

FÍSICA



FÍSICA 96

E

6.º ENCONTRO IBÉRICO

Faro, 13-17 Set. 96

EPS 10

Trends in Physics

Sevilha, 9-13 Set. 96



Gazeta de Física

Propriedade da Sociedade Portuguesa de Física

ISSN: 0367/3561

Registo na DGCS n.º 107280 de 13/5/80

Depósito Legal n.º 51419/91

Publicação Trimestral

N.º 4 - 1995

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

Florbelá Martins Teixeira

Execução Gráfica

Imprensa Portuguesa

Rua Formosa, 108-116 — 4000 Porto

Telefone (02) 2002466

Fax (02) 2015105

Tiragem: 1500 exemplares

Preço avulso: 600\$00

Assinatura anual (quatro números):

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

35 US dólares (estrangeiro)

**Publicação subsidiada 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 apresentados 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 USO DE DUAS DIMENSÕES NO ENSINO DA CRISTALOGRAFIA ELEMENTAR
M. Duarte Naia e J. M. Ferreira

6

GRANDEZAS, NÚMEROS, UNIDADES
Dietmar Appelt

11

SIR RUDOLF PEIERLS (1907-1995)
João da Providência

14

MICROSCOPIA DE VARRIMENTO POR SONDA (SPM)
M. R. Gonçalves, J. H. F. Ribeiro, P. L. Vieira e R. F. M. Lobo

21

APRENDER FÍSICA... COM O COMPUTADOR

26

OLIMPIADAS DE FÍSICA

32

ÍNDICE DO VOL. 18 DA GAZETA DE FÍSICA

O USO DE DUAS DIMENSÕES NO ENSINO DA CRISTALOGRAFIA ELEMENTAR

M. DUARTE NAIA e J. M. FERREIRA

Departamento de Física, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro,
Quinta de Prados, 5000 VILA REAL

A rede Bravais bidimensional é usada para introduzir os conceitos básicos de cristalografia sem recorrer à bem mais complexa representação tridimensional. Apresentam-se as noções de rede Bravais, vectores primitivos e célula primitiva para uma rede Bravais geral bidimensional e sugere-se um método simples de determinar os índices de Miller para qualquer família de linhas dessa rede. Relaciona-se o espaçamento entre as linhas adjacentes desta família com os vectores primitivos da rede directa ou recíproca utilizando apenas geometria elementar e, a título de exemplo, aplicam-se estes conceitos a uma rede Bravais triangular.

A simplicidade analítica das representações bidimensionais, bem como a facilidade em visualizá-las, sugerem a sua utilização no ensino da cristalografia elementar a nível pré-universitário, deixando as representações tridimensionais para um nível mais avançado.

Introdução

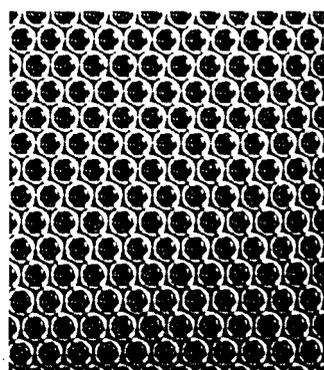
Numa Licenciatura em Física, a disciplina de Física do Estado Sólido deve incluir noções básicas de cristalografia tais como as de rede Bravais, vectores primitivos, célula primitiva, índices de Miller, espaçamento entre planos da rede e rede recíproca. Uma vez que os cristais são entidades tridimensionais é necessário a este nível recorrer igualmente a uma análise tridimensional, mas a maior parte destas noções pode ser introduzida aos alunos a um nível pré-universitário utilizando um modelo simplificado a duas dimensões. Esta estratégia evita a representação de modelos cristalinos tridimensionais no quadro bidimensional, uma dificuldade apontada por Riley (1970). Numa aplicação interessante da análise bidimensional à equação de Bragg, Fish (1971) utilizou uma rede ortorrômbica, tendo descrito algumas das suas propriedades. Este artigo propõe-se apresentar as propriedades básicas de uma qualquer rede Bravais bidimensional utilizando apenas conceitos elementares de matemática.

Rede de Bravais bidimensional; célula e vectores primitivos

Existem vários modos equivalentes de definir uma rede Bravais bidimensional e introduzir o conceito de célula e vectores primitivos. Uma maneira conveniente de fazer as duas coisas é adaptar a definição dada por Ashcroft e Mermin (1976) de uma rede Bravais tridimensional para o caso de duas dimensões. Uma rede Bravais bidimensional é então definida como consistindo de todos os pontos com vectores de posição

$$\mathbf{R} = n_1 \mathbf{a}_1 + n_2 \mathbf{a}_2 \quad (1)$$

onde \mathbf{a}_1 e \mathbf{a}_2 , conhecidos por vectores primitivos, são quaisquer dois vectores não colineares, e n_1 e n_2 compreendem todos os números inteiros (positivos, negativos ou zero). Um exemplo de tal rede é dado na figura 1, a qual pode ser usada para mostrar que para que um par de vectores possa ser designado de primitivo, tem de satisfazer o critério que todos os pontos da



Redes de Bravais
Célula e vectores primitivos
Índices de Miller
Espaço recíproco

rede possam ser gerados por uma combinação linear destes vectores com coeficientes inteiros. Para a rede da figura 1, a_1 e a_2 são uma escolha possível de vectores primitivos pois satisfazem este critério. O mesmo não se verifica para a'_1 e a'_2 (figura 1) pois, por exemplo, o ponto A da rede pode apenas ser atingido a partir da origem por uma combinação linear de a'_1 e a'_2 com coeficientes não inteiros, ou seja, $OA = (3/2)a'_1 + (3/2)a'_2$. É útil referir nesta altura que, embora haja uma infinidade de escolhas possíveis de conjuntos de vectores primitivos a'_1 e a'_2 , para uma dada rede, a área S da célula primitiva, dada por

$$S = |a_1 \wedge a_2|, \quad (2)$$

tem um valor que é independente da escolha de a_1 e a_2 para a rede em questão.

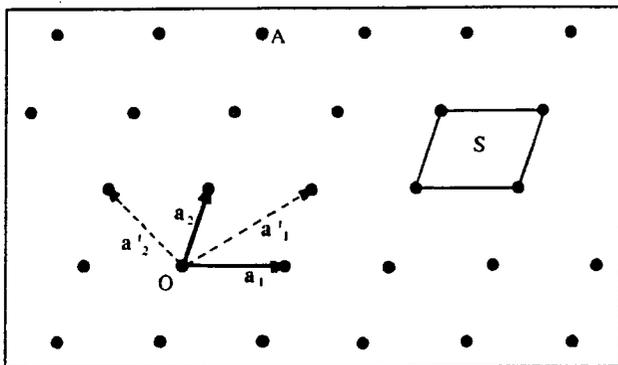


Fig. 1 — Porção da mais geral das redes de Bravais bidimensionais, a rede oblíqua, mostrando um par de vectores primitivos (a_1 e a_2), e um par de vectores não primitivos (a'_1 e a'_2). Mostra-se igualmente uma célula primitiva (S).

Índices de Miller; distância entre linhas da rede

Para se determinar o espaçamento entre linhas adjacentes de uma família de linhas da rede é conveniente dar a orientação destas linhas, e isto pode fazer-se especificando os índices de Miller (hk) de qualquer linha da família relativamente ao conjunto escolhido de vectores primitivos a_1 e a_2 . A determinação destes índices em duas dimensões é imediata utilizando o seguinte método (figura 2):

(i) Seleccione-se a linha da família que está mais próxima da origem e que intersecte os eixos de a_1 e a_2 , em dois pontos da rede, P_1 e P_2 .

(ii) As posições destes dois pontos, ka_1 e ha_2 , dão os índices de Miller (hk) da família de linhas da rede.

Tendo determinado os índices de Miller, o espaçamento d_{hk} entre linhas adjacentes da família pode determi-

nar-se facilmente por geometria elementar, da seguinte maneira: dada a linha da rede contendo os pontos P_1 e P_2 , desenha-se uma linha adjacente contendo os pontos P_3 e P_4 (figura 2). O paralelogramo $P_1P_2P_3P_4$ tem base $P_1P_2 = |ha_2 - ka_1|$ e altura d_{hk} , portanto a sua área é $|ha_2 - ka_1| d_{hk}$. Uma vez que este paralelogramo constitui uma célula primitiva, a sua área é também igual a $|a_1 \wedge a_2|$. Logo, o espaçamento entre linhas adjacentes, d_{hk} , é dado por

$$d_{hk} = |a_1 \wedge a_2| / |ha_2 - ka_1|. \quad (3)$$

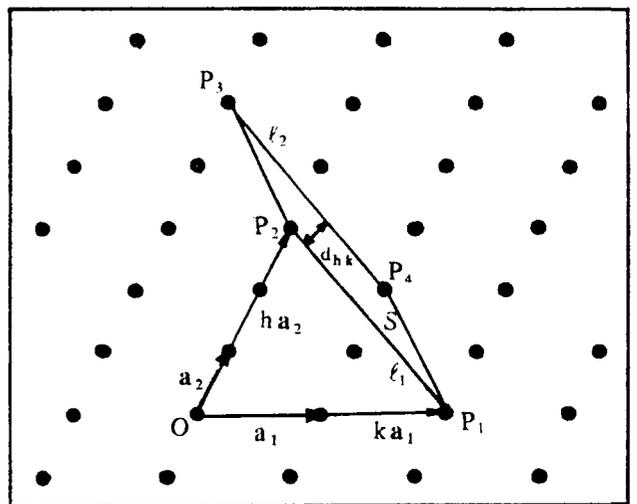


Fig. 2 — Rede oblíqua com duas linhas adjacentes (ℓ_1 e ℓ_2) pertencentes a uma família de linhas da rede. Os índices de Miller (hk) da família são determinados a partir das posições dos pontos P_1 e P_2 relativamente à origem O (ka_1 e ha_2 respectivamente). O espaçamento entre as linhas (d_{hk}), e a célula primitiva (S) formada pelo paralelogramo $P_1P_2P_3P_4$, também estão indicados.

Espaço recíproco

Um método simples de introduzir a noção de espaço recíproco é resolver o problema de determinar uma base b_1 e b_2 na qual o vector $hb_1 + kb_2$ seja sempre perpendicular à família (hk) de linhas da rede para qualquer escolha de h e k , ou seja

$$(hb_1 + kb_2) \cdot (ha_1 - ka_2) = 0. \quad (4)$$

Da equação (4),

$$h^2 a_2 \cdot b_1 - k^2 a_1 \cdot b_2 + hk(a_2 \cdot b_2 - a_1 \cdot b_1) = 0. \quad (5)$$

A equação (5) só é válida para qualquer família (hk) de linhas da rede se os vectores \mathbf{b}_1 e \mathbf{b}_2 satisfizerem as condições seguintes:

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_2 \cdot \mathbf{b}_1 &= \mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{b}_2 = 0 \\ \mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{b}_1 &= \mathbf{a}_2 \cdot \mathbf{b}_2 = C, \end{aligned} \quad (6)$$

onde C é uma constante.

