sobre o **conceito de luz**, seleccionado no âmbito de uma cadeira da licenciatura em Ensino de Matemática e Ciências da Natureza, e a sua integração nos programas.

Consideramos igualmente oportuno fazer uma breve análise de dois manuais escolares, elaborados de acordo com os novos programas e disponíveis no mercado, na tentativa de discutir o modo como fazem a abordagem do conceito seleccionado.

Análise das linhas de força dos novos programas curriculares (1.º e 2.º ciclos)

Que diferenças? Que pontos de encontro?

Estrutura curricular

O 1.º ciclo respeita um modelo de ensino globalizante, a cargo de um professor único e privilegia o desenvolvimento integrado de estudo e actividades. Está dividido por áreas de ensino e blocos de conteúdos e objectivos, que apresentam sugestões metodológicas.

O 2.º ciclo organiza-se por áreas de estudo de carácter pluridisciplinar referentes à formação básica e componentes fundamentais do saber. É desejável um professor por área de estudo. A informação centra-se em torno de conceitos fundamentais.

Orientações metodológicas

Em ambos os ciclos dá-se uma ênfase especial ao ensino problematizado, isto é, que questione as alternativas e o valor das soluções fornecidas pela ciência.

Assim, o meio local, espaço vivido, deve ser o ponto de partida para a construção da aprendizagem. Daí o papel importante da integração da escola na comunidade.

O professor deve ser o criador de situações diversificadas de aprendizagem, o facilitador dessa aprendizagem, mais um recurso ao serviço do aluno e o problematizador capaz de criar no aluno confiança no seu trabalho e nas suas capacidades, considerando positivamente os seus ensaios e experiências.

A atitude experimental nos programas

Em relação ao 1.º ciclo, pretende-se, principalmente no bloco «À descoberta de materiais e objectos», desenvolver uma atitude de permanente experimentação — observação, introdução de modificações, apreciação de efeitos, resultados, conclusões e registos. Para isso, devem ser utilizados processos simples de conhecimento da realidade envolvente.

Quanto ao 2.º ciclo, a Natureza é considerada o melhor laboratório, pela variedade de materiais e aspectos que proporciona, privilegia-se o questionamento, a observação e a experimentação.

O trabalho experimental deve ocupar um espaço importante, com aumento gradual da formalização, desde as tarefas mais simples às mais complexas.

O conceito de luz nos programas

Em relação ao tema de Física seleccionado (conceito de luz), resolvemos tomar como ponto de partida as seguintes questões:

Como aparece o conceito de luz no programa? De forma explícita ou implícita?

Onde se pode integrar?

Como passa esse conceito do 1º ao 2º ciclo?

1.º CICLO

No bloco «À descoberta do ambiente natural», do 3.º ano de escolaridade, encontra-se presente, de uma forma explícita, o conceito de luz, nos seguintes objectivos programáticos:

* *Identificar alguns factores do ambiente que condicionam a vida das plantas e dos animais (água, a luz, temperatura do solo) - realizar experiências.*

* *reconhecer o Sol como fonte de luz e de calor.*

No mesmo bloco, e ainda no 3.º ano de escolaridade, encontramos o conteúdo «Os astros», onde, de uma forma implícita, o conceito se encontra novamente integrado, pois, pretende-se que o aluno :

* *Reconheça o Sol como fonte de luz e calor,*

* *distinga estrelas de planetas (Sol - estrela; Lua — planeta).*

No bloco, «À descoberta de materiais e objectos», o conceito está presente de uma forma totalmente explícita no conteúdo «Realizar experiências com a luz», globalizando todos os seus objectivos, a saber:

* *Identificar fontes luminosas,*

* *observar a passagem de luz através de objectos transparentes (lentes, prismas, água),*

* *observar a intersecção da luz pelos objectos opacos — sombras,*

* *realizar jogos de luz e sombras e sombras chinesas,*

* *observar e experimentar a reflexão da luz em superfícies polidas (espelhos, etc).*

Na abordagem realizada ao programa do 4º ano de escolaridade, constatámos que o conceito de luz apenas aparece de uma forma implícita, no conteúdo "Manusear objectos em situações concretas", mais propriamente no que diz respeito à utilização de material didáctico (máquina fotográfica, retroprojector, microscópio, projector de diapositivos, etc).

O aluno pode (deve) ser motivado a tentar relacionar um conjunto de aspectos ligados de alguma forma ao conceito de luz.

Assim, poder-se-á aperceber do papel da luz no manuseamento daquele tipo de material.

Efectuámos uma leitura de dois manuais escolares, já disponíveis para serem utilizados no próximo ano lectivo, na tentativa de verificar qual o tipo de sugestões de trabalho propostas, para o tratamento do referido conceito, tendo em conta os objectivos programáticos definidos (Monteiro, 1993 e Ramiro, 1993).

Verificámos que a maior parte dos conceitos não são construídos pelos alunos, mas surgem como factos acabados. Os trabalhos experimentais surgem em torno desses conceitos, o que é um sinal de mudança positiva, embora enfermem do mal de apresentarem sequencialmente a experiência e a conclusão, conduzindo a uma imagem da ciência como um conjunto de definições.

Perguntamos: E o trabalho de descoberta do aluno? E a sua capacidade de improvisação e de criatividade? E a sua capacidade de prever os possíveis resultados? E o papel de uma fase de discussão entre os alunos, extremamente importante no sentido de desinstalar ideias já existentes e em confronto com as ideias actuais da ciência?

2.º CICLO

Quem fizer uma leitura superficial ou em «diagonal» dos programas, poderá, à primeira vista, concluir que o conceito «luz» não se encontra presente.

A nossa leitura não é essa.

Uma análise cuidadosa permite-nos concluir que o conceito, embora explicitamente não se encontre abordado, integra-se implicitamente em diferentes conteúdos programáticos, com diferentes abordagens.

No programa curricular encontram-se diversos objectivos, conteúdos e sugestões metodológicas que consideramos serem passíveis de integrar o conceito de «luz».

Vejamos alguns exemplos:

* *Influência dos factores do meio no comportamento dos animais,*

* *realizar experiências para investigar a influência dos factores do meio (luz, temperatura, humidade) nas variações das características e comportamento das plantas,*

* *utilização do microscópio,*

* *realização de experiências relativas à fotossíntese, por exemplo, a presença de amido em folhas de plantas colocadas, respectivamente, em presença de luz e na obscuridade.*

Quanto à passagem entre os dois ciclos do ensino básico concluímos que não há uma verdadeira continuidade no tratamento da luz. No 2.º ciclo, o objectivo básico é o estudo de fenómenos em que é realçada a sua influência na relação ser vivo — interacção com o meio. Atente-se nos exemplos acima citados. Outros serão fáceis de encontrar, numa leitura mais atenta do programa, com vista a manter e reforçar o domínio do conceito de luz que se pretende já iniciado no 1º ciclo.

Conclusões

Após esta reflexão conjunta pensamos poder sintetizar em seis ideias chave as nossas observações finais:

- Os programas encontram-se recheados de conteúdos escondidos. Daí a importância de um trabalho profundo para a sua leitura e descodificação.

- O professor não pode ser um mero executor de programas. É seu papel filtrar os conteúdos programáticos, promover estratégias adequadas e adaptadas às capacidades dos alunos, utilizar recursos diversificados, e questionar o ensino tradicional.

- O professor deve, também, estabelecer a articulação entre programas de diferentes ciclos, a fim de se aperceber dos pré-requisitos que os alunos possuem e avaliação diagnóstica a fazer, para não interromper a aprendizagem dos conceitos anteriormente iniciada.

- O professor deve avaliar criticamente os recursos que utiliza, estabelecendo critérios adequados de selecção e orientação.

- O professor deve integrar os conceitos em estudo num todo coerente, organizado e articulado.

- É fundamental o papel do professor na escolha de critérios adequados para a selecção de manuais escolares e outros recursos educativos. O manual utilizado deverá não só responder aos conteúdos e conhecimentos programáticos, como proporcionar o gosto pela aprendizagem e pela pesquisa. Deve centrar-se em torno de questões que problematizem o mundo e a Natureza e que se aproximem da realidade de cada criança.

Referências:

- Ministério da Educação, Programa do 1º Ciclo do Ensino Básico, Lisboa, 1991.
- Ministério da Educação, Programa de Ciências da Natureza, Volume II, Ensino Básico, 2º Ciclo, Lisboa, 1991.
- Ministério da Educação, Organização Curricular e Programas, Lisboa, 1991.
- MONTEIRO, António — *Magia do Saber, Estudo do Meio*, Ensino Básico, 3º ano de escolaridade, Livraria Arnaldo, Coimbra, 1993.
- RAMIRO, Mário *et al.* — *Retintim, Estudo do Meio*, 3º ano, Ensino Básico, Porto Editora, Porto, 1993.

ETAPA REGIONAL 1994

Delegação Regional do Sul e Ilhas

PROVA PARA O ESCALÃO A

Parte I¹ (Duração: 1h15)

1. Na televisão é frequente aparecerem anúncios promovidos pela Prevenção Rodoviária chamando a atenção para a necessidade de usar o cinto de segurança.



Planeia e executa uma experiência que te permita justificar a utilização do cinto de segurança.

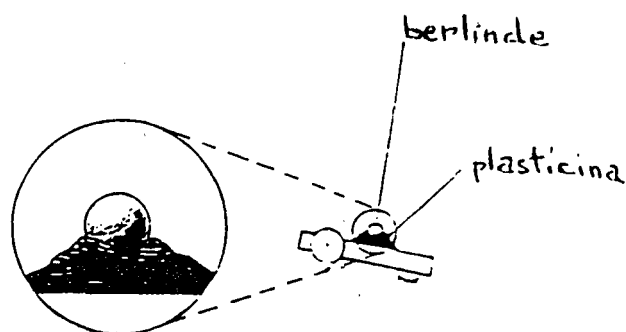
Selecciona o material que necessitas, tendo em conta o material que te é fornecido:

- carrinho (1)
- tábuas de madeira (1)
- berlindes (2)
- bloco de espuma (1)
- suporte Universal (1)
- plasticina
- cronómetro (1)
- régua (1)

¹ Estas actividades foram adaptadas de:

The Science Education Group — University of York. (1990). *The Salters' Science Project: Moving on*. Oxford: Heinemann Educational Books.

No final, elabora um relatório sucinto do trabalho. Deixamos-te uma sugestão de como simular o condutor e o cinto de segurança.



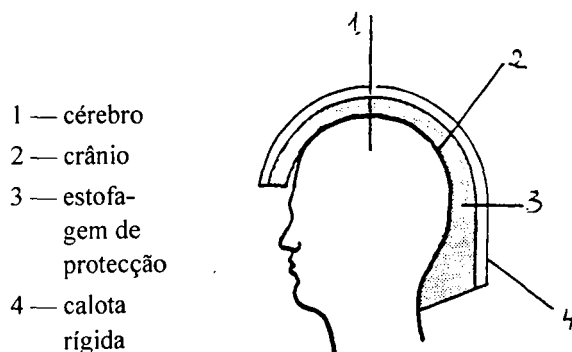
Na solução apontada a plasticina desempenha o papel de cinto de segurança e o berlinde representa o indivíduo.

2. Pretende-se que investigues o efeito da distribuição de uma força por diferentes áreas, com o material de que dispões:

- suporte universal (1)
- régua (1)
- berlinde (1)
- blocos de madeira (2)
- plasticina
- papel branco

Planeia uma experiência, decidindo que medições precisas de efectuar e executa-a. Regista os resultados de forma conveniente.

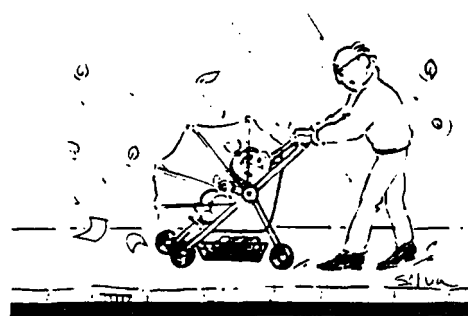
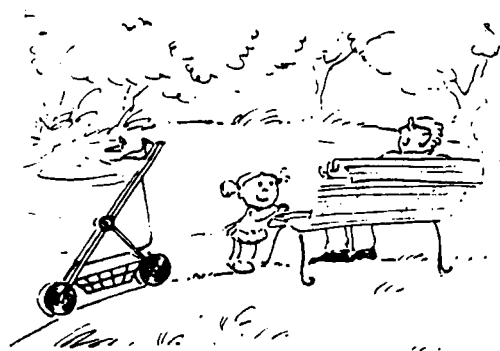
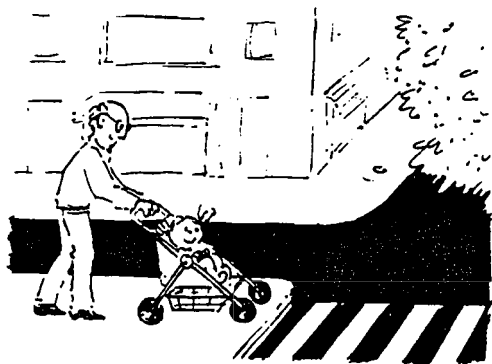
Com base nos resultados, justifica a utilização de capacetes protectores por parte dos motociclistas:



PROVA PARA O ESCALÃO A

Parte II² (Duração: 45 min.)

Responde às questões colocadas depois de leres com atenção a história que se segue e que descreve o passeio que o Sr. Silva deu com a sua neta. As ilustrações representam alguns momentos do passeio.



O Sr. Silva foi passear até ao jardim com a sua neta. Ele empurrou o carrinho a uma velocidade constante ao longo do passeio horizontal, até chegar à passagem para peões. Aí aumentou de velocidade para passar rapidamente a movimentada rua. Ao chegar ao parque continuou a dirigir o carrinho ao longo de um caminho de terra batida, que descia até ao lago, sempre à mesma velocidade. Para ter a certeza de que o carrinho não rolava ao longo do declive, travou-o.

No regresso a casa, o Sr. Silva parou para comprar um saco de batatas que colocou na prateleira por baixo do assento do carrinho. Já perto de casa da filha, levantou-se

vento e começou a choviscar. Para impedir que a neta se molhasse, o Sr. Silva colocou a protecção do carrinho contra a chuva.

Ao entregar a neta à filha, o Sr. Silva queixou-se de que a última parte do percurso tinha sido particularmente cansativa.

Questão 1. Caracteriza justificando as forças que actuam no carrinho quando o Sr. Silva o empurra ao longo do passeio, até chegar à passagem para peões.

Questão 2. Explica se houve alguma alteração na força com que o Sr. Silva teve que empurrar o carrinho, ao mover-se no caminho de terra batida.

Questão 3. Porque teria o carrinho rolado pela encosta do lago, se o Sr. Silva não o tivesse travado?

Questão 4. Explica por que motivos o Sr. Silva achou a última parte do regresso a casa particularmente cansativa.

Questão 5. Indica maneiras de facilitar os passeios do Sr. Silva empurrando o carrinho da sua neta.

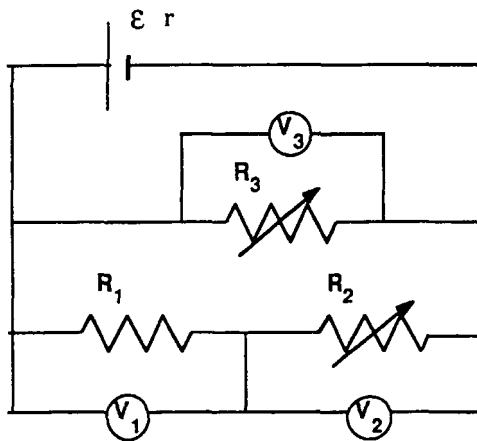
² Esta actividade foi adaptada de:

The Science Education Group — University of York. (1990). *The Salters' Science Project: Moving on*. Oxford: Heinemann Educational Books.

PROVA PARA O ESCALÃO B — 11.º ANO

(Duração: 75 min.)

I — Para tentar verificar experimentalmente uma das leis físicas dos circuitos eléctricos, um conjunto de alunos montou o esquema da figura:



- Faça a legenda da figura.
- Durante a realização experimental, os alunos variavam R_2 , mantinham a leitura em V_3 constante e liam os valores indicados em V_1 e V_2 . Com estes pressupostos, justifique a utilização de R_3 na montagem indicada.
- A tabela que se segue indica o resultado de medições obtidas para $R_1 = 680 \Omega$ e para um valor medido em V_3 de 2.0 V

| $R_2(\Omega)$ | Leitura em V_1 (V) | Leitura em V_2 (V) |
|---------------|----------------------|----------------------|
| 10 | 1.97 | 0.03 |
| 47 | 1.88 | 0.13 |
| 100 | 1.74 | 0.27 |
| 200 | 1.55 | 0.45 |
| 400 | 1.27 | 0.74 |
| 470 | 1.18 | 0.82 |
| 680 | 1.01 | 0.99 |
| 1000 | 0.82 | 1.18 |
| 1500 | 0.62 | 1.39 |
| 2000 | 0.50 | 1.49 |
| 5000 | 0.24 | 1.77 |
| 10000 | 0.12 | 1.86 |
| 15000 | 0.09 | 1.92 |
| 20000 | 0.07 | 1.93 |
| 25000 | 0.05 | 1.96 |

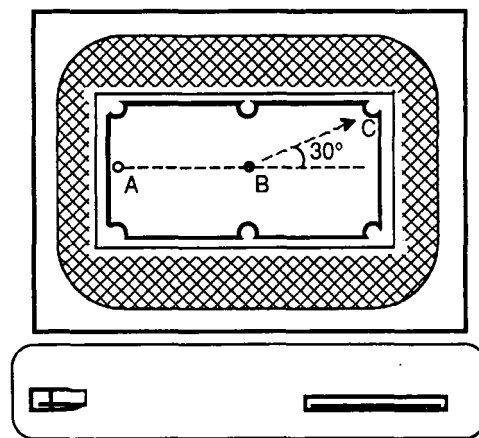
i) Faça um gráfico dos valores medidos em V_1 em função de R_2 ;

ii) Faça um gráfico dos valores medidos em V_2 em função de R_2 .