No sistema de coordenadas xy , sejam

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_1 &= (a_{1x}, a_{1y}) \\ \mathbf{a}_2 &= (a_{2x}, a_{2y}) \\ \mathbf{b}_1 &= (b_{1x}, b_{1y}) \\ \mathbf{b}_2 &= (b_{2x}, b_{2y}). \end{aligned} \quad (7)$$

Das equações (6) e (7), obtém-se o seguinte sistema

$$\begin{aligned} a_{1x}b_{1x} + a_{1y}b_{1y} &= C \\ a_{2x}b_{1x} + a_{2y}b_{1y} &= 0 \\ a_{1x}b_{2x} + a_{1y}b_{2y} &= 0 \\ a_{2x}b_{2x} + a_{2y}b_{2y} &= C. \end{aligned} \quad (8)$$

Resolvendo o sistema (8), vem imediatamente que

$$\begin{aligned} \mathbf{b}_1 &= C(a_{2y}, -a_{2x})/|\mathbf{a}_1 \wedge \mathbf{a}_2| \\ \mathbf{b}_2 &= C(-a_{1y}, a_{1x})/|\mathbf{a}_1 \wedge \mathbf{a}_2|. \end{aligned} \quad (9)$$

Uma vez que \mathbf{b}_1 e \mathbf{b}_2 são vectores não-colineares (equação (9); figura 3), o conjunto de todas as combinações lineares possíveis de \mathbf{b}_1 e \mathbf{b}_2 com coeficientes inteiros, gera outra rede de Bravais a qual é denominada *rede recíproca*.

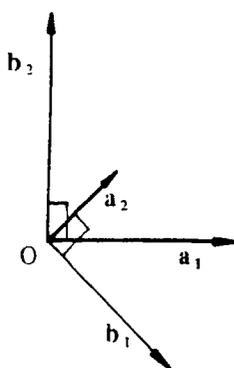


Fig. 3 — Orientação dos vectores primitivos \mathbf{b}_1 e \mathbf{b}_2 da rede recíproca relativamente aos vectores primitivos \mathbf{a}_1 e \mathbf{a}_2 da rede directa.

Utilizando as equações (3) e (9) é fácil deduzir a relação entre o espaçamento d_{hk} da família de linhas (hk) da rede directa e o módulo do vector da rede recíproca

$h\mathbf{b}_1 + k\mathbf{b}_2$ normal a esta família. Da equação (9), o módulo deste vector é

$$\begin{aligned} |h\mathbf{b}_1 + k\mathbf{b}_2| &= C|(ha_{2y} - ka_{1y}, ka_{1x} - ha_{2x})|/|\mathbf{a}_1 \wedge \mathbf{a}_2| \\ &= C(h^2a_{2y}^2 + k^2a_{1y}^2 - 2hka_{1y}a_{2y})^{1/2}/|\mathbf{a}_1 \wedge \mathbf{a}_2|. \end{aligned} \quad (10)$$

Da equação (3)

$$d_{hk} = |\mathbf{a}_1 \wedge \mathbf{a}_2|/(h^2a_{2y}^2 + k^2a_{1y}^2 - 2hka_{1y}a_{2y})^{1/2}. \quad (11)$$

Comparando as equações (10) e (11) obtém-se

$$d_{hk} = C/|h\mathbf{b}_1 + k\mathbf{b}_2| \quad (12)$$

um resultado bem conhecido cuja demonstração a três dimensões é bem mais complexa. A constante de proporcionalidade C toma-se geralmente como sendo igual a 1 ou 2π .

Rede triangular

Os conceitos expostos aqui podem ser utilizados no estudo de qualquer rede Bravais bidimensional, por exemplo a rede triangular da figura 4. Os vectores primitivos desta rede, \mathbf{a}_1 e \mathbf{a}_2 , podem escrever-se

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_1 &= (a/2, a\sqrt{3}/2) \\ \mathbf{a}_2 &= (-a/2, a\sqrt{3}/2) \end{aligned} \quad (13)$$

e a área da célula primitiva para esta rede é

$$S = |\mathbf{a}_1 \wedge \mathbf{a}_2| = a^2\sqrt{3}/2. \quad (14)$$

Para se determinarem os índices de Miller da família de linhas da rede representadas na figura 4, note-se que ℓ é a linha mais próxima da origem e que intersecta os eixos de \mathbf{a}_1 e \mathbf{a}_2 nos dois pontos da rede P_1 e P_2 , de coordenadas $1\mathbf{a}_1$ e $2\mathbf{a}_2$ respectivamente. Logo, a família de linhas da rede tem índices de Miller (21). Das equações (3), (13) e (14), o espaçamento entre as linhas da família (21) é

$$\begin{aligned} d_{21} &= |\mathbf{a}_1 \wedge \mathbf{a}_2|/|2\mathbf{a}_2 - 1\mathbf{a}_1| \\ &= (a^2\sqrt{3}/2)/|(-3a/2, a\sqrt{3}/2)| = a/2. \end{aligned} \quad (15)$$

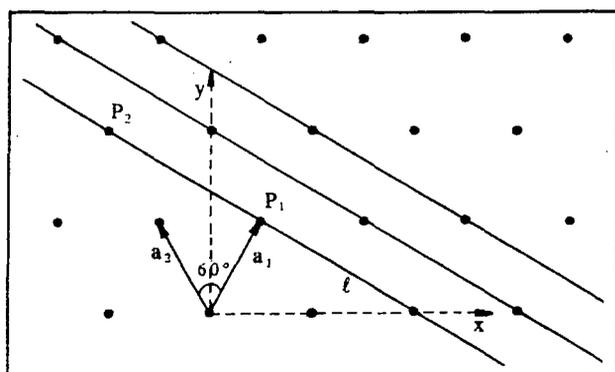


Fig. 4 — Rede triangular com constante da rede a e vectores primitivos a_1 e a_2 , onde $|a_1| = |a_2| = a$ e o ângulo entre a_1 e a_2 é 60° . Indica-se uma família de linhas paralelas da rede, e os pontos da rede P_1 e P_2 numa linha (l) pertencente a esta família.

Das equações (9), (13) e (14) resulta que a rede triangular da figura 4 tem uma rede recíproca de vectores primitivos

$$\begin{aligned} b_1 &= (2C/(a^2\sqrt{3}))(a\sqrt{3}/2, a/2) \\ b_2 &= (2C/(a^2\sqrt{3}))(-a\sqrt{3}/2, a/2) \end{aligned} \quad (16)$$

os quais têm, relativamente a a_1 e a_2 , a orientação indicada na figura 5. Para visualizar a rede recíproca gerada por b_1 e b_2 , note-se que esta rede pode também ser gerada por um conjunto alternativo de vectores primitivos

$$\begin{aligned} b_1 &= (2C/(a^2\sqrt{3}))(a\sqrt{3}/2, a/2) \\ b'_2 &= b_1 + b_2 = (2C/(a^2\sqrt{3}))(0, a) \end{aligned} \quad (17)$$

os quais formam entre si um ângulo de 60° e têm módulos iguais (equação 17; figura 5). É portanto fácil de visuali-

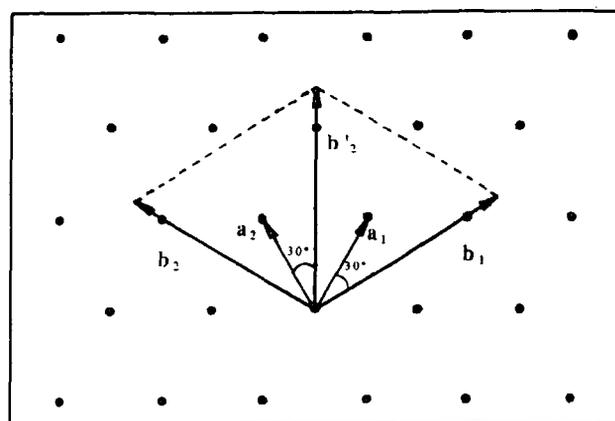


Fig. 5 — Vectores primitivos a_1 e a_2 de uma rede triangular, e os correspondentes vectores primitivos b_1 e b_2 da rede recíproca. Note-se que a rede recíproca pode também ser gerada por b_1 e b'_2 , onde b_1 forma um ângulo de 60° com $b'_2 = b_1 + b_2$, e $|b_1| = |b'_2|$, ou seja a rede recíproca também é triangular.

zar que a recíproca da rede triangular é também ela uma rede triangular, rodada de 30° relativamente à rede original.

Conclusão

A simplicidade analítica das representações bidimensionais, juntamente com a sua fácil visualização, sugerem a possibilidade da sua utilização como forma de introduzir o conceito de rede Bravais numa fase preparatória, deixando a generalização à rede tridimensional para o nível Universitário em Física do Estado Sólido.

BIBLIOGRAFIA

- ASHCROFT, N. W. e MERMIN, N. D. — *Solid State Physics*, Holt Rinehart and Winston, E.U.A. (1976).
 FISH, P. W. — *Electron diffraction and the Bragg equation*, Physics Education 6, 7-9 (1971).
 RILEY, R. — *Bragg's law for X-ray crystal diffraction*, Physics Education 5, 371-372 (1970).

J. M. Ferreira é Professor Auxiliar na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Departamento de Física, e M. Duarte Naia é Assistente Estagiário da mesma instituição.

FÍSICA 96

Vai realizar-se de 13 a 17 de Setembro de 1996 na Universidade do Algarve, Faro, a 10.ª Conferência Nacional de Física e o 6.º Encontro Ibérico para o Ensino da Física.

Os desenvolvimentos mais importantes na Física actual vão ser realçados, dedicando-se ainda especial atenção ao Ensino da Física nas Escolas portuguesas.

A 1.ª Circular que vai junta a este número da Gazeta apresenta informação mais detalhada.

Na 2.ª Circular vai ser apresentado o programa da Conferência nos seus diferentes aspectos.

Para mais esclarecimentos contactar:

Secretariado da Física 96
 SPF - Delegação Regional do Sul e Ilhas
 Av. da República, 37-4., 1000 Lisboa
 Telef. (01)7973251
 Fax (01)7952349
 E-mail: fisica96@co.fc.ul.pt

GRANDEZAS, NÚMEROS, UNIDADES

DIETMAR APPELT

Laboratório de Física, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto

E-mail: dappelt@fc.up.pt

Face a um progressivo e crescente hábito de expressão indevida, recordam-se as regras válidas em Portugal, e na maioria de outros países, para a forma acordada e oficial de expressão escrita de grandezas, números e unidades. Sendo assunto de interesse básico nas Ciências Físicas, é igualmente extensivo à generalidade das Ciências da Natureza, Ciências Económicas e todos os domínios em que as referidas entidades encontrem utilização.

1 — Introdução

Tem-se vindo a acentuar cada vez mais a tendência para transpor para a forma de expressão nacional — no caso vertente, a língua portuguesa, seus acrónimos e formas genéricas sincopadas — termos e expressões retomadas «tal qual» da língua utilizada nas publicações em que os novos conceitos fazem as suas primeiras aparições: actualmente a língua inglesa é indubitavelmente o manancial de quase toda a informação inovadora. Na língua portuguesa, este fenómeno de absorção imediatista tem provavelmente tido uma extensão consideravelmente mais ampla do que nas outras grandes línguas do mundo ocidental. O idioma officioso do Brasil tem, sem dúvida, exercido uma forte influência (quanto a nós, muitas vezes deplorável) neste sentido.

Para além deste fenómeno, talvez por arrastamento, têm-se vindo a introduzir em Portugal, no domínio das Ciências Físicas e outras que têm de recorrer a números e grandezas mais ou menos objectivas, «maus hábitos» quanto à forma de expressão das grandezas e dos seus valores, isto é, dos números e das unidades. Esta «epidemia» tem-se vindo a alastrar desde alunos dos mais variados graus e estados de ensino até professores, políticos, jornalistas e *opinion makers* (naturalmente que somos estatisticamente semelhantes à sociedade que regularmente

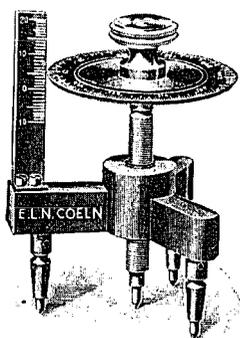
integramos, pelo que, por vezes, somos levados pela mesma corrente...).