Comente os resultados obtidos. Indique, enunciando-a, a lei da Física que os alunos pretendiam verificar.

- Diga qual é a f.e.m. ϵ do gerador admitindo $r = 0$.
- Desenhe a circuito equivalente ao circuito experimental, em que se considera a associação de R_1 e R_2 .
- Comente o valor para que tende a resistência equivalente quando R_2 tende para zero.
- Represente graficamente no mesmo gráfico os valores da potência dissipada em R_1 e em R_2 , em função de R_2 . Comente os resultados no gráfico.

II — Numa simulação de computador de um jogo de snooker, um jogador dá uma tacada na bola A (ver figura), adquirindo esta uma velocidade de 2 m/s. Esta choca com a bola B que se encontra em repouso no centro da mesa, levando-a a cair no buraco C. As duas bolas são iguais e de massa $m = 200$ g.



Considerando que no programa as bolas são tomadas como pontuais, caracterize:

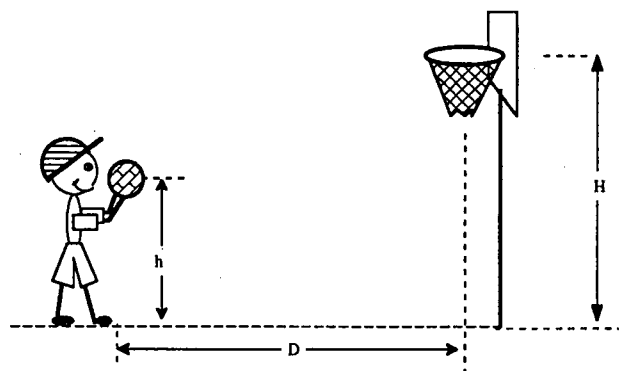
- A velocidade da bola B após o choque, sabendo que a bola A após o choque sofre um desvio de 40° .
- O momento linear da bola A após o choque.
- A variação da energia do sistema constituído pelas duas bolas.
- Na situação real as bolas não são pontuais. Supondo que as posições iniciais das bolas e a tacada eram idênticas às descritas para a simulação, o que se passaria?
- Mencione duas outras aplicações da Física na vida quotidiana e indique, explicando, os princípios ou leis em que se baseou.

$\sin(30^\circ) = 0.500$ $\cos(30^\circ) = 0.866$ $\tan(30^\circ) = 0.577$
 $\sin(40^\circ) = 0.643$ $\cos(40^\circ) = 0.766$ $\tan(40^\circ) = 0.839$

PROVA PARA O ESCALÃO C — 12.º ANO

(Duração: 75 min.)

I — Nos últimos Jogos Olímpicos em Barcelona, um dos jogos do campeonato de basquetebol foi decidido pela marcação de um livre a dez segundos do fim. A equipa que marcou o livre ganhou. Considere a linha de marcação do livre a uma distância D , igual a 3.8 m (ver figura), e o aro do cesto a uma altura H igual a 3 m.



O jogador enviou a bola de uma altura h igual a 1.8 m e esta atingiu a altura máxima de 4.3 m, antes de chegar ao cesto.

A massa da bola é de $m = 600$ g e a aceleração da gravidade $g = 10$ m/s². Suponha que se despreza o atrito do ar e que a bola não teve movimento de rotação.

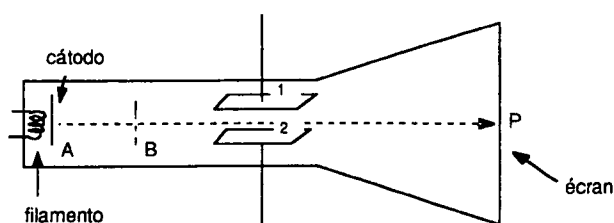
Determine:

- O intervalo de tempo decorrido entre o início do lançamento e a chegada da bola ao cesto.
- O ângulo a que a bola foi enviada.
- A energia total comunicada pelo jogador à bola no lançamento do livre, admitindo que a levantou do chão.

Se o jogador de basquetebol usasse os seus resultados ele poderia garantir o sucesso da marcação!

- Represente graficamente em função do tempo, a altura da bola ao chão e o módulo da sua velocidade, durante o lançamento.

II — Um osciloscópio é essencialmente um tubo de raios catódicos como o representado na figura.



O filamento aquece o cátodo que liberta electrões com uma velocidade média nula. Para que estes electrões constituam um feixe dirigido para o écran é necessário acelerá-los, o que se faz criando um campo eléctrico entre A e B.

- Diga se o potencial eléctrico em B é superior ao potencial eléctrico em A.

- Indique a direcção e sentido do campo eléctrico entre A e B.

- Suponha que a diferença de potencial entre A e B é 30 kV.

Qual é a velocidade média dos electrões em B?

Considere a carga do electrão $e = -1.6 \times 10^{-19}$ C e a sua massa $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg.

Os electrões saem assim do eléctrodo B (que é perfurado) com uma velocidade média v_0 e embatem num ponto P do écran que, por ser fluorescente, emite luz. Podemos assim ver a posição do ponto.

- Se aplicarmos uma diferença de potencial V às placas horizontais 1 e 2 representadas na figura, tal que $V_1 > V_2$, o que acontecerá ao ponto luminoso no écran, qual seria a diferença se $\Delta V = V_1 - V_2$ fosse igual em valor absoluto, mas se sinal contrário?

III — Na vida quotidiana muitas vezes sem nos darmos conta aplicamos a Física. Se tomarmos consciência desse facto muitas actividades podem ser entendidas e facilitadas.

Mencione três aplicações da Física na vida quotidiana. Para cada uma delas:

- Enuncie os princípios ou leis da Física em que se baseia.

- Explique detalhadamente a relação entre cada aplicação e os princípios ou leis referidas.

- Normalmente a interpretação destas aplicações envolve aproximações. Indique quais são essas aproximações nas explicações apresentadas na alínea anterior.

OLIMPÍADAS NACIONAIS DE FÍSICA 1994

Porto, 5, 6, 7 Maio 1994

PROVA PARA O ESCALÃO A

Problema 1: *Uma luz de fibra*

ATENÇÃO:

Nesta experiência vais utilizar um laser e como tal terás que observar algumas regras de segurança: O laser já estará ligado no início da experiência, não sendo necessário mexer directamente nele. Este laser tem uma potência suficientemente baixa para não provocar qualquer efeito por incidência directa na pele, nem olhando para o ponto obtido numa folha de papel. No entanto a sua incidência directa nos olhos pode provocar algumas perturbações de visão. Assim, deves observar as seguintes regras de segurança:

- Deve existir sempre um anteparo a bloquear a saída do feixe para fora da zona de experiência.
- Se tiveres que te baixar de forma a passar com os olhos ao nível da mesa, fecha os olhos ao passar nessa zona.
- Não trabalhes com relógios, pulseiras ou anéis que possuam superfícies lisas, pois podem reflectir a luz acidentalmente (mesmo a superfície de um vidro de relógio pode reflectir mais de 5% da luz!)
- Acima de tudo, **NÃO OLHES O LASER DIRECTAMENTE!**

Seleção de cinco alunos para representarem Portugal na 25.ª Olimpíada Internacional de Física (a realizar em Pequim, Rep. Popular da China, Julho 94)

Apuramento de oito alunos para futura seleção de 5 representantes de Portugal na 26.ª Olimpíada Internacional de Física, a realizar na Austrália

Quando se trabalha com fibras ópticas, para o transporte de luz, um dos parâmetros mais importantes que é necessário conhecer é o ângulo de espalhamento da luz à saída da fibra.

Neste trabalho pretende-se determinar este ângulo; para tal dispões de um laser, uma fibra óptica e um detector de luz com área pequena e montado numa carruagem provida de um parafuso micrométrico. A experiência já está montada, pois é bastante difícil proceder ao alinhamento da fibra.

Atenção: Durante a execução da experiência deves tomar todos os cuidados necessários de modo a não alterar o alinhamento óptico da fibra.

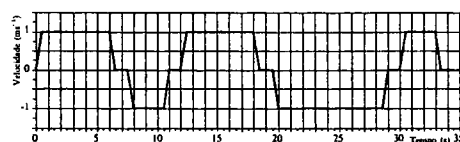
Com auxílio do papel milimétrico traça o gráfico da intensidade da luz em função da distância medida transversalmente em relação ao eixo da fibra.

A partir do gráfico, estima os pontos em que a intensidade decai para um décimo da intensidade máxima.

Apresenta uma estimativa dos erros cometidos nesta determinação.

Problema 2: *Sobe e desce*

Na figura seguinte está representada a velocidade de um elevador em função do tempo.



No interior do elevador, que tem uma massa de 500 kg, viaja uma pessoa, de massa 50 kg, em cima de uma balança dinamómetro (de massa desprezável). No início dos tempos o elevador encontra-se no R/C.

a) Indica qual é o valor do deslocamento do elevador no intervalo, de tempo 0 a 35 s.

b) Calcula o espaço total percorrido pelo elevador no mesmo intervalo de tempo.

c) Calcula a potência média fornecida pelo motor durante os primeiros 7 s.

d) Calcula o valor indicado pela balança nos intervalos de tempo de 0 a 0,5 s, de 0,5 a 6 s e de 6 a 6,5 s.

PROVA PARA O ESCALÃO B

Problema 1: *Lançamento do dardo*

O lançamento do dardo é uma das mais nobres modalidades olímpicas. A Fig. 1 representa três lançamentos do



Fig. 1 — Três lançamentos do dardo simulados em computador.

| Lançamento | Ângulo de lançamento (°) | Alcance do dardo (m) | Observações |
|------------|--------------------------|----------------------|--|
| 1 | 45 | 93.55 | Sem resistência do ar e com altura inicial (2 m) |
| 2 | 44.5 | 93.72 | Sem resistência do ar e com altura inicial (2 m) |
| 3 | 44 | 84.97 | Com resistência do ar e com altura inicial (2 m) |
| 4 | 20 | 58.64 | Sem resistência do ar e sem altura inicial |
| 5 | 35 | 86.01 | Sem resistência do ar e sem altura inicial |
| 6 | 44.5 | 91.58 | Sem resistência do ar e sem altura inicial |
| 7 | 45 | 91.64 | Sem resistência do ar e sem altura inicial |
| 8 | 60 | 79.35 | Sem resistência do ar e sem altura inicial |
| 9 | 70 | 78.89 | Sem resistência do ar e sem altura inicial |

Tab. 1 — Dados correspondentes a 9 lançamentos do dardo simulados em computador.

dardo simulados computacionalmente. Os dados correspondentes a estes lançamentos (casos 1, 2 e 3) estão sumariados na Tab. 1. Nesta Tabela apresentam-se também outros resultados da simulação computacional para vários ângulos de lançamento e nas circunstâncias indicadas. O módulo da velocidade inicial do dardo, v_0 , é o mesmo para todos os lançamentos.

Treinadores e atletas utilizam este tipo de simulações para melhorarem as suas marcas.

O dardo pode ser descrito, de uma forma simplificada, como um projectil que se move a duas dimensões. Para uma dado instante t , a posição do dardo pode ser dada por um par ordenado (x, y) tal que:

$$x = x_0 + v_{0x} t$$

e

$$y = y_0 + v_{0y} t - gt^2/2,$$

onde g é a aceleração gravítica, x_0 e y_0 as posições iniciais segundo os dois eixos, e $v_{0x} = v_0 \cos \theta$ e $v_{0y} = v_0 \sin \theta$ as componentes da velocidade inicial segundo os dois eixos, sendo θ o ângulo de lançamento, i.e. o ângulo que a velocidade inicial faz com a horizontal. Em todas as situações que te vão ser apresentadas considera que $x_0 = 0$.

a) Escreve as equações das componentes v_x e v_y da velocidade segundo os eixos.

b) A expressão que dá o alcance máximo do dardo em função do ângulo de lançamento, para uma altura inicial nula, seja, $y_0 = 0$, é:

$$x_{\text{máx}} = \frac{v_0^2 \sin(2\theta)}{g}.$$

Deduz esta expressão (trata-se de obter x no instante correspondente a $y = 0$). A partir de um conjunto de dados da tabela, calcula o valor da velocidade inicial v_0 que foi usado na simulação computacional ($g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$). Nota: $2 \sin \theta \cos \theta = \sin(2\theta)$.

c) Na fig. 1, o lançamento 3 é o do menor alcance. Interpreta com base nos dados da Tab. 1.

d) Comparando os lançamentos 1 e 2 da fig. 1, verifica-se ser $44,5^\circ$ e não 45° o ângulo a que corresponde um maior alcance ao passo que, para os lançamentos 6 e 7 tal já não acontece. Interpreta.

e) Qual o alcance equivalente ao lançamento 1 nos «Jogos Olímpicos Lunares»? ($g_{\text{Lua}} = g_{\text{Terra}}/6$). Nota: se na alínea b) não determinaste o valor de v_0 usa o valor 30 m s^{-1} para a velocidade inicial do dardo. Atenção! Há uma altura inicial e, por isso, a expressão da alínea b) não é aplicável!

f) Na fig. 2 indica-se a evolução das marcas mais significativas no lançamento do dardo. Faz uma previsão para o recorde mundial do lançamento do dardo, no ano 2000. Fundamenta, tanto quanto possível, a tua resposta.

g) Foi obtido o seguinte conjunto de dados experimentais em lançamentos efectuados por uma máquina que lança projecteis com um ângulo de lançamento fixo e velocidade variável. A máquina que lança projecteis com um ângulo de lançamento fixo e velocidade variável. A máquina encontra-se ao nível do solo pelo que $y_0 = 0$ para todos os lançamentos.

Alguns alcances do lançamento do dardo ao longo dos anos

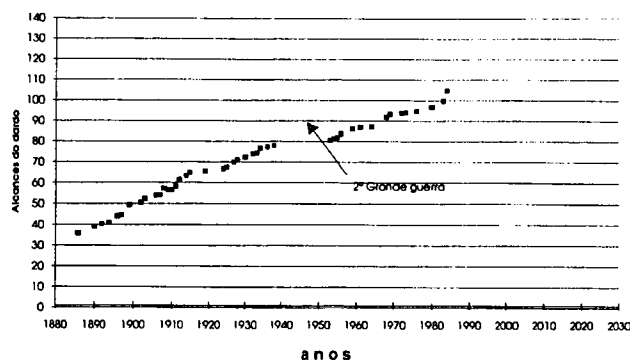


Fig. 2 — Gráfico com sucessivas marcas significativas do lançamento do dardo ao longo dos anos.

| $x_{\text{máx.}}$ (m) | v_0 (m/s) |
|-----------------------|-------------|
| 5.20 | 7.9 |
| 10.71 | 11.3 |
| 15.02 | 13.3 |
| 26.65 | 17.9 |
| 30.54 | 19.0 |
| 41.31 | 22.2 |

Representa graficamente os resultados de modo a obteres uma dependência linear. A partir do gráfico determina o ângulo de lançamento.

Problema 2: Pouca terra, pouca terra...

Com um relógio, uma massa suspensa de um fio e um transferidor, é possível determinar a aceleração durante o arranque do comboio em que viajamos.

Quando o comboio descreve uma curva em movimento circular uniforme, é também possível determinar o raio de curvatura da trajetória. Neste caso é necessário conhecer, por exemplo, o comprimento de cada carril (ou visualizar marcos quilométricos).

Durante o arranque, com aceleração constante, a massa suspensa faz um ângulo de 5° com a normal.

- Qual é a aceleração do comboio durante o arranque?
- Com este valor de aceleração, qual o tempo necessário para atingir 100 km/hora?

Supõe que o comprimento de cada carril é 30 metros e que sentimos 50 solavancos por minuto. Ao percorrer uma curva circular a massa suspensa faz um ângulo de 32 graus com a normal.

- Determina a velocidade do comboio e o raio de curvatura da linha férrea.

Dados: $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Problema 3: Ampères ao quilo

O dispositivo indicado na figura seguinte é designado por balança de correntes que, tal como o nome indica, permite «pesar» correntes eléctricas.

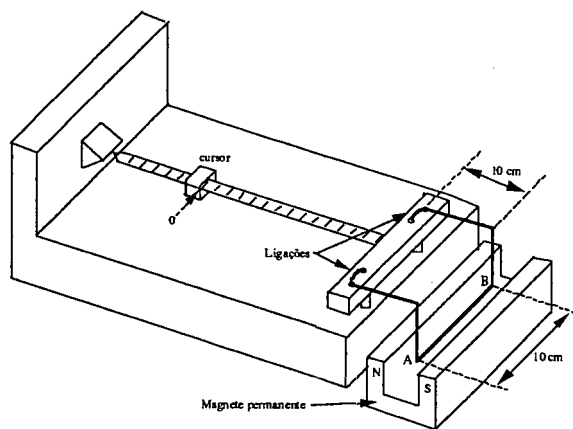
O princípio de funcionamento do aparelho baseia-se na lei de Laplace, que nos dá a força F exercida sobre um condutor rectilíneo de comprimento L , percorrido por uma corrente I , na presença de um campo magnético B *:

$$F = I L B \sin \theta$$

* A unidade SI do campo magnético é o tesla (T).

em que θ é o ângulo entre as direcções da corrente e do campo magnético. A força é perpendicular ao plano definido pela direcção do campo magnético e pela corrente.

Para o caso da figura, quando a corrente tem o sentido de A para B, a força é dirigida para baixo.

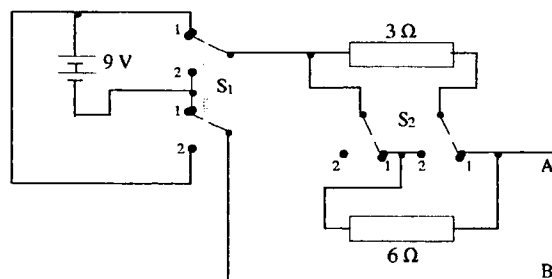


Considera que a balança se encontra em equilíbrio quando não passa corrente no fio AB, estando o cursor na posição zero.

O campo magnético tem o valor de 0.1 T, a distância AB é de 10 cm, a distância do fulcro da balança ao plano vertical em que se encontra o fio é de 10 cm e a massa do cursor é de 10 gramas.

- Se o fio for percorrido por uma corrente de 1 A no sentido de A para B, quanto teremos que deslocar o cursor da sua posição inicial para restabelecer o equilíbrio?