Até mesmo as tão famosas Provas Específicas, essa instituição oficial de elevado impacte nacional para alunos, pais, professores e governantes — e, como tal, de alta responsabilidade — têm, nos últimos anos (também em 1995), sido afectadas desta enfermidade.

Defrontando-nos quase diariamente (quicá *quixotesicamente*) com a situação de corrigir os maus hábitos que alunos universitários trazem de trás e de, delicadamente, fazermos «menções honrosas» a colegas — para além dos *frissons* que experimentamos nas mais diversas situações de ambientes de avançado nível tecnológico (por vezes até científico), como por exemplo, a bordo das aeronaves de companhias aéreas portuguesas, onde ouvimos que a temperatura é de ... graus **centígrados** — pareceu-nos que seria útil recordar o que sobre este assunto está instituído em Portugal, em muitas situações mesmo disposto por via legal. Sem prejuízo de uma ou outra referência a outros domínios, limitar-nos-emos, nesta exposição, à aplicação dos princípios ao campo das Ciências Físicas.

2 — Grandezas

Nas expressões analíticas, as grandezas são representadas por símbolos literais. Não havendo regras específicas



divergentes em Portugal, deverão, em princípio, ser aqui seguidos os preceitos preconizados na norma ISO 31¹. Trata-se de um trabalho volumoso — para além de uma parte introdutória, esta norma é constituída por mais 13 partes, correspondentes aos diversos domínios específicos da Física, assim como uma parte dedicada aos sinais e símbolos matemáticos — em que estão estabelecidos os símbolos a utilizar para a esmagadora maioria das grandezas usadas em Física e Química, assim como para funções da Matemática. Dada a sua extensão e abrangência, não vamos naturalmente reproduzi-lo aqui. A sua introdução mais formal no acervo normativo português está em estudo há já algum tempo.

Parece-nos, no entanto, útil recordar aqui alguns princípios básicos sobre a forma de representar as grandezas (ISO 31-0 [1]):

Os **símbolos das grandezas** são geralmente constituídos por apenas uma letra do alfabeto latino ou grego, por vezes acrescida de índices ou outros sinais modificadores. Estes símbolos são impressos em *caracteres itálicos (inclinados)*.

O símbolo não é seguido de qualquer ponto, salvo nos casos normais de pontuação (p. ex. no fim de uma frase). Os símbolos consagrados para as grandezas são dados nas várias partes daquela norma: ISO 31-1 a ISO 31-10, ISO 31-12 e ISO 31-13 [2]. Assim, enquanto o potencial eléctrico do campo electrostático deve preferencialmente ser representado por V (φ é também admitido), a forma preferencial para representar uma diferença de potencial (ou tensão) eléctrica deve ser U (embora V seja também aceite); a força electromotriz deve ser representada por E , tal como genericamente a energia; às grandezas comprimento, largura e altura correspondem, respectivamente, os símbolos l (ou L), b e h ; para o raio de curvatura está consagrado o símbolo ρ , o mesmo que para a massa volúmica, a carga (eléctrica) volúmica e a resistividade (eléctrica). O símbolo v é utilizado para representar quer a grandeza velocidade, quer o volume mássico (inverso da massa volúmica), enquanto V representa o volume. O símbolo T pode representar o período de um fenómeno periódico ou a temperatura termodinâmica. O factor de potência (em corrente eléctrica alternada sinusoidal) deve ser representado por λ (sendo que é válida a expressão analítica $\lambda = \cos\varphi$). Estes são apenas alguns exemplos retirados ao acaso da vasta listagem contida naquele grupo de normas.

Excepcionalmente empregam-se símbolos constituídos por duas letras, para combinações de grandezas de dimensão um (p. ex., o número de Reynolds, Re).

Quando, num dado contexto, diferentes grandezas têm o mesmo símbolo literal ou quando haja interesse em dis-

tinguir diferentes aplicações ou diferentes tipos de valores (p. ex. valor médio, valor eficaz, etc.) para a mesma grandeza física, pode-se recorrer ao uso de índices inferiores para fazer a distinção. Nesta situação, são recomendados os princípios seguintes: o índice que representa o símbolo de uma grandeza física é impresso em caracteres itálicos (inclinados); os outros índices são impressos em caracteres romanos (direitos); os números utilizados como índices serão impressos em caracteres romanos (direitos), mas os símbolos literais que representam números serão, em geral, impressos em caracteres itálicos (inclinados). Nesta conformidade C_g representa a capacidade térmica de um gás enquanto a capacidade térmica a pressão constante deverá ser representada por C_p ; o símbolo representativo da aceleração da gravidade normal será g_n , enquanto g_{ik} é o símbolo adequado para representar a entalpia livre mássica afectada de dois índices correntes; E_k será o símbolo próprio para representar a energia cinética enquanto a energia da partícula de ordem k (índice numérico corrente) será representada por E_k .

3 — Números

Neste domínio constata-se que, com frequência assustadoramente crescente, se utiliza um sinal gráfico não-conforme para separar a parte inteira da parte decimal, quer na linguagem escrita quer na linguagem falada. Com efeito, a Norma Portuguesa NP-9 [3] estabelece claramente que os sinais gráficos a utilizar para aquela finalidade são o ponto e a vírgula, sendo o primeiro empregado nos países de língua inglesa e o segundo nos restantes (sic). Não tem, pois, cabimento utilizar o «ponto».

Transcrevemos aqui a parte relevante da nota de rodapé daquela norma: «Esta norma foi mandada adoptar obrigatoriamente no ensino e nos livros didácticos pela Portaria n.º 17053 de 4/3/1959 do Ministério da Educação Nacional». Muito embora aquela norma continue válida à data da redacção deste apontamento, aparentemente o seu preceituado esvaiu-se dos hábitos...

Para além disso, estabelece-se aí que se deverá utilizar um espaço em branco para separar os grupos de três algarismos (contados para um e outro lado da vírgula), destinados a facilitar a leitura do número.

Também a nomenclatura dos grandes números está há muito claramente estabelecida para Portugal na norma NP-18 [4]: utiliza-se a chamada regra N, $10^{6N} = (N)$ ilião. Por ordem crescente de sucessivas potências de 10^3 , os

¹ ISO é a sigla de *International Organization for Standardization* / *Organisation internationale de normalisation*, entidade que Portugal integra, e como tal está obrigado a respeitar o preceituado.

números são designados por: milhar (mil), milhão, milhar de milhões (mil milhões), bilião, milhar de biliões (mil biliões), trilião, milhar de triliões (mil triliões), quadrilião, etc. Também esta norma se apresenta com uma nota de rodapé idêntica à transcrita acima.

Um bilião é, pois, $10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$ e não $10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$ como frequentemente é empregue.

4 — Unidades

Este é, possivelmente, o capítulo em que surge maior variedade e abundância de não-conformidades.

Este assunto está coerentemente tratado em vários documentos regulamentadores: a nível internacional na norma ISO 1000 [5], a nível nacional na Norma Portuguesa NP-172 [6] e, mais recentemente, no Decreto-Lei 238/94 [7].

As unidades têm nomes e símbolos (únicos, conforme consignados naqueles documentos), que são entidades distintas mas muitas vezes confundidas.

Os **nomes** das unidades são substantivos comuns [8] e, como tal, na língua portuguesa, deverão ser escritos com letra minúscula (exceptuam-se, naturalmente, as situações em que quaisquer substantivos comuns podem ou devem ser grafados de outra forma, p. ex. no início de uma frase) e formam plural — podendo, eventualmente, ser invariáveis nesta forma (note-se que a aplicação do plural apenas tem lugar para duas ou mais entidades). Teremos, então, uma corrente eléctrica de intensidade três amperes (mas não ampere, nem ampères), uma potência de cinco watts² (e não watt, nem wátios), tal como uma massa de cinco quilogramas (mas não quilos, nem kilogramas) ou um comprimento de sete metros, uma frequência de cento e cinco megahertz, uma condutância de dezassete milsiemens, uma temperatura de vinte e três graus celsius (mas não centígrados!).

Temos plena consciência da controvérsia desta matéria. Há, com efeito, Escolas Superiores de Tecnologia e/ou Ciências da Natureza, onde está divulgada prática contrária: a tensão eléctrica em nossas casas seria de duzentos e vinte **volt**, o termoacumulador drena uma corrente de sete **ampere**, mas o comprimento da sala é de cinco **metros**, a capacidade do mesmo termoacumulador é de cem **litros**³, etc. A inconsistência está bem patente; não vemos racionalidade nesta prática, pelo que não a apoiamos.

Lamentavelmente, ainda está demasiado vulgarizado o mau hábito de se utilizarem unidades fora do SI, e algumas fora de uso há muito tempo. A grandeza pressão é, possivelmente, uma das que tem tido os mais variados e dispersos maus tratos em termos de unidades: expri-

mem-se — tanto na linguagem falada como, pior ainda, na linguagem escrita — pressões em atmosferas, quilos, toneladas, quilos por milímetro quadrado, e outras antiguidades. Também as unidades magnéticas têm sido bastante mal tratadas (especialmente a nível universitário): induções magnéticas expressas em gauss, intensidades de campo em oersted, fluxos em maxwell, ... coisas daqueles tempos em que os condensadores se adquiriam a metro (a unidade de capacidade — CGS⁴ — era o centímetro!). Assim como há, por vezes, ainda a preocupação de ensinar a alunos universitários — depois de isso lhes ter sido proscrito a nível secundário — a exprimir as forças em quilos e dines, viscosidades em poises e stokes, energias em ergs, calorias, Calorias (esta *nuance* é só para gente suficientemente perspicaz) e kilocalorias, potências em cavalos-vapor), etc., etc.

A utilização dos **símbolos** das unidades obedece a uma série de regras, nem sempre respeitadas, e que por isso resumimos a seguir.

Os **símbolos das unidades** (normalizados a nível internacional, isto é, iguais em todas as línguas, mesmo naquelas que usam caracteres diferentes dos latinos, tais como o grego, russo, japonês, etc.) são impressos em caracteres romanos (direitos); são representados por uma ou duas letras, habitualmente minúsculas, excepto quando os **nomes correspondentes** são derivados de nomes próprios (em geral de físicos), caso em que a letra inicial é maiúscula; ficam invariáveis no plural; não são seguidos de qualquer ponto (excepto no fim de uma frase); devem ser usados apenas a seguir ao valor numérico de uma grandeza expresso em caracteres numéricos (12 V, mas não doze V), do qual deverão estar separados por um espaço.

Os valores numéricos das grandezas com dimensões deverão ser sempre seguidos da respectiva unidade, em geral representada pelo seu símbolo:

5,3 m ± 0,1 m e não 5,3 ± 0,1 m ;

2,3 m × 1,6 m × 3,1 m e não 2,3 × 1,6 × 3,1 m ;
e muito menos 2,3 × 1,6 × 3,1 m³.

Também 23°C ± 2°C ou (23 ± 2)°C,
de preferência até 23°C ± 2 K ;
mas nunca 23 ± 2°C

² As letras «k» (capa), «w» (duplo vê) e «y» (i grego) já integram regularmente o alfabeto português.

³ A este propósito, recordamos que para esta unidade se admite, de momento, qualquer um dos dois símbolos l ou L.

⁴ CGS é a designação de um sistema de unidades utilizado no passado, que tinha por unidades de base o centímetro, o grama e o segundo.

Note-se que, quando se exprimem tolerâncias estreitas ou precisões elevadas, o valor principal e o valor indicativo da tolerância/precisão poderão ter ordens de grandeza suficientemente afastadas para justificar a sua expressão em unidades diferentes (com a vantagem de uma leitura imediata permitir, desde logo, uma apreciação mais significativa das respectivas incertezas): por exemplo, $8,3 \text{ m} \pm 5 \text{ mm}$ ou $42,7 \text{ mm} \pm 2 \text{ }\mu\text{m}$.

5 — Funções matemáticas

Também aqui há alguns hábitos antigos que têm de ser revistos e adaptados à realidade actualmente instituída [9]. Referiremos apenas as situações mais correntes, em relação às quais são frequentes as não-conformidades. Assim:

O sinal a utilizar para exprimir a igualdade aproximada de duas quantidades é « \approx » e não « \sim », que significa «proporcional a», tal como o símbolo « \propto »; a função correspondência é representada pelo símbolo « \triangleq ».

Para a função logaritmo há, para além de um símbolo genérico — $\log_a x$, que representa o logaritmo de base a de x — três símbolos específicos: $\ln x$ (logaritmo natural [neperiano] de x), $\lg x$ (logaritmo decimal de x) e $\text{lb } x$ (logaritmo binário de x).

As funções trigonométricas (circulares) directas são, todas elas, representadas por um símbolo constituído por três letras: $\sin x$ (a forma $\text{sen } x$ não está prevista), $\cos x$, $\tan x$ (embora $\text{tg } x$ seja ainda utilizado), $\cot x$ (e não $\text{cotg } x$) $\sec x$, $\csc x$ ($\text{cosec } x$ é também admitido). As correspondentes funções inversas são representadas pelos respectivos símbolos precedidos do prefixo simbólico «ar»: $\text{arsin } x$, $\text{arcos } x$, $\text{artan } x$, $\text{arctan } x$, $\text{arsec } x$, $\text{arcsc } x$. A coerência está bem patente. Filosofia semelhante está subjacente aos símbolos normalizados para as funções hiperbólicas: $\sinh x$, $\cosh x$, $\tanh x$, $\coth x$, $\text{sech } x$, $\text{csch } x$, $\text{arsinh } x$, $\text{arcosh } x$, $\text{artanh } x$, $\text{arcoth } x$, $\text{arsech } x$, $\text{arsch } x$.

As grandezas vectoriais devem ser representadas por um símbolo em tipo negrita, \mathbf{a} , (habitualmente utilizado na escrita impressa) ou tipo normal encabeçado por uma flecha, \vec{a} (mais cómodo para a escrita manual) — sempre em itálico, já que de símbolos de grandezas se trata. O módulo do vector \mathbf{a} é representado simplesmente por a ou $|\mathbf{a}|$ (ou $|\vec{a}|$). O vector unitário da mesma direcção e sentido de \mathbf{a} é representado por \mathbf{e}_a . As coordenadas cartesianas do vector \mathbf{a} são representadas por a_x, a_y, a_z , ou, genericamente, por a_i . Os versores de um sistema ortonormal são representados por $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$, (genericamente, \mathbf{e}_i) ou $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$. Pelo que as componentes do vector \mathbf{a} (que são vectores) deverão ser representadas por $a_x \mathbf{e}_x, a_y \mathbf{e}_y, a_z \mathbf{e}_z$. Em

conformidade, as coordenadas cartesianas de um raio vector são iguais às coordenadas cartesianas do ponto designado pelo raio vector. Tratando-se de vectores representativos de grandezas físicas, os seus valores deverão ser representados em conformidade com o modo de representação utilizado para as grandezas escalares: a seguir a cada valor numérico deverá ser escrito o símbolo da unidade; pode-se simplificar, escrevendo apenas uma vez o símbolo da unidade, desde que se tomem as mesmas precauções anteriormente indicadas para as grandezas escalares (ver a parte final do § 4):

$$\mathbf{F} = (3 \text{ N}, -2 \text{ N}, 5 \text{ N}) = (3, -2, 5) \text{ N}$$

6 — Conclusão

Limitámo-nos a recordar algumas regras que, em princípio, são do conhecimento de todas as pessoas que lidam com as Ciências da Natureza, cientistas, professores, alunos, engenheiros, técnicos e outros. Não fomos nós que estabelecemos essas regras, nem as impomos; apenas nos empenhamos no seu seguimento — tal como conduzimos o nosso automóvel pelo lado direito da via, etc.

Procuremos, pois, usar apenas unidades SI e aquelas que, não sendo SI, são no entanto de uso autorizado pelo CIPM⁵ [5, 6] e pela legislação em vigor [7]. Deixemos para trás as forças de três quilos (ou 3 Kg) assim como as pressões de 5 toneladas, os volts eficazes e os amperes indutivos. Mas usemos o SI na sua plena extensão, isto é, façamos uso regular dos seus múltiplos e submúltiplos — o comprimento de onda da radiação emitida por um laser de He-Ne deverá ser preferencialmente expresso por 632,8 nm em lugar de $6,328 \times 10^{-7} \text{ m}$ (mas nunca por 6328 Å), da mesma forma que exprimimos a distância de Porto a Coimbra por 112 km e não por $112 \times 10^3 \text{ m}$ e muito menos por 112 000 m; e inserimos num circuito electrónico um condensador de 0,47 μF ou uma resistência de 82 k Ω (mas não de 82 K). Sem dúvida que a escola e muito especialmente as ESCOLAS — sejam de que nível forem — e respectivos DOCENTES têm aqui um papel fundamental, que talvez nem sempre tenham desempenhado devidamente.

A nossa intervenção pretende apenas ser uma chamada de atenção para o que está oficialmente instituído e publicado. Por isso não retomámos aqui todos os preceitos legais. Mas deixamos as referências documentais mais importantes para que possam ser cotejadas por aqueles que desejarem estar actualizados.

⁵ Comité International des Poids et Mesures.

Permitimo-nos, no entanto, advertir que a legislação portuguesa actualmente em vigor [7] prevê contra-ordenações não menosprezáveis para a utilização de *unidades de medida não autorizadas*: coimas de PTE 5000 até PTE 500 000 para pessoas singulares e até PTE 6 000 000 para pessoas colectivas! Esperemos que nem o Estado nem os Governos vejam aqui, tão cedo, mais esta fonte de receita fácil...

7 — Documentação

Tratando este artigo de um assunto amplamente regulamentado, a documentação de apoio é essencialmente constituída por referências normativas — normas portuguesas (NP), normas internacionais (ISO) e uma norma francesa (NF).

Em Portugal, toda a actividade de normalização está centralizada no IPQ (Instituto Português da Qualidade, Rua C à Avenida dos Três Vales, 2825 Monte da Caparica, Telef. 01-2948100, Telefax 01-2948101) onde os documentos referidos poderão ser consultados ou adquiridos.

Bibliografia

- [1] ISO 31-0:1992, Grandeurs et unités — Partie 0: Principes généraux.
- [2] ISO 31-1:1992, Grandeurs et unités — Partie 1: Espace et temps.
ISO 31-2:1992, Grandeurs et unités — Partie 2: Phénomènes périodiques et connexes.
ISO 31-3:1992, Grandeurs et unités — Partie 3: Mécanique.
ISO 31-4:1992, Grandeurs et unités — Partie 4: Chaleur.

- [2] ISO 31-5:1992, Grandeurs et unités — Partie 5: Electricité et magnétisme.
ISO 31-6:1992, Grandeurs et unités — Partie 6: Lumière et rayonnements électromagnétiques connexes.
ISO 31-7:1992, Grandeurs et unités — Partie 7: Acoustique.
ISO 31-8:1992, Grandeurs et unités — Partie 8: Chimie physique et physique moléculaire.
ISO 31-9:1992, Grandeurs et unités — Partie 9: Physique atomique et nucléaire.
ISO 31-10:1992, Grandeurs et unités — Partie 10: Réactions nucléaires et rayonnements ionisants.
ISO 31-12:1992, Grandeurs et unités — Partie 12: Nombres caractéristiques.
ISO 31-13:1992, Grandeurs et unités — Partie 13: Physique de l'état solide.
- [3] NP-9 (1960), Escrita dos números.
- [4] NP-18 (1960), Nomenclatura dos grandes números.
- [5] ISO 1000:1992, Unités SI et recommandations pour l'emploi de leurs multiples et de certaines autres unités.
- [6] NP-172 (1986), Sistema Internacional de Unidades.
- [7] Ministério da Indústria e Energia, Decreto-Lei n.º 238/94, de 18 de Setembro, Diário da República, I Série-A, N.º 217, Lisboa, 19-09-1994.
- [8] Norme Française NF X 02-003, Principes de l'écriture des nombres, des grandeurs, des unités et des symboles, AFNOR (Association Française de Normalisation), Aout 1985.
- [9] ISO 31-11:1992, Grandeurs et unités — Partie 11: Sygnes et symboles mathématiques à employer dans les sciences physiques et dans la technique.
- [10] ALMEIDA, Guilherme de — *Sistema Internacional de Unidades (SI), Grandezas e Unidades Físicas*, Plátano Editora, Lisboa, 1988.

Dietmar Appelt é Assistente Convidado do Laboratório de Física da Faculdade de Ciências do Porto e Presidente das Comissões Técnicas de Normalização CTE-10 (Fluidos para aplicações eléctricas) e CTE-15 (Materiais isolantes)

DELEGAÇÃO REGIONAL DO NORTE DA SPF

Informamos os sócios desta Delegação que dispomos actualmente de novas instalações, no novo edifício do Departamento de Física. Assim, toda a correspondência deverá ser enviada para:

Sociedade Portuguesa de Física
Delegação Norte
(Departamento de Física)
Rua do Campo Alegre, 687
4150 PORTO

Para assuntos urgentes poderão contactar provisoriamente a Delegação através do telefone da Secretaria de Física — (02) 6082709.

Esperamos que este novo e amplo espaço atribuído à SPF possa ser sede de frutuosas reuniões e discussões associadas à Física.

De momento, estará aberto a todos os sócios num horário limitado (4.ª-feira, 17,30 h / 19 h) mas em face da sua utilização, este horário poderá ser alargado futuramente.

SIR RUDOLF PEIERLS (1907-1995)

JOÃO DA PROVIDÊNCIA

Departamento de Física, Universidade de Coimbra
Portugal

Sir Rudolf Ernst Peierls foi um dos pioneiros da Física Quântica. Nasceu em Berlim, em 5 de Junho de 1907. Iniciou a sua formação académica na Universidade de Berlim em 1925/1926, frequentando cursos de Planck e Nernst. Na sua autobiografia, Peierls refere que não foi Planck o precursor da teoria dos quanta, mas Bothe, cientista que viria adquirir renome como físico nuclear, quem o iniciou em conceitos modernos como «quantum de acção» e «órbitas de Bohr». Cabia a Planck a regência do curso mais nobre, destinado a uma grande audiência. Esse curso tinha carácter introdutório e era necessariamente pouco especializado. De facto, Planck mantinha uma atitude de certa reserva relativamente à evolução da física quântica. Peierls assistiu entusiasmado ao despontar da nova ciência, empresa pioneira de resposta aos insucessos da ciência antiga. Esta mostrava-se incapaz de fornecer explicações satisfatórias para questões como o equilíbrio térmico da radiação, a estabilidade dos átomos ou a natureza da luz que estes podem emitir ou absorver. Cabe recordar que esse período fascinante da história da ciência não resultou do acaso mas foi fruto de uma cultura científica de elite que era apanágio de certas universidades. A esses centros de saber convergiam as personalidades que mais se salientavam pelo seu contributo para o progresso da ciência.