Considera agora que à balança de correntes (entre os pontos A e B) é ligado o seguinte circuito.



Cada um dos interruptores S_1 e S_2 é composto por dois contactos móveis ligados por uma barra isoladora rígida.

Considera os interruptores S_1 e S_2 na posição 1, conforme indicado na figura.

- Calcula o valor e o sentido da corrente no fio AB.
- Calcula o deslocamento do cursor da balança de correntes para restabelecer o equilíbrio.

Considera agora que mudamos o interruptor S_2 para a posição 2, mantendo S_1 na posição 1.

d) Calcula o deslocamento do cursor que restabelece o equilíbrio da balança.

Considera que alteramos agora o interruptor S_1 para 2 mantendo S_2 em 2:

e) Calcula o deslocamento do cursor que restabelece o equilíbrio da balança.

Nota: Os deslocamentos do cursor devem ser apresentados em relação à posição zero.

PROVA PARA O ESCALÃO C

Problema 1: *O campo olímpico*

Cilindros infinitos ocios com raio R são dispostos de modo que a intersecção das suas superfícies com um plano perpendicular aos seus eixos (paralelos entre si) forma os anéis olímpicos, como mostra a figura.

Cada cilindro é carregado com uma carga uniformemente distribuída pela sua superfície. Na intersecção das superfícies cilíndricas não há redistribuição de cargas pelo que, após a constituição da disposição indicada, cada cilindro mantém, à sua superfície, a distribuição uniforme de carga que tinha inicialmente.

Coordenadas dos pontos:

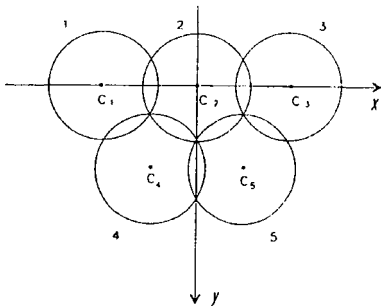
$$C_1 (-\sqrt{3} R, 0)$$

$$C_2 (0, 0)$$

$$C_3 (\sqrt{3} R, 0)$$

$$C_4 \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} R, \frac{3}{2} R\right)$$

$$C_5 \left(\frac{\sqrt{3}}{2} R, \frac{3}{2} R\right)$$



a) Calcula o campo eléctrico criado, em todos os pontos do espaço, por uma distribuição uniforme de carga sobre a superfície de um cilindro de raio R e comprimento infinito (carga por unidade de comprimento do cilindro: λ).

b) Havendo cargas em pelo menos dois dos cilindros representados na figura, indica uma condição para que seja nulo o campo eléctrico no ponto $(0, 0)$.

c) Se todos os cilindros estiverem carregados, indica uma situação para a qual se tenha um campo eléctrico nulo em $(0, 0)$.

d) Indica em que ponto(s) do plano da figura é nulo o campo eléctrico criado pela seguinte distribuição uniforme de cargas:

Cilindro 1: carga por unidade de comprimento: 4λ ;

Cilindro 2: carga por unidade de comprimento: 7λ ;

Cilindro 3: carga por unidade de comprimento: 4λ ;

Cilindro 4: carga por unidade de comprimento: λ ;

Cilindro 5: carga por unidade de comprimento: λ .

Problema 2: *Sebo nas canelas*

Um motor acoplado a um cilindro é usado para elevar blocos de massa 100 kg sobre um plano inclinado, como se mostra na figura, por intermédio de uma corda enrolada no cilindro. A corda tem massa desprezável; considera ainda que não há atrito entre o bloco e o plano e que o cilindro gira também sem atrito em torno do seu eixo. O momento de inércia do cilindro é 25 kg m^2 e o seu raio 1 m . A corda pode enrolar-se ou desenrolar-se sem escorregar sobre o cilindro.

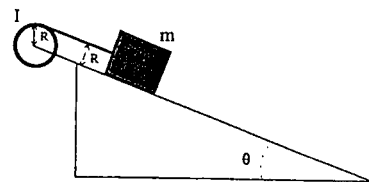
a) Determina a potência que o motor desenvolve para elevar um bloco com velocidade constante v .

$$I = 25 \text{ kg m}^2$$

$$m = 100 \text{ kg}$$

$$R = 1 \text{ m}$$

$$\theta = 30^\circ$$



Em dado instante o motor desliga-se do cilindro, ficando este livre para rodar sem atrito.

b) Determina a aceleração que o bloco adquire.

c) Calcula a tensão na corda durante a descida.

No momento em que o cilindro inicia o seu movimento descendente, está a 40 m da base do plano inclinado. Nesse momento está um homem no plano inclinado, a 30 m da base do plano que, apercebendo-se da situação, começa a correr em direcção à base do plano pois só aí, desviando-se para o lado, pode escapar! Admite que o tempo de reacção do homem é de 0.5 s e que o seu movimento é, durante 2.5 s , uniformemente acelerado e depois, atingida a velocidade v_f , uniforme.

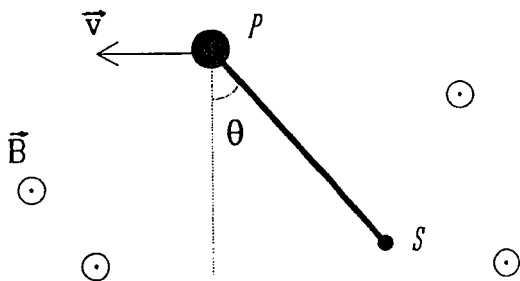
d) Calcula a energia cinética do cilindro quando o bloco atinge a base do plano inclinado.

e) Determina o valor mínimo de v_f para que o homem não seja atingido pelo bloco.

f) Se o momento de inércia do cilindro fosse nulo explica, qualitativamente, qual seria a situação, sabendo que o homem não pode correr a uma velocidade superior à calculada em e).

Problema 3: O satélite português¹

Em Janeiro do ano 2001 será colocado em órbita à volta da Terra o veículo espacial Portugália. Num instante prefixado, desprende-se do veículo espacial um satélite S, o qual permanece unido ao Portugália P, através duma barra condutora de comprimento L (ver figura). Supõe-se que a barra é rígida e de massa desprezável e que está revestida por um bom isolador eléctrico. Despreza-se também todo o tipo de atrito. A órbita do Portugália é circular e situada no plano equatorial sendo θ o ângulo que a barra faz com a linha que une o Portugália ao centro da Terra. O satélite S está também no plano equatorial. Supõe-se que a massa do satélite é muito mais pequena do que a do Portugália e que L é muito menor do que o raio da órbita.



a) Deduz para que valor (ou valores) de θ se mantém inalterada a configuração do veículo espacial e do satélite, em relação à Terra; por outras palavras, para que valor (ou valores) de θ se mantém constante este ângulo durante o movimento orbital?

b) Discute, em cada caso, a estabilidade da situação de equilíbrio.

Supõe que, num determinado instante, a barra se afasta de um pequeno ângulo relativamente à configuração estável. O sistema começa então a oscilar como um pêndulo.

c) Exprime o período de oscilação em função do período de revolução do sistema à volta da Terra.

Na figura representa-se também o campo magnético terrestre, perpendicular ao plano da figura (plano da

¹ Esta questão foi adaptada de um problema saído nas Olimpíadas Internacionais de Física de 1990.

órbita) e dirigido para o leitor. Devido à velocidade orbital da barra, é gerada uma diferença de potencial entre os seus extremos. O meio circundante, a magnetosfera, é um gás rarefeito e ionizado com elevada condutividade eléctrica. O contacto eléctrico com o gás ionizado é estabelecido através de eléctrodos colocados em P (o Portugália) e em S (o satélite). Como resultado do movimento, uma corrente I circula através da barra.

d) Em que sentido circula a corrente na barra? Considera $\theta = 0$.

Posteriormente, inclui-se no circuito um gerador de corrente, já existente no interior do transportador e que mantém, através da barra, uma corrente contínua de intensidade 0.1 A e de sentido contrário.

e) Durante quanto tempo é necessário manter esta corrente para que a altitude da órbita varie de 10 m? Supõe que θ se mantém em zero. Não incluas possíveis efeitos de correntes existentes na magnetosfera.

f) A atitude da órbita aumenta ou diminui?

Dados:

- período da órbita: $T = 5.4 \times 10^3$ s ;
- comprimento da barra: $L = 2.0 \times 10^4$ m ;
- Intensidade do campo magnético terrestre à altitude do satélite: $B = 5.0 \times 10^{-5}$ Wb m⁻² ;
- massa do veículo espacial Portugália: $m = 10^5$ kg.

Problema 4: Gás perfeito

A equação de estado de uma substância é uma expressão matemática que relaciona variáveis de estado dessa substância como seja, no caso de um gás, a pressão (P), o volume (V) e a temperatura absoluta (T). Recorda-se que a temperatura absoluta, expressa em kelvin (símbolo K) se relaciona com a temperatura t expressa em grau Celsius (símbolo °C) através de

$$T = t - 273.15 \quad (1)$$

Usando uma amostra de gás foi efectuada uma série de experiências, cujos resultados se sumariam a seguir.