Em 1926, Peierls, atraído pelo prestígio de Sommerfeld, cujas qualidades pedagógicas e talento científico o marcaram decisivamente, transferiu-se para Munique, onde encontrou Hans Bethe, com quem manteve uma duradoura relação de amizade. Um ano depois foi para Leipzig a fim de trabalhar com Heisenberg, que então

lançava as bases da interpretação do ferromagnetismo no contexto da física quântica. Foi Heisenberg quem propôs a Peierls o tema do seu primeiro trabalho científico de envergadura, a interpretação do efeito de Hall anómalo. Bloch, que fora o primeiro estudante de doutoramento de Heisenberg, tinha acabado de elaborar a sua teoria da estrutura electrónica do estado metálico. No âmbito da nova teoria, Peierls encontrou a solução do problema que investigava: o comportamento anómalo do efeito de Hall estava associado aos estados de Bloch do topo da banda de condução. Em 1929, Peierls visitou Pauli, em Zurique, que lhe propôs a investigação dos efeitos anarmónicos e do amortecimento das vibrações atómicas numa rede cristalina. Do desenvolvimento deste tema resultou o estudo da condutividade térmica a baixas temperaturas, que o levou a aperceber-se da importância de determinados processos, a que chamou «umklapp», nos quais o momento apenas se conserva a menos de um vector da rede recíproca. Esta designação passou a prevalecer universalmente.

Voltou a Leipzig em 1929 para defender a sua dissertação doutoral, mas, antes, Pauli tinha-lhe oferecido o lugar de Assistente no Instituto Federal de Tecnologia. Quando regressou a Zurique para ocupar esse lugar era já doutor de pleno direito. Segundo a tradição alemã, o lugar

de Assistente era uma posição transitória, mas que correspondia, pela maturidade científica que pressupunha, ao actual lugar de Professor Auxiliar das nossas universidades. Em Zurique fez a «Habilitation» (correspondente às nossas provas de agregação), grau académico que nas Universidades de língua alemã confere o direito à docên-



cia. Para o efeito, submeteu, como dissertação, um trabalho no qual apresentava as conclusões da sua investigação pioneira da absorção de luz pelos sólidos. Então, não pensava ainda em emigrar. O tratado «The Quantum Theory of Solids», publicado em 1955, reflecte a sua fecunda actividade científica deste período. A rapidez de raciocínio e capacidade de argumentação de Peierls ficaram lendárias, a ponto de Pauli se lhes referir nestes termos: «Ele pensa tão depressa que ainda não acabou uma frase e já mudou de opinião».

Participou, em 1932, na União Soviética, numa conferência científica, onde encontrou Yevgenia Kanegisser, com quem viria a casar no ano seguinte. Aí conheceu, também, Landau, Gamow e outros físicos russos. Foi-lhe atribuída uma bolsa na Fundação Rockefeller, em 1932, que lhe permitiu ir trabalhar, primeiro para Roma, onde conheceu Fermi, e depois para Cambridge. Entretanto, a influência de Hitler crescia de forma preocupante, o que dissuadiu Peierls de regressar à Alemanha. Estava em Inglaterra quando fez a opção de emigrar para sempre. Na sequência de trabalhos de Landau, nos quais eram caracterizadas as propriedades diamagnéticas do gás de electrões livres, Peierls investigou o papel da rede atómica no diamagnetismo metálico. Esclareceu o comportamento surpreendente de alguns metais, dos quais o bismuto é um exemplo paradigmático. Esses metais apresentam propriedades diamagnéticas particularmente acentuadas, manifestando, a baixas temperaturas, quando o campo magnético é variado, oscilações inesperadas. O seu nome está indissoluvelmente ligado à prova de ocorrência de transição de fase no modelo de Ising bidimensional, ao mecanismo da transição metal-isolador e, associado ao de Landau, à de ausência de transição de fase em qualquer sistema bidimensional com parâmetro de ordem contínuo. A descoberta do neutrão por Chadwick atraiu a atenção dos cientistas para a física nuclear. Nesta área, distinguem-se as relevantes contribuições de Peierls e Bethe para a teoria do decaimento beta, para a photodesintegração do deutério e para a difusão de neutrões por protões.

Em 1937, Peierls ascendeu ao lugar de Professor de Matemática Aplicada da Universidade de Birmingham. Datam deste período contributos cruciais para a teoria das reacções nucleares e para a teoria do decaimento beta. Posteriormente, daria também uma contribuição fundamental para o esclarecimento dos mecanismos das excitações colectivas dos núcleos atómicos, especialmente das rotações. Nos anos 40, a possibilidade remota de fabrico da bomba de urânio era já conhecida da comunidade cien-

tífica. Em Birmingham, Peierls e Otto Frisch interessaram-se por essa questão e fizeram em 1940, uma estimativa, que se revelou encorajadora, da massa crítica de ^{235}U necessária para a ocorrência de explosão. O valor encontrado, cerca de meio-quilo, apontava claramente para a viabilidade do empreendimento, reduzindo-o à tarefa técnica, que igualmente discutiram, da separação deste isótopo extremamente raro e para o qual as circunstâncias se conjugavam de forma mais favorável. Conscientes da importância militar das conclusões a que tinham chegado, pesando, por outro lado, as consequências trágicas das radiações, mas receando que os nazis se antecipassem na utilização desses conhecimentos para fins bélicos, Peierls e Frisch alertaram as autoridades para os resultados da sua pesquisa. Na sequência das veementes sugestões de Peierls e Frisch, foi iniciado o programa atómico britânico. Em 1943, foram chamados a prestar colaboração, que se revelou crucial, no Projecto Manhattan. Mais tarde, Peierls transferiu-se para Los Alamos, onde se desenvolveram os aspectos mais secretos do projecto atómico americano.

Após a guerra, retomou a sua cátedra em Birmingham, dinamizando o Departamento de Física Matemática, que se tornou num dos centros de maior prestígio a nível mundial e onde se desenvolvia investigação cimeira nas principais áreas da física: teoria dos campos, física das partículas, estrutura nuclear e física do estado sólido. Peierls concebia a física como um todo cujas partes se interpenetram profundamente, recusando a especialização excessiva que considerava artificial. O seu método de trabalho caracterizava-se pela extrema simplicidade dos argumentos e limpidez de raciocínio. A Birmingham afluíram cientistas eminentes como G. Brown, S. Butler, D. Dalitz, F. Dyson, S. Edwards, J. Langer, E. Lieb, S. Mandelstam, P. Mathews, E. Salpeter, T. Skyrme, A. Thellung, D. Thouless, etc..

Em 1963, Peierls aceitou a prestigiosa Cátedra Wykeham de Física que lhe tinha sido oferecida pela Universidade de Oxford. Com a sua inspiração, impulsionou e reorganizou o Departamento de Física Teórica. Retomou, nesse período, problemas antigos que permaneciam em aberto. Entre esses, merece especial referência o problema da quantidade de movimento da luz num meio refringente, o qual foi objecto de penetrante e exaustivo estudo.

Muitas vezes foi necessário esperar anos para que as implicações dos seus resultados fossem devidamente apreciadas no seu alcance e significado profundos. Os pro-

cessos «umklapp» só viriam a ser confirmados pela experiência 20 anos depois de o seu mecanismo ter sido esclarecido e previstas as suas consequências. Em 1955, Peierls descreveu, no seu tratado, a instabilidade duma rede unidimensional de átomos equidistantes. Passados 20 anos foi descoberta experimentalmente esta transição em cristais orgânicos unidimensionais cujas moléculas formam longas cadeias. Ao fenómeno foi dado o nome de «transição de Peierls» ou «instabilidade de Peierls». Com o seu lendário sentido de humor, Peierls manifestou preferência pela primeira versão porque não parecia sugerir a instabilidade da sua pessoa.

Peierls interessava-se profundamente pelas incidências sociais da ciência. Empenhou-se activamente nas conferências «Atoms for Peace». Participou influentemente na «Comissão Pugwash» que visava estabelecer contactos com cientistas da União Soviética.

De natureza extremamente afável, cordial e humanamente rica, Peierls e a sua esposa acompanhavam com o maior interesse pessoal os estudantes graduados e cientistas visitantes, prestando apoio, buscando soluções para os mais variados problemas e oferecendo frequentemente a hospitalidade da sua casa.

Foram-lhe conferidas numerosas distinções de elevado prestígio. Foi eleito «Fellow» da «Royal Society». Recebeu o grau honorífico de CBE, a Medalha Real da «Royal Society» e a Medalha «Max Planck» da Associação de Sociedades de Física Alemãs. A rainha de Inglaterra concedeu-lhe o título de Cavaleiro.

Cultivou relações com Portugal, mantendo contactos com a Universidade de Coimbra, através do Departamento de Física, que visitou diversas vezes. Interessava-se vivamente pela actividade de investigação e participava nas discussões de alguns dos temas com espírito crítico e apresentando sugestões construtivas. Recebeu o grau de Doutor Honoris Causa por esta universidade e foi eleito Sócio da Academia das Ciências de Lisboa.

Além do tratado «The Quantum Theory of Solids», Peierls escreveu: «The Laws of Nature» (1955), obra de divulgação; «Surprises in Theoretical Physics» (1979) e «More Surprises in Theoretical Physics» (1991), textos científicos; «The Bird of Passage» (1985), autobiografia.

Faleceu em Oxford, em 19 de Setembro de 1995.

João da Providência é Professor Catedrático do Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

CARTAS DOS LEITORES

Acreea de uma notícia sobre Madame Curie

Na *Revista Española de Física* (vol. 9, n.º 2, pág. 68, de 1995) vem relatado um acontecimento que passou quase despercebido da nossa comunicação social. A 20 de Abril passado, quase no final do seu mandato de presidente, Mitterrand promoveu a transladação dos restos mortais de Pierre Curie e de Maria Sklodowska Curie para o Panteão, em cujo frontespício se pode ler:

«Aos grandes homens, o reconhecimento da pátria».

Para proceder a esta cerimónia, o presidente francês teve, primeiro, que definir quem é «um grande homem» e, para isto, usou uma das competências que é atribuída ao presidente da República francesa.

Como até essa data não havia ainda nenhuma mulher no Panteão, a iniciativa de Mitterrand prima pela inovação e virá colmatar uma injustiça de que Madame Curie foi vítima logo no princípio do século, ao ser-lhe recusado o ingresso, em 1911, na Academia de Ciências francesa. Embora, nessa altura, já tivesse recebido um prémio Nobel da Física (em 1903) juntamente com o seu marido e com Henri Becquerel, o valor como cientista não chegou para compensar a «inferioridade» de ser mulher...

Já menos preconceituoso se mostrou o júri da Academia sueca ao atribuir-lhe o prémio Nobel da Química, nesse mesmo ano de 1911!

Voltemos porém à homenagem prestada por Mitterrand ao casal Curie, em Abril, tal como é relatada na *Revista Española de Física*.

O presidente francês, François Mitterrand, e o presidente polaco, Lech Walesa, aguardaram, na esplanada do Panteão, a chegada das urnas transportadas por estudantes universitários (a notícia não pormenoriza, mas infere-se que terão sido estudantes da Sorbonne, visto que foi nesta Escola que Madame Curie substituiu, na cátedra, o seu falecido marido).

Entre as personalidades presentes na cerimónia encontrava-se Eve Curie, filha de Madame Curie e autora da sua primeira biografia, publicada no início da década de quarenta.

Do discurso de Mitterrand foi destacado o seguinte passo: «Ninguém, melhor do que os Curie, merece estar no santuário da nossa memória colectiva», e mais à frente «a cerimónia é uma homenagem à mulher, à ciência e à vontade».

A *Revista Española de Física* está, pois, de parabéns, pela publicação de uma notícia tão importante como esta.

Maria Amélia Cutileiro Índias
Universidade de Évora, Departamento de Física

MICROSCOPIA DE VARRIMENTO POR SONDA (SPM)

M. R. GONÇALVES, J. H. F. RIBEIRO, P. L. VIEIRA e R. F. M. LOBO

Departamento de Física, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Quinta da Torre, 2825 Monte da Caparica

A invenção do Microscópio de Efeito de Túnel (*Scanning Tunneling Microscope*) em 1981, por G. Binnig e H. Rohrer, seguida do aparecimento do Microscópio de Força Atómica, em 1986, conduziu ao desenvolvimento de um conjunto de novas técnicas de microscopia, genericamente designadas por Microscopias de Varrimento por Sonda (*Scanning Probe Microscopy ou SPM*). Os avanços conseguidos com este tipo de microscopia, associada a outras técnicas, deram origem a uma nova área de engenharia, fortemente interdisciplinar: a Nano-Engenharia. Neste artigo, é analisado o funcionamento de alguns tipos de microscópios SPM e suas aplicações.

1. Introdução

O Microscópio de Efeito de Túnel (*Scanning Tunneling Microscope ou STM*) [1] constitui um dos marcos mais importantes da microscopia. Permitiu atingir resoluções atómicas, analisar topográfica e espectroscopicamente superfícies de materiais condutores e semicondutores e, sob certas condições, manipular átomos e moléculas [2]. Para além disso, pode funcionar em diversos ambientes, como em Ultra Alto Vácuo (UHV), a baixa e a alta temperatura, em água, ou em soluções electrolíticas. Esta versatilidade estimulou a utilização do STM em diversas áreas como Física de Superfícies, Biologia Molecular, Microelectrónica, Supercondutores, Electroquímica e o desenvolvimento de uma nova disciplina de Engenharia: a Nano-Engenharia.

Contudo, o STM tem uma limitação importante: não pode funcionar com amostras isolantes eléctricas.

Em 1986, G. Binnig, Gerber e Quate [3] desenvolveram um novo microscópio, o Microscópio de Força Atómica (*Atomic Force Microscope ou AFM*). Este microscópio tem um processo de varrimento semelhante ao STM, mas baseia-se na medição das forças interatómicas entre os

átomos da extremidade da sonda e os da amostra, em lugar da corrente de túnel. Tem a vantagem de poder funcionar com qualquer tipo de amostra.

Desde 1986, foram desenvolvidos novos microscópios tais como o Microscópio de Força Magnética (*Magnetic Force Microscope ou MFM*), o Microscópio Óptico de Varrimento de Campo Próximo (*Scanning Near-Field Optical Microscope ou SNOM*), o Microscópio de Força de Fricção (*Friction Force Microscope ou FFM*), entre outros.

Paralelamente, diversas aplicações se iniciaram, nomeadamente manipulação atómica e molecular [2, 4], nano-tribologia [5], modificação de superfícies com AFM no modo de contacto [6], modificação de filmes orgânicos [7], análise de meios de gravação magnética de grande densidade [6], e análise de materiais supercondutores [8].

Em Portugal, a actividade neste domínio é ainda bastante reduzida. O Grupo de Nano-Engenharia da FCT/UNL está presentemente a desenvolver um STM baseado num tubo piezoeléctrico e sonda de tungsténio, e a iniciar a actividade na produção de filmes orgânicos, com objectivos de análise e modificação local dos filmes, com AFM e STM.

Microscopia
de Efeito Túnel

Microscopia
de Força Atómica

Modos de funcionamento

Formação e processamento
de imagens

Novos desenvolvimentos
de microscópios

Aplicações

2. O Microscópio de Efeito de Túnel

2.1. Princípios físicos e funcionamento

O efeito de túnel aparece entre duas superfícies metálicas, quando separadas por um filme de material isolante ou vácuo, de espessura suficientemente pequena. Este filme constitui uma barreira de potencial entre as superfícies. A corrente de túnel que se estabelece depende da distância entre as superfícies dos eléctrodos e dos valores das respectivas funções de onda, na região entre as superfícies.

Numa barreira de potencial planar, a densidade de corrente de túnel j é dada pela expressão [1]:

$$j = \frac{e^2}{\hbar} \cdot \frac{\kappa_0}{4\pi^2 s} \cdot V \cdot \exp(-2\kappa_0 s) \quad (1)$$

onde V , em $|V|$ é a tensão aplicada entre os eléctrodos, κ_0 , em $|\text{Å}|$, é uma constante relacionada com o decaimento da função de onda fora das superfícies metálicas, $(2\kappa_0 = A \sqrt{\phi})$, ϕ em $[\text{eV}]$, é a função de trabalho efectiva, $A = 1025 \text{ eV}^{-1/2} \text{ Å}^{-1}$ e s , em $[\text{Å}]$, é a separação entre os eléctrodos.

O STM de Binnig e Rohrer permitia obter uma corrente de túnel controlada, substituindo um dos eléctrodos por uma sonda de extremidade muito fina e aproximando-a da superfície do outro eléctrodo, a apenas alguns Å . O sistema de varrimento baseava-se num tripé de cerâmicas piezoeléctricas, que podiam controlar a distância entre a ponta da sonda e a superfície da amostra, e executar um movimento transversal sobre a superfície, por aplicação de tensões de polarização adequadas. Apesar da forma da sonda ser uma agulha, a variação da corrente de túnel com a distância continua a ser exponencial.

Os primeiros microscópios STM usavam um sistema de varrimento baseado em três barras piezoeléctricas, colocadas ortogonalmente entre si, de modo a produzirem o movimento da amostra nas direcções X, Y (varrimento) e Z (vertical) [1, 9]. Mais tarde, desenvolveram-se sistemas baseados em tubos piezoeléctricos metalizados, com 5 eléctrodos (4 segmentos externos idênticos e um interno) [9]. Os tubos têm a vantagem, relativamente às barras, de terem flutuações térmicas mais fáceis de compensar e de requererem menores dimensões para produzir as mesmas elongações (Z) e deflexões (X e Y), aumentando por isso as frequências de ressonância do material piezoeléctrico [9].

A aproximação de larga escala ($> 1\text{mm}$), entre a agulha e a amostra, faz-se em geral por intermédio de um parafuso micrométrico (nos sistemas mais simples), ou por um motor passo-a-passo. A partir de distâncias inferiores a $1\mu\text{m}$, a aproximação é conseguida polarizando o

eléctrodo interno do piezoeléctrico, com tensões adequadas e proporcionais (de -200 a $+200 \text{ V}$) aos deslocamentos pretendidos (ver Fig. 1).

O varrimento segundo X e Y faz-se por aplicação de sinais tipo dente de serra aos pares de eléctrodos externos opostos do tubo. Por exemplo, por cada linha segundo X, mantém-se V_y constante, variando continuamente V_x . No varrimento seguinte, varia-se V_y e repete-se o processo para V_x (ver Fig. 1).

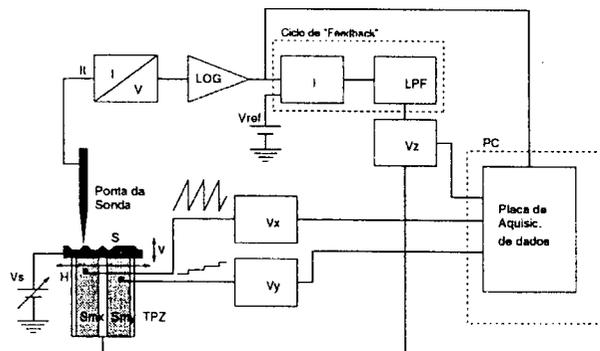


Fig. 1 — Esquema de um STM baseado num tubo piezoeléctrico. A placa de aquisição instalada no PC, permite ao operador obter em tempo real a imagem STM em formação e alterar os valores de variáveis de controlo, tais como corrente de túnel e dimensões do varrimento. O tubo piezoeléctrico TPZ deforma-se por aplicação de tensões às suas faces metalizadas, produzindo movimento horizontal H, e vertical V, de modo a gerar o varrimento sobre a superfície S. A fonte V_s polariza a amostra, criando uma diferença de potencial entre a sonda e a amostra.

O processo de varrimento sobre a amostra em observação conduz à variação da corrente de túnel. Esta corrente tem valores típicos da ordem dos nA, sendo por isso necessário amplificá-la. Se se pretender manter a corrente constante, por exemplo para gerar imagens topográficas de corrente constante, é indispensável um sistema de controlo que faça variar V_z adequadamente.

Uma vez que a corrente de túnel apresenta uma variação exponencial com a distância (eq. 1), torna-se necessário proceder à sua linearização, antes de entrar no ciclo de "feedback" do sistema de controlo (Fig. 1). Este ciclo permite controlar o valor da tensão de polarização do tubo segundo Z, a partir dos valores pretendido e medido da corrente de túnel.

As sondas do STM mais usadas são de tungsténio. Podem ser fabricadas por estrição ou por erosão electroquímica. O tipo de extremidade da sonda é um factor importante, uma vez que quanto mais aguda for essa extremidade maior será a resolução lateral alcançada. Fink demonstrou a possibilidade experimental de obter sondas extremamente agudas, recorrendo ao Microscópio de Emissão de Campo (*Field-Ion Microscope* ou *FIM*). O método proposto permite obter sondas estáveis e terminadas num único átomo, evaporando os átomos da extremi-

dade de uma agulha de tungsténio (111), por controlo intenso do campo eléctrico aplicado.

No varrimento da sonda, há a considerar três movimentos e, conseqüentemente, três resoluções, associadas à imagem a ser formada: a resolução vertical, ou da distância entre a sonda e a amostra, δ_z , e as resoluções horizontais do movimento, segundo X e Y : δ_x e δ_y , respectivamente. Os seus valores dependem, essencialmente, das sensibilidades dos piezoeléctricos e estabilidade conseguida.

As resoluções necessárias para observar os átomos de uma superfície, individualmente, situam-se em 0.1 \AA , para z e 1 \AA para x e y [9]. Para se obterem imagens com esta resolução vertical, as sensibilidades dos piezoeléctricos devem ter valores não superiores a 1 pm , para a direcção Z , e cerca de 10 pm para as direcções X e Y . Os varrimentos da sonda requerem igualmente uma regulação das dimensões da janela, entre $0.1 \text{ }\mu\text{m}$ e $1 \text{ }\mu\text{m}$ [9]. Contudo, estas resoluções só podem ser alcançadas garantindo grande estabilidade mecânica e térmica no sistema de varrimento, com isolamento térmico e mecânico e compensação dos seus efeitos. De facto, as dificuldades mais frequentes, seja no STM, seja em outros microscópios de varrimento, são a estabilidade térmica e o isolamento de vibrações mecânicas de baixa frequência. As variações de temperatura condicionam fortemente o controlo da corrente de túnel e o isolamento de vibrações mecânicas de baixa frequência é difícil de alcançar. Nos STM instalações em sistemas de UHV, usando uma baixa temperatura (alguns K) e sistemas de amortecimento de vibrações mecânicas conseguem-se boas resoluções. É, inclusive, possível a manipulação individual de átomos adsorvidos na superfície [11].