A — Estudou-se a variação do volume com a temperatura, mantendo a pressão constante, $P_1 = 1000$ mbar. Registaram-se os valores seguintes:

| temperatura (°C) | volume (cm ³) |
|------------------|---------------------------|
| 16 | 18.00 |
| 27 | 18.65 |
| 34 | 19.30 |
| 47 | 19.90 |
| 60 | 20.65 |
| 68 | 21.40 |
| 77 | 28.80 |
| 90 | 22.55 |

B — Estudo-se a variação da pressão com o volume, mantendo a temperatura constante $T_2 = 27^\circ\text{C}$. Registaram-se os seguintes valores:

| volume (cm ³) | pressão (mbar) |
|---------------------------|----------------|
| 11.50 | 815 |
| 13.00 | 719 |
| 15.50 | 605 |
| 17.00 | 549 |
| 18.50 | 505 |
| 19.00 | 491 |

C — Estudou-se a variação da pressão com a temperatura, mantendo-se o volume constante. Obtiveram-se os seguintes resultados:

| temperatura (°C) | pressão (mbar) |
|------------------|----------------|
| 40 | 1050 |
| 50 | 1090 |
| 60 | 1120 |
| 75 | 1165 |
| 95 | 1240 |

a) Verifica que a equação de estado de um gás perfeito,

$$Pv = RT, \quad (2)$$

onde R é uma constante e $v = V/n$ o volume específico, com n o número de moles de substância, se ajusta aos resultados experimentais. Obtém, para os dados de cada tabela, gráficos $y = y(x)$, introduzindo, quando necessário, novas variáveis, para que os três gráficos sejam rectas. Determina os declives das três rectas.

b) A quantidade de gás utilizado nas experiências A e C foi a mesma, mas diferente da utilizada na experiência B. Determina que quantidade de gás, relativamente a A

(ou C), foi utilizado em B e faz uma estimativa do volume ocupado pelo gás na experiência C.

c) A partir do gráfico da experiência C faz uma extrapolação para pressão zero e estima o valor, em graus Celsius, da temperatura absoluta nula. Compara com o valor -273.15°C referido na equação (1).

d) Sabendo que se utilizaram 30 mg de árgon na experiência A, determina o valor da constante dos gases perfeitos R . Compara com o valor tabelado para esta constante e comenta o resultado.

e) O coeficiente de dilatação é definido pela expressão¹

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \quad (3)$$

ou seja, é a variação do volume com a temperatura, à pressão constante P , dividida pelo próprio volume. Mostra que para um gás ideal se tem $\beta = \frac{1}{T}$. Obtém o valor de β a partir dos dados experimentais apropriados e verifica se o resultado é compatível com a previsão teórica.

Notas: 1 bar = 10^5 N m^{-2} ; $M(\text{Ar}) = 39.9 \text{ g/mol}$
 $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

Problema 5: O laser na rede

ATENÇÃO:

Nesta experiência vais utilizar um laser e como tal terás que observar algumas regras de segurança:

O laser já estará ligado no início da experiência, não sendo necessário mexer directamente nele.

Este laser tem uma potência suficientemente baixa para não provocar qualquer efeito por incidência directa na pele, nem olhando para o ponto obtido numa folha de papel. No entanto a sua incidência directa nos olhos pode provocar algumas perturbações de visão. Assim deves observar as seguintes regras de segurança:

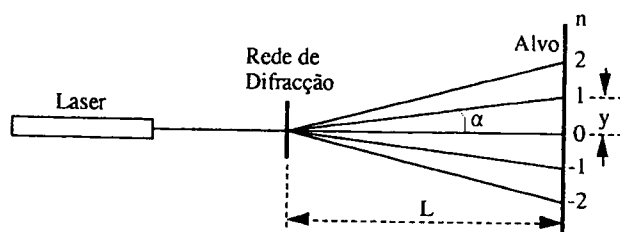
- Deve existir sempre anteparo a bloquear a saída do feixe para fora da zona de experiência.
- Se tiveres que te baixar de forma a passar com os olhos ao nível da mesa, fecha os olhos ao passar nessa zona.
- Não trabalhes com relógios, pulseiras ou anéis que possuam superfícies lisas, pois podem reflectir a luz acidentalmente (mesmo a superfície de um vidro de relógio pode reflectir mais de 5% da luz!)
- Acima de tudo, NÃO OLHES O LASER DIRECTAMENTE!

¹ A derivada nesta expressão chama-se «derivada parcial» e é calculada derivando a função $V = V(T)$ que resulta da equação de estado (2), considerando que a pressão é constante.

Material disponível:

Laser, rede de difracção com suporte, alvo, régua e fita métrica.

Uma rede de difracção é uma sucessão de linhas paralelas transparentes espaçadas regularmente num meio opaco. A interferência construtiva * dá-se nas direcções para as quais a diferença de caminho entre luz proveniente de linhas sucessivas é um múltiplo inteiro n do comprimento de onda λ da luz.



a) Determina a relação entre o espaçamento das linhas na rede de difracção d , o comprimento de onda da luz λ , a ordem de difracção n e o ângulo de difracção α .

Pretende-se a seguir efectuar a medição do espaçamento entre as linhas da rede de difracção que utilizas.

b) Descreve detalhadamente todos os procedimentos necessários, salientando os que pensas serem mais importantes para a realização da medida.

c) Apresenta o registo das medidas experimentais que efectuaste.

d) Determina o espaçamento das linhas da rede de difracção que utilizaste, não te esqueças de identificar o número de referência da rede.

e) Calcula o erro que afecta o valor obtido na alínea anterior.

* A interferência diz-se construtiva num ponto do alvo quando as ondas provenientes das diferentes linhas se encontram *em fase* nesse ponto (por exemplo a resultante de duas ondas com amplitudes A_1 e A_2 tem amplitude $A = A_1 + A_2$ nesse ponto).

A interferência diz-se destrutiva num ponto do alvo quando as ondas provenientes das diferentes linhas se encontram *em oposição de fase* nesse ponto (por exemplo a resultante de duas ondas com amplitudes A_1 e A_2 tem amplitude $A = |A_1 - A_2|$ nesse ponto).

ENCONTRO DE PROFESSORES DE TÉCNICAS LABORATORIAIS DE FÍSICA

Porto, 15-16 Setembro 1994

A Delegação Regional do Norte da Sociedade Portuguesa de Física, procurando responder a várias solicitações de docentes do Ensino Secundário, promove nos dias 15 e 16 de Setembro do corrente ano um Encontro de Professores de Técnicas Laboratoriais de Física, a decorrer no Porto, na Escola Secundária de Fontes Pereira de Melo, sob a orientação do Doutor Manuel Joaquim Marques da FCUP e dos licenciados Maria Lucinda Oliveira e Adriano Sampaio e Sousa da ESFPM, com o seguinte programa:

- Didáctica da disciplina;
- Exposição de trabalhos experimentais;
- Avaliação da disciplina.

Atendendo ao carácter essencialmente prático da acção, o número de participantes é limitado, devendo os professores interessados efectuar a sua inscrição até ao dia 9 de Setembro, através do telefone 02-2026620.

O custo de cada inscrição é de 2000\$00 para sócios e de 3000\$00 para não sócios da SPF.

O que há de novo?

Nesta secção são apresentadas notícias e curtos resumos sobre recentes descobertas em Física e áreas afins, ideias novas que surgem, progressos experimentais com impacto na sociedade, etc.

Procurar-se-á também efectuar uma cobertura selectiva do noticiário que vai aparecendo numa série de revistas de actualidade.

Para esta cobertura contamos desde já com a colaboração de *Eduardo Lage, Matos Ferreira, Carlos Fiolhais, Ana Noronha, J. Lopes dos Santos, Margarida Telo Gama, Marília Thomaz, António Moreira Gonçalves, Anabela Martins. Agradecem-se outras colaborações para esta secção.*

Porque é a Natureza complexa?

A Física Estatística ocupa-se do tratamento de sistemas com um grande número de graus de liberdade. Tais sistemas, embora sujeitos às leis da mecânica ou do electromagnetismo, são demasiado «grandes» para uma solução analítica exacta, sendo necessário recorrer a métodos estatísticos. O resultado fundamental da Física Estatística é a distribuição de Boltzmann — ela rege a estatística dos sistemas em equilíbrio e permite a interpretação atomística da termodinâmica. Contudo, mesmo os sistemas mais simples colocam problemas analíticos extremamente complicados, pelo que não só o recurso ao computador foi inevitável como a Física Estatística viria a encontrar aí novos e riquíssimos campos de aplicação.

Embora nenhum computador permita (ainda?) o estudo de um sistema com um número de graus de liberdade da ordem do número de Avogadro (6×10^{23}), tem sido possível simular sistemas relativamente grandes com (tipicamente, 10^6 graus de liberdade), sujeitos a regras de evolução muito simples. Essas regras inspiram-se nas leis dinâmicas que regem os sistemas físicos, mas estão libertadas de detalhes irrelevantes. Os enormes progressos registados no estudo da Física Estatística de fenómenos cooperativos, historicamente tipificados em sistemas apresentando transições de fase (gás-líquido-sólido, paramagneto-ferromagneto, metal normal-supercondutor) ensinam-nos a modelizar sistemas complicados, a identificar os parâmetros relevantes e a formular regras de evolução. Contudo, os modelos agora em estudo apresentam uma riqueza e variedade de comportamentos tão surpreendente que passaram a designar-se por «sistemas complexos». Um caso típico é o monte de areia, cuja construção é bem conhecida de qualquer criança em férias estivais.