2.2. Modos de Operação

A corrente de túnel depende não só da estrutura atómica da amostra, mas também da estrutura electrónica dos átomos envolvidos no processo. Esta dependência dificulta a obtenção de imagens exclusivamente topográficas. Mas, por outro lado, permite fazer estudos espectroscópicos das amostras.

O STM pode funcionar em vários modos, dependendo do tipo de parâmetro que se quer controlar e medir. Os modos de operação dividem-se principalmente em dois grupos: *topográficos* e *espectroscópicos* [1, 8].

a) Entre os modos topográficos estão:

- *Modo de corrente constante.* Mantém-se constante a corrente de túnel, variando continuamente Z . Obtém-se assim imagens $Z = Z(X, Y)$ a corrente constante.

- *Altura constante.* Mantém-se Z constante, medindo continuamente a corrente de túnel à medida que se faz o varrimento. Tem a vantagem de não necessitar de “feed-

back” para controlar Z . Mas só é aplicável em casos de superfícies relativamente lisas. Em superfícies de grande rugosidade corre-se o risco de destruir a sonda.

- *Modulação da corrente.* Coloca-se a sonda em vibração, na direcção do varrimento X e com uma frequência superior à frequência de resposta do ciclo de “feedback”. O sinal dI/dx medido permite obter relações sinal/ruído melhores do que o modo de corrente constante.

b) O modo espectroscópico [1, 8, 12] mais comum é o seguinte:

- *Modulação da tensão da barreira.* É modulada a tensão aplicada entre a sonda e a amostra, V , e medida a variação da corrente de túnel com a tensão, dI/dV . Este sinal está relacionado com a densidade local de estados electrónicos e, portanto, pode distinguir os diferentes tipos de átomos da amostra.

c) Para além dos modos anteriores, o STM pode fornecer informação sobre a função de trabalho ϕ [1, 8]:

- *Modulação da altura da barreira.* Coloca-se a sonda em vibração na vertical, variando a distância entre a sonda e a amostra, z , com frequência superior à do ciclo de “feedback”. A imagem dI/dz obtida é uma imagem das funções de trabalho locais.

d) Para além dos modos de funcionamento acima descritos, é possível usar o STM para manipular átomos individualmente [2, 11, 13], para depositar átomos da ponta da sonda num substrato [4], por aplicação de um potencial elevado, ou modificar uma superfície por contacto.

A fig. 2 apresenta uma imagem STM, com resolução atómica, obtida em UHV e à temperatura do He líquido.

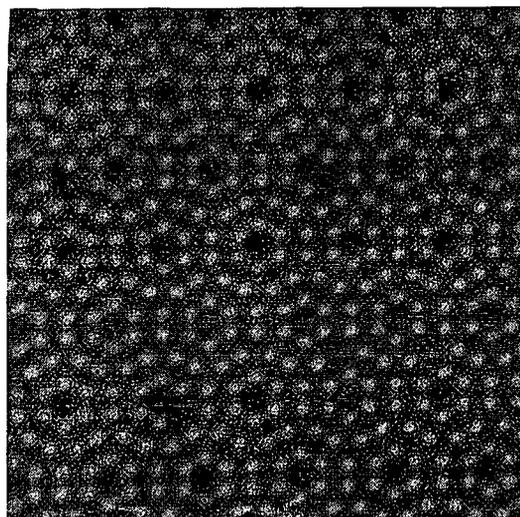


Fig. 2 — Imagem STM de resolução atómica, de Silício (111), obtida em UHV. Cortesia da CRIOLAB.

3. O Microscópio de Força Atômica

3.1. Funcionamento do AFM

O microscópio de Força Atômica (*Atomic Force Microscope* ou *AFM*) usa um processo de varrimento sobre a amostra semelhante ao do STM. A diferença reside no fenómeno físico envolvido e no mecanismo da sua detecção. Neste caso, o tipo de interações entre a sonda e a amostra são forças interatómicas de natureza diversa: covalentes, de van der Waals, iónicas, de adesão, etc. [3, 12].

A sonda do AFM está incorporada na extremidade de uma viga de suporte (ver Fig. 3). As sondas AFM são fabricadas por erosão electroquímica ou por microfabricação, e são frequentemente constituídas por SiO_2 ou Ni_3O_4 .

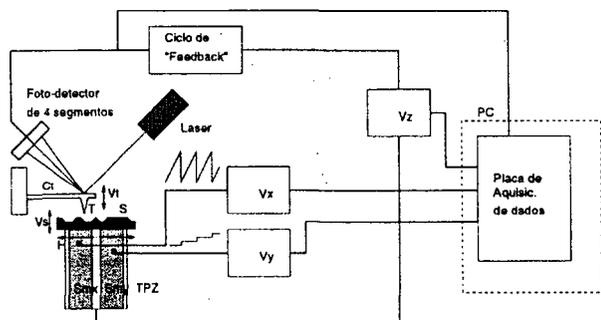


Fig. 3 — Esquema de um AFM com sistema de detecção óptico (deflexão de feixe laser). Tal como no STM o tubo piezoelétrico produz o movimento vertical V_s e horizontal H , necessários ao varrimento. A deflexão V_t , sofrida pela viga da sonda, produz diferentes intensidades do feixe laser reflectido, nos segmentos do detector, permitindo a sua medição.

A medição da intensidade da força é, habitualmente, obtida por um sistema óptico (por deflexão, ou interferometria), embora, em alguns casos, se possa medir recorrendo a um STM [3]. Nos casos de detecção óptica, a parte superior da viga tem um filme reflector.

Quando a amostra se aproxima da sonda, por actuação no tubo piezoelétrico, a força atômica deflete a viga, alterando o ângulo de reflexão do feixe laser, fazendo incidir diferentes intensidades luminosas nos quatro segmentos do fotodetector. A viga pode sofrer igualmente torções. A vantagem da utilização do fotodetector com quatro segmentos é a possibilidade de medir em simultâneo deflexões e torções, com base nas intensidades de luz relativas que incidem em cada um.

Tal como o STM, o AFM pode funcionar em diversos modos.

a) Entre os modos topográficos referimos:

- *Modo de força constante.* Durante o varrimento é mantida constante a força, variando a distância entre a

ponta da sonda e a amostra, por acção do ciclo de “feedback”.

- *Modo de deflexão variável.* A deflexão da viga é medida continuamente, sem recorrer a qualquer controlo. Não necessita por isso de “feedback”.

- *Modo de gradiente de força constante.* A viga é sujeita a uma vibração próxima da sua frequência de ressonância f_0 . Por outro lado $f_0 \propto c_{\text{eff}}$ e $c_{\text{eff}} = c - \partial F / \partial z$ (c é a constante de elasticidade da viga), F é a força e c_{eff} a constante de elasticidade efectiva. Se f_0 for constante, obtêm-se linhas de varrimento com gradiente de força constante. Este é o modo de funcionamento mais comum do AFM com detecção óptica.

- *Modos espectroscópicos.* Não estão tão desenvolvidos como os do STM. Baseiam-se na dependência da força com a distância.

O AFM pode funcionar em dois modos de interacção: modo de contacto e modo de não-contacto. No primeiro caso, a interacção entre a sonda e a amostra é feita ao nível atômico. O tipo de forças que produzem interacção neste modo são forças de fricção, adesão metálica, etc. No modo de não-contacto, a intensidade das interacções é muito menor e como as distâncias entre a ponta da sonda e a amostra são grandes, as interacções sonda-átomo são muito menos importantes, prevalecendo as interacções entre muitas partículas.

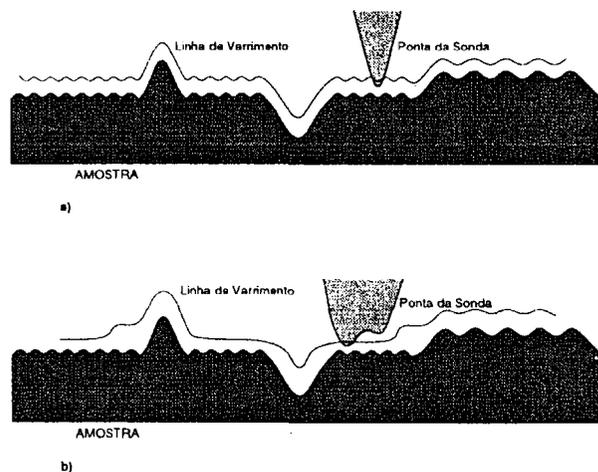


Fig. 4 — Interação entre a ponta da sonda da viga e a superfície da amostra, num AFM. A forma da extremidade da ponta da sonda influencia o varrimento, podendo reduzir a resolução.

3.2. Formação e processamento das imagens SPM

As imagens SPM, independentemente da sua origem, são constituídas, na sua forma mais básica, pelas sequências de sinais das linhas de varrimento segundo uma dada direcção, da ponta da sonda sobre a amostra. A necessidade de proceder ao seu armazenamento electrónico, para observação e/ou processamento posterior, implica a digi-

talização destas linhas [14]. O processo de digitalização faz-se por intermédio de uma placa de aquisição de dados. Deste modo, é possível observar, em tempo real, a formação da imagem, seja topográfica, espectroscópica ou de outra natureza (ver Figs. 1 e 3).

As imagens digitalizadas são armazenadas no disco do computador, num formato digital adequado, para processamento posterior, ou simples visualização. Frequentemente há necessidade de filtrar as imagens para reduzir o ruído, detectar contornos, ou reforçar detalhes que tenham particular interesse.

O formato da imagem digitalizada deve permitir a execução de cópias e a manipulação numérica da imagem¹. É frequente representar as imagens SPM em escala de cinzentos ou de tons de cor, associadas às intensidades do sinal em cada pixel, ou em representações tri-dimensionais (Fig. 5).

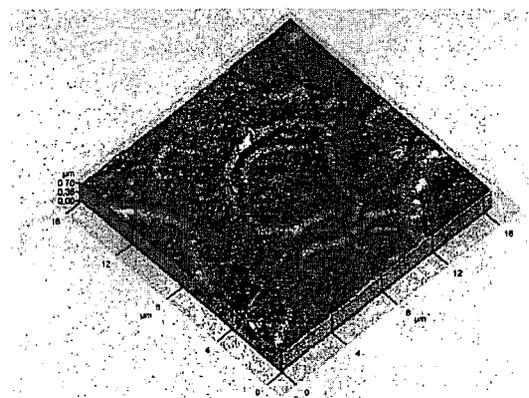


Fig. 5 — Imagem topográfica de cadeias poliméricas de um filme de material electroluminescente, obtida à pressão atmosférica e temperatura ambiente, com um AFM da Park Scientific Instruments (16 μm × 16 μm). Cortesia da CRIOLAB.

O processamento das imagens pode ser feito eventualmente num computador diferente daquele em que foram adquiridas, com “software” específico. Nas Figs. 6 e 7 apresentam-se as imagens original e processada numericamente de um circuito integrado.

4. Microscopia de Varrimento por Sonda (SPM)

4.1. Outros tipos de microscópios de varrimento

Desde 1986, novos tipos de microscopia de varrimento foram sendo desenvolvidos baseados nas forças atómicas, na corrente de túnel, ou ainda em outros fenómenos físicos microscópicos.