Deixamos cair um grão de areia de cada vez — e o grão que cai aumenta a altura da coluna onde caiu. Se a altura dessa coluna não exceder em demais as alturas das colunas vizinhas, o processo é repetido com novo grão; mas se exceder, então a coluna desmorona-se de tantos grãos quantas as colunas vizinhas, a cada uma das quais é atribuída um grão. E pode acontecer que o grão assim recebido torne a coluna receptora demasiado «alta» em relação às vizinhas, originando novas avalanchas. Com regras tão simples, é surpreendente que este sistema apresente períodos de estagnação intercalados por períodos de avalanchas encadeadas, mais ou menos extensas e apresentando uma distribuição de tamanhos semelhante às que se observam nas transições de fase, mas apenas no ponto crítico. No monte de areia, o sistema auto-organiza-se de tal forma que os dois processos contraditórios (perturbação local trazida pelo novo grão, geração de avalanchas estendendo-se cooperativamente) obrigam o sistema a permanecer sempre na criticalidade. Tais fenómenos são, por isso, designados, por criticalidade auto-organizada («self-organized criticality») e verificam-se nos mais diversos e inesperados campos: na frequência das energias dos terremotos, nas oscilações das bolsas de valores, nas cintilações de pulsares, na evolução das espécies¹, etc.

Ainda não sabemos se estas brincadeiras algorítmicas nos estão a revelar que, afinal, a Natureza só parece complicada porque não conhecemos as regras do jogo. Mas o leitor deste interessante artigo (de que um dos autores, P. Bak, é um dos principais investigadores deste campo) concluirá, certamente, que «se non è vero, è bene trovato».

Physics World, Dezembro 93, p. 39

E. L.

¹ Ver também:

«Towards a statistical mechanics of biological evolution?», L. Peliti, *Phys. World*, Março 93, p. 24.

«Can we model Darwin?», P. Bak *et al.*, *New Scientist*, 12 Março 1994, p. 36.

Olimpíadas Nacionais de Física 1994 *

Del. Regional Norte, Fac. Ciências U. Porto

Nos dias 6 e 7 de Maio de 1994 realizaram-se na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto as Olimpíadas Nacionais de Física 1994.

Participaram 57 alunos, de 33 escolas, distribuídos por 3 escalões; 24 alunos do 12.º ano, 24 do 11.º ano, e três equipas de três alunos cada dos 9/10.º anos.

No escalão A (9/10.º anos) foi vencedora a equipa da E. S. Almeida Garrett de V. N. Gaia, constituída pelos alunos Alexandre Fernandes Pinto, Paulo Jorge Gonçalves Dias, e Tiago Alexandre F. Almeida Rodrigues.

No Escalão B (11.º ano) foram apurados 8 alunos, dos quais serão seleccionados os cinco representantes portugueses à Olimpíada Internacional de Física 1995.

1.º Rui Davide Travasso, da E. S. Camilo Castelo Branco de V. N. Famalicão;

2.º João de Medina Prata Pinheiro, da E. S. António Sérgio de V. N. Gaia;

3.º Cláudio Manuel Neves Valente, da E. S. Maria Lamas de Torres Novas;

4.º João Pedro Duarte, da E. S. José Estevão de Aveiro;

5.º João Manuel Q. F. Oliveira Baptista, da E. S. Manuel Fernandes de Abrantes;

6.º Luís Filipe Pires Jorge, da E. S. de Alvite - Cascais;

7.º Tiago Rodrigues Horta e Vale, da E. S. José Falcão de Coimbra;

8.º Hugo Miguel Coelho Pinto, do Colégio Liceal Santa Maria de Lamas;

No escalão C (12.º) foram apurados 5 alunos que irão representar Portugal nas Olimpíadas Internacionais de Física 1994 em Pequim, Rep. Popular da China.

1.º Ricardo Costa Prego Faria, da E. S. Francisco de Holanda de Guimarães;

2.º Teresa Maria Bodas Freitas, da E. S. António Nobre do Porto;

3.º Pedro Filipe Barros Rolo, da E. S. Manuel Gomes de Almeida de Espinho;

4.º Rui Pedro Sottomayor D. Padrão, da E. S. Manuel Gomes de Almeida de Espinho;

5.º Cláudia Patrícia Barros Cruz, da E. S. Leal da Câmara de Cacém.

* Ver texto integral das provas na pág. 22 deste número da Gazeta de Física.

Reestruturação da EPS em marcha

O Council da European Physical Society (EPS), na reunião que teve lugar em Cracóvia em finais do passado mês de Março, aprovou a proposta de reestruturação da EPS apresentada pelo Comité Executivo e as consequentes alterações nos Estatutos da EPS. Os novos Estatutos, que entraram em vigor em 1 de Abril último, conferem aos sócios ordinários das Sociedades Nacionais membras da EPS regalias semelhantes às dos Individual Ordinary Members (IOMs) da EPS, excepto as de elegerem delegados que os representem no EPS — Council e de assinarem a revista *Europhysics Letters* a preço reduzido.

Assim, os sócios ordinários das Sociedades membras terão o direito de se inscrever e de participar numa Divisão e/ou num grupo Interdivisional da EPS, bem como o de participar e votar, então, na Assembleia Geral da EPS. A adesão a uma Divisão ou Grupo Interdivisional deverá ser formalizada através da Sociedade Nacional respectiva. Desta forma, os sócios ordinários das Sociedades membras poderão influir activamente nas actividades da EPS. Por outro lado, estes sócios passarão a receber a revista *Europhysics News*, que lhe será distribuída em geral pelas suas Sociedades Nacionais.

Com esta revisão de Estatutos a EPS alarga enormemente a sua base de apoio, que passa assim a ser constituída por mais de 60 000 físicos europeus, a larga maioria dos quais são membros duma das 33 Sociedades Nacionais afiliadas na EPS. A categoria de IOM não desaparece todavia, esperando a EPS que um grande número dos actuais cerca de 3000 IOMs permaneça, manifestando dessa forma a continuidade do seu apoio pessoal ao espírito que tem caracterizado a EPS desde a sua fundação, em 1968.

As implicações desta reestruturação da EPS na Sociedade Portuguesa de Física são complexas e têm vindo a ser ponderadas pelos seus órgãos directivos. Está agendada uma discussão mais alargada deste assunto no decorrer da Assembleia Geral que terá lugar no próximo dia 20 de Setembro, na Covilhã, durante a conferência Física-94.

Conferência EPS 10 – TRENDS IN PHYSICS

– Organização da SPF e da R. Sociedade Espanhola de Física



Sevilha

9-13 Setembro 1996

A Sociedade Portuguesa de Física e a Real Sociedade Espanhola de Física vão organizar conjuntamente a próxima conferência **Trends in Physics** da European Physical Society (EPS), conferência de âmbito geral que se realiza de 3 em 3 anos e onde se apresentam e discutem as fronteiras da Física actual, bem como os seus grandes desafios para o futuro.

A candidatura conjunta das duas Sociedades Ibéricas à organização da **EPS 10 – Trends in Physics** foi aceite com satisfação quer pelo Comité Executivo, quer pelo Council da EPS, na reunião que teve lugar em Cracóvia em finais de Março último, tendo sido preterida uma outra candidatura apresentada pelo Institute of Physics britânico.

A **EPS 10 – Trends in Physics** será presidida pelos Professores Carlos Matos Ferreira (IST, Lisboa, membro do Comité Executivo da EPS) e Manuel Lozano (Universidade de Sevilha). O Comité de Programa da conferência será por sua vez, presidido pelo Professor Herbert

Walther, de Garching, e integrará, além dos dois Presidentes da EPS – 10, os Presidentes das Divisões da EPS e cientistas prestigiados de diversos domínios da Física.

Numa primeira reunião entre as duas Sociedades, que teve lugar em Sevilha no passado mês de Maio, foi já constituída uma Comissão Organizadora integrando representantes de ambas as Sociedades. Foi igualmente decidido que a conferência terá lugar no Palácio dos Congressos e Exposições de Sevilha, de 9 a 13 de Setembro de 1996.

Uma primeira circular com informações preliminares sobre a conferência será difundida até ao final deste ano.

Informações:

Prof. Carlos Matos Ferreira

Sociedade Portuguesa de Física

Av. da República, 37-4.º – 1000 Lisboa

Tel. 01-7973251

Fax: 01-7952349

CONVOCATÓRIA DA ASSEMBLEIA GERAL DA SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA

Nos termos estatutários convocam-se os sócios da Sociedade Portuguesa de Física para uma Assembleia Geral Extraordinária a realizar na terça-feira, dia 20 de Setembro de 1994, às 18,00 horas, na Universidade da Beira Interior, Covilhã, onde decorrerá a Conferência Nacional de Física — **Física 94**, com a seguinte ordem de trabalhos

1 – Informações

2 – Relatório do Secretariado-Geral

2 – Actividades das Divisões Técnicas

3 – Revistas da Sociedade. Futuro da Gazeta de Física e da Portugaliae Physica

4 – Análise das implicações da reestruturação da European Physical Society nos Estatutos e na gestão da Sociedade Portuguesa de Física. Aprovação das alterações aos Estatutos eventualmente necessárias

5 – Actualização das quotas anuais dos sócios

6 – Outros assuntos levantados pela Assembleia

Se passada meia hora após a primeira convocatória não estiverem presentes mais de metade dos sócios em pleno gozo de direitos, a Assembleia Geral reunirá em segunda convocatória com qualquer número de sócios presentes.

Lisboa, 24 de Junho de 1994

O Presidente da Mesa da Assembleia Geral

(Prof. Doutor Manuel Fernandes Laranjeira)

MUSEU DE CIÊNCIA
DA FACULDADE DE CIÊNCIAS
DO PORTO

-Viva a Ciência 1994 -

De 22 a 29 de Outubro 94, o Museu de Ciência, em colaboração com a Faculdade de Ciências do Porto e a Delegação da Região Norte da Sociedade Portuguesa de Física, apresentará nos espaços disponibilizados para o efeito pela Faculdade, uma mostra de parte do material já adquirido ou construído, para o futuro Museu de Ciência.

As experiências disponíveis permitem a participação interactiva do visitante e contêm predominantemente temas de Física, mas também de Matemática e Química.

Procurar-se-á apresentar uma versão ampliada e modificada da 1ª exposição, que se realizou de 17 a 20 de Maio 1994, e que foi visitada por muitas centenas de pessoas. Alguns dias serão reservados para visitas guiadas de jovens das Escolas Secundárias.

Paralelamente à exposição, haverá conferências onde serão apresentadas e debatidas contribuições que a Física tem dado para o conhecimento do Universo, a estrutura da matéria, a natureza da vida e a própria teoria do conhecimento.

**2.ª Conferência do Sul da Europa sobre
Física Atômica e Molecular (*)**

Pisa 27-30 Setembro 1994

Sessões Plenárias:

- Experiments and theory on the interactions of oriented atoms and molecules (V. Aquilanti)
- The continuum solid and compliance functions in gas-surface phenomena; low energy collisions and adsorbates under radiation (A. Askar)
- Caging and non adiabatic electronic transitions in van der Waals complexes (J. A. Beswick)
- Experiments and photoelectron spectroscopy (e, 2e; R. Camilloni)
- Hyperfine quenching of the lifetime of some atomic states (F. C. Parente)
- Laser spectroscopy of triatomic and polyatomic molecules in the gas phase (S. Couris)
- Structure and dynamics of small van der Waals clusters (G. Delgado-Barrio)
- R2P1 spectroscopy and reactivity of van der Waals clusters (A. Giardini Guidoni)
- Precision laser spectroscopy of helium and fundamental physics (M. Inguscio)
- New theoretical methods for molecular magnetic properties (P. Lazzeretti)
- The calculation of potential energy surfaces for chemical reactions (R. McWeeny)
- State-specific approach to the computation of strong field multiphoton processes in polyelectronic systems. Application to the Above Threshold Ionisation (ATI) and High Order Harmonic Generation (HOHG) (T. Mercouris)
- Rydberg atoms in applied external fields (F. Mota Furtado)
- Intramolecular potentials for molecular spectroscopy from ab-initio theories (P. Palmiari)
- Dynamics and spectroscopy of the XH-chromophore (X=C,N,O) in overtone excited molecules; classical, quantal and semiclassical treatments (J.A.Santamaria)
- Title to be defined (Y.G. Smeyers)
- Mixed mode dynamics and chaotic behaviour (E. Yurtsever)

Registration and Secretary of the Conference: The registration form has to be mailed or faxed to the Secretary of the SECAMP-94:

*SECAMP-94
c/o ICQEM del CNR
Via Risorgimento 35, I-56126 Pisa, Italy
Fax: 39 - (50) - 918260/502270*

Registration fee: 160 000 Liras Italianas (até 30 de Julho 94)

(*) 2nd South European Conference on Atomic and Molecular Physics, SECAMP - 94. Em princípio a Conferência tem um carácter bienal, tendo-se realizado a primeira conferência em Gândia, Valência. Prevê-se que a 3.ª conferência seja realizada na Grécia.

FÍSICA 94

Universidade da Beira Interior - Covilhã, 19 a 23 de Setembro 1994
Organização da Sociedade Portuguesa de Física, Delegação Regional de Coimbra

- Programa -

9ª CONFERÊNCIA NACIONAL DE FÍSICA

- *Sessões Plenárias* (60 min)
sobre temas da actualidade de Física e áreas afins
- *Palestras convidadas* (30 min)
Com o objectivo de divulgar aspectos da investigação nacional em áreas temáticas
- *Comunicações Oraís* (15 min)
- *Cartazes* (1,20 m x 0,90; agrupados por áreas temáticas; 90 min permanência de autores)
- *Áreas temáticas da Conferência:* (Classificação do Physics Abstracts)
00.00 - Geral (inclui educação), 10.00 - Física Partículas Elementares, 20.00 - Física Nuclear, 30.00 - Física Atómica e Molecular, 40.00 - Física Clássica, 50.00 - Fluidos e Plasmas, 60.00 - Física Matéria Condensada, 70.00 - Física Matéria Condensada, 80.00 - Áreas Interdisciplinares, 90.00 - Geofísica, Astronomia e Astrofísica.

4º ENCONTRO IBÉRICO PARA O ENSINO DA FÍSICA

- *Oficinas Pedagógicas*
- *Comunicações Oraís e palestras convidadas*
- *Demonstrações experimentais e de software*
- *Cartazes*
- *Painel sobre a Reforma do Ensino*

As sessões do 4º Encontro Ibérico para o Ensino da Física decorrerão nos períodos que, no programa da "Física 94", estão reservados às comunicações orais e à apresentação de Cartazes.

Inscrição:

Deverá ser feita através do envio da respectiva Ficha de Inscrição, acompanhada do pagamento da respectiva propina.

| Propina de Inscrição | até 31/05/94 | após 31/05/94 |
|----------------------|--------------|---------------|
| Sócios da SPF | 6.000\$00 | 9.000\$00 |
| Não Sócios | 10.000\$00 | 15.000\$00 |
| Estudantes Sócios | 3.000\$00 | 4.500\$00 |
| Est. Não Sócios | 5.000\$00 | 7.500\$00 |

Reserva de Alojamento e Inscrições para o Jantar:

Deverá ser feita através do preenchimento (e pagamento) da respectiva ficha de "Alojamento e Jantar".

Alojamento:

| Hotel/Residencial | Localidade | Categoria | Individual | Duplo/casal | Tripto |
|--------------------|-----------------|-----------|---------------------|-------------|----------|
| Turismo | Covilhã | *** | 7000\$00 | 10000\$00 | |
| Solneve | Covilhã | *** | 4000\$00 | 6000\$00 | 7800\$00 |
| Santa Eufémia | Covilhã | *** | 4750\$00 | 6500\$00 | |
| Montalto | Covilhã | *** | 2500\$00 | 4000\$00 | 5500\$00 |
| Res. Académica | Covilhã | *** | 4000\$00 | 6500\$00 | |
| Serra Estrela | Penhas da Saúde | *** | 7500\$00 | 7500\$00 | |
| Samasa | Fundão | *** | 6800\$00 | 8000\$00 | 9000\$00 |
| Alambique | Fundão | *** | 4500\$00 | 6500\$00 | |
| Pous. da Juventude | Penhas da Saúde | | 1500\$00 por Pessoa | | |

Refeições:

Durante a Conferência os participantes terão acesso ao refeitório dos Serviços Sociais Universitários onde serão servidos almoços e jantares ao preço de 500\$00 (excluindo as bebidas). As senhas deverão ser adquiridas no secretariado no acto de registo na Conferência.

Programa Social:

Durante a Conferência haverá actividades sociais de interesse turístico para participantes e acompanhantes. A inscrição para estas actividades deve ser feita durante o registo.

Ficha de Inscrição "Física 94"

Covilhã, 19-23 de Setembro de 1994

Nome: _____ Apellido: _____
Grau Académico: _____
Instituição: _____
Morada para o envio de correspondência: _____
Telefone: _____ Fax: _____
Apresenta comunicação: Sim Não
Tema da Comunicação: _____
Nome dos Autores: _____
Instituição(ões) a que pertencem: _____
Sócio Não Sócio

Para pagamento da minha inscrição na Física 94 junto envio:
Cheque nº _____ de _____ \$00,
endossado a Física 94
Vale correio nº _____ de _____ \$00,
endossado a Física 94

Alojamento

Turismo Serra da Estrela
 Solneve Samasa
 Santa Eufémia Alambique
 Montalto Pousada Juventude
 Res. Académica

 Individual Duplo/Casal Tripto

Jantar de encerramento

 preço 5000\$00

Nº de pessoas Sim Não

Nos termos das "Condições Gerais", junto envio em nome da Comissão Organizadora Local da "Física 94" o,

Cheque nº _____ de _____ \$00,
Vale correio nº _____ de _____ \$00

EM PRÓXIMO NÚMERO

G A Z E T A D E
FÍSICA

SENSORES MAGNÉTICOS

ABLAÇÃO LASER

CALOR E TEMPERATURA