Esta nova geração de microscópios não só alargou o espectro de aplicações do AFM e STM como proporcio-



Fig. 6 — Imagem AFM topográfica de um circuito integrado ASIC desenvolvido pelo INESC, obtida no ar, com um AFM da Park Scientific Instruments (90 μm × 90 μm). Cortesia da CRIOLAB.

nou a investigação não destrutiva em superfícies (adsorção atómica de moléculas monocamadas, detecção de defeitos em alta resolução, imagiologia de macro-moléculas e células, estudo de impactos e implantação iónica, materiais supercondutores, etc) e a modificação local (nano-litografia, manipulação atómica e molecular, gravação em alta densidade, modificação de filmes orgânicos, entre outros).

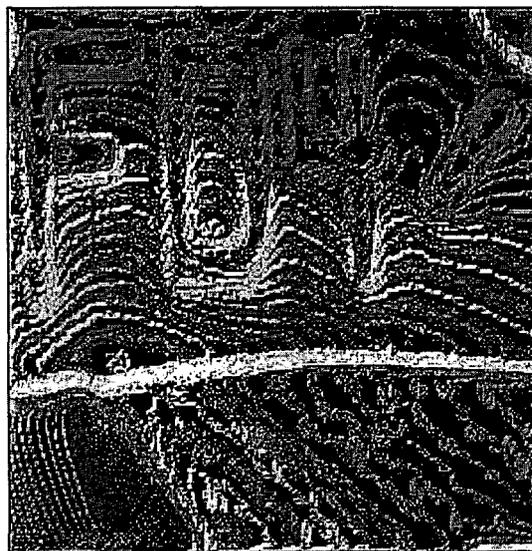


Fig. 7 — Imagem da figura anterior, após detecção de contornos e equalização de histograma. A detecção de contornos permite realçar o enrugamento da superfície, degraus ou regiões menos lisas.

¹ As imagens apresentadas neste artigo foram armazenadas em formato TIFF e depois convertidas em PostScript, de modo a serem incorporadas no texto.

Entre os microscópios SPM, para além do AFM e STM, os de maior expansão são os seguintes:

- *Microscópio de Força Lateral / Microscópio de Força de Fricção. (Lateral Force Microscope ou LFM / Friction Force Microscope ou FFM)*. O LFM é um AFM modificado, funcionando como detector de força lateral [15, 16]. A força lateral tem como componentes a força de fricção entre a sonda e a superfície da amostra e a componente lateral da força de reacção normal. Estas forças produzem torções na viga do microscópio (cantilever), provocando variações de intensidade luminosa nos segmentos do fotodetector. As diferenças relativas entre a intensidade de luz reflectida nos quatro sensores permitem separar a componente lateral da componente normal (imagem topográfica) e determinar o valor da força lateral. A associação da força lateral à fricção faz do LFM/FFM o microscópio mais usado no estudo de filmes lubrificantes, rugosidade e defeitos da superfície e fricção.

- *Microscópio de Força Magnética. (Magnetic Force Microscope ou MFM)*. O MFM é um dos SPM's mais usados. O funcionamento é semelhante ao do AFM, mas a sonda é magnetizável. O tipo de interacção predominante é a magnética, dado que o MFM funciona em modo de não-contacto, pelo que as outras interacções são relativamente pouco importantes (a distância à amostra é superior a 10 nm) [12]. A sonda pode ser construída por erosão electroquímica, de um material ferromagnético, ou por microfabricação, depositando um filme de Ni, Co ou Permalloy sobre uma sonda não magnética (Si).

O varrimento da sonda sobre um material magnético faz intervir forças magnéticas atractivas e repulsivas, deflectindo a viga diferentemente, consoante a orientação dos domínios magnéticos do material.

As resoluções podem atingir 10 a 100 nm, o que faz do MFM o método mais poderoso de imagiologia local de materiais magnéticos.

- *Microscópio Óptico de Varrimento de Campo Próximo. (Scanning Near-Field Optical Microscope ou SNOM)*. O SNOM é significativamente diferente do AFM, embora tenha um mecanismo de funcionamento semelhante. A sonda do SNOM é um fibra óptica, com uma pequena abertura na extremidade, funcionando como antena óptica. O SNOM pode ser, por isso, considerado um microscópio óptico, conseguindo porém resoluções muito superiores aos microscópios tradicionais.

Num microscópio óptico, o limite de resolução é de meio comprimento de onda da radiação $\sim \lambda/2$, imposto pela difracção. Para a radiação visível, este valor é $\sim 200 \mu\text{m}$. Porém, é possível medir a radiação transmitida através de uma fenda de dimensão inferior ao comprimento de onda, na proximidade da fenda [17, 18]. A radiação detectada não é propagada, mas sim evanescente, e portanto, só existe a curta distância da abertura. Se se fizer passar a radiação através de um filme, pode-se

obter uma imagem do filme. O SNOM baseia-se neste princípio.

Se se aproximar uma fibra óptica de pequena abertura ($< \lambda$), a uma distância suficientemente pequena, pode-se captar uma quantidade de energia susceptível de ser medida por um fotomultiplicador [17]. Quanto menor for a abertura da fibra (sonda), maior será a resolução alcançada. Há, contudo, duas limitações: a potência transmitida decai exponencialmente com a redução do diâmetro da fibra e a profundidade de penetração da radiação é limitada. Por essa razão, o limite da resolução do SNOM é, aproximadamente, 10 nm.

O SNOM pode, no entanto, usar outros tipos de sondas e funcionar em modo de transmissão ou reflexão [12, 17]. O controlo da distância à amostra analisada pode fazer-se por Regulação da Distância de Túnel (*Tunnel Distance Regulation, ou TDR*), usando uma sonda de transmissão óptica com uma sonda STM incorporada na sua extremidade [19].

4.2. Aplicações

Entre as grandes aplicações da Microscopia de Varrimento por Sonda, destacam-se: a nano-fabricação de componentes electrónicos e biológicos [12, 7], a nano-litografia, a gravação de grande densidade, a detecção de nano-defeitos, a observação de domínios magnéticos e vórtices em supercondutores, o crescimento de filmes em superfícies, a distribuição de temperatura em circuitos integrados em funcionamento, entre muitas outras.

5. Conclusões

Desde o aparecimento do STM, um novo campo de técnicas de análise nanoscópica surgiu, revelando um enorme potencial analítico, nunca alcançados por outras técnicas.

A importância industrial da nano-engenharia dá às técnicas de SPM uma grande relevância, dadas as suas potencialidades para modificar e manipular, de modo controlado, átomos e moléculas simples, por exemplo.

Além disso, os métodos SPM têm um carácter interdisciplinar, possibilitando a utilização em múltiplos campos, entre as quais a Física de Superfícies, a Biologia Molecular, a Electroquímica, Nano-Electrónica bem como Catálise Química.

Agradecimentos

As imagens apresentadas neste artigo foram obtidas com um AFM da Park Scientific Instruments (PSI), num "Workshop" organizado pela firma Criolab na cidade do Porto.

Os autores expressam o seu agradecimento ao Prof. Luis Alcácer, pela amostra cedida, às firmas Criolab e PSI pela utilização do AFM e pelo apoio prestado, e ao Prof. Augusto Moutinho pelo seu empenho em apoiar a investigação em superfícies. Este trabalho foi subsidiado pela JNICT, através do projecto "Microscopia Atómica", PBIC/C/CEN/1037/92.

REFERENCIAS

- [1] BINNIG, G. and ROHRER, H. — *Scanning tunneling microscopy*, IBM J. Res. Develop., **30**, 355-369 (1986).
- [2] GOMER, R. — *Possible mechanisms of atom transfer in scanning tunneling microscopy*, IBM J. Res. Develop., **30**, 428-430 (1986).
- [3] BINNIG, G.; QUATE, C. F. and GERBER, Ch. — *Atomic force microscope*, Phys. Rev. Letters, **56**, 930-933 (1986).
- [4] ABRAHAM, D. W.; MANIN, H. J.; GANZ, E. and CLARKE, J. — *Surface modification with the scanning tunneling microscope*, IBM J. Res. Develop., **30**, 492-499 (1986).
- [5] BHUSHAM, B.; KOINKAR, V. N. and RUAN, J. A. — *Microtribology of magnetic media*, In Proc. Instn. Mech. Engrs. part J: J. Eng. Tribology, **208**, 17-29 (1994).
- [6] RUGAR, D.; MANIN, H. J.; GUENTHNER, P.; LAMBERT, S. E.; STERN, J. E. and MCFADYEN, I. — *Magnetic force microscopy: General principles and application to longitudinal recording media*, J. Appl. Phys. **68**, 1169-1183 (1990).
- [7] FUJIHARA, M. — *Directions for the Nineties*, vol. 1 of *Organic Thin Films and Surfaces*, chapter Photoinduced Electron Transfer in Monolayer Assemblies and its Applications to Artificial Photosynthesis and Molecular Devices, 2-44, Academic Press (1994).
- [8] GUNTHERODT, H. J. and WIESENDANGER, R. — *Scanning Tunneling Microscopy I*. Springer (1992).
- [9] POHL, D. W. — *Some design criteria in scanning tunneling microscopy*, IBM J. Res. Develop., **30**, 460-465 (1986).
- [10] FINK, H. W. — *Mono-atomic tips for scanning tunneling microscopy*, IBM J. Res. Develop., **30**, 460-465 (1986).
- [11] WIESENDANGER, R. and GUNTHERODT, H. J. — *Scanning Tunneling Microscopy II*. Springer (1992).
- [12] STROSCIO, J. A. and EIGLER, D. M. — *Atomic and molecular manipulation with the scanning tunneling microscope automation*, IBM J. Res. Develop., **30**, 525-532 (1986).
- [15] MATE, C. M.; MCCLELLAND, G. M.; ERLANDSSON, R. and CHIANG, S. — *Atomic-scale friction of a tungsten tip on a graphite surface*, Phys. Rev. Lett. **59**, 1942-1945 (1987).
- [16] FUJISAWA, S.; SUGAWARA, Y. and MORITA, S. — *Origins of forces measured by atomic force/lateral force microscope*, Microbeam Analysis, **2**, 311-316 (1993).
- [17] DURIG, U.; POHL, D. W. and ROHER, F. — *Near-field optical scanning microscopy*, J. Appl. Phys. **59**, 3318-3327 (1986).
- [18] BETZIG, E. and TRAUTMAN, J. K. — *Near-field optics: Microscopy, spectroscopy and surface modification beyond the diffraction limit*, Science, **257**, 189-195 (1992).
- [19] DURIG, U.; POHL, D. W. and ROHER, F. — *Near-field optical scanning microscopy with tunnel-distance regulation*, IBM J. Res. Develop., **30**, 478-483 (1986).

M. R. Gonçalves, J. H. F. Ribeiro, P. L. Vieira e R. F. M. Lobo são investigadores do Grupo de Nano-Engenharia do Dep. Física, FCT/UNL, Quinta Torre, 2825 Monte de Caparica, Portugal.
E-mail: nanoeng@ideiafix.fct.uni.pt

ACÇÕES DE APOIO ÀS ESCOLAS DO ENSINO SECUNDÁRIO

Utilização e rentabilização de equipamento laboratorial

Na sequência de um anúncio anterior (*Gaz. Fis.* Março 95, pág. 25), a Delegação Norte da SPF foi contactada por algumas escolas do Ensino Secundário para realizar acções de apoio nesta área. Na consequência destes contactos, foram já realizadas acções na Escola Secundária de Filipa de Vilhena (nos dias 13 e 14 de Julho), Escola Secundária de Canidelo (nos dias 19 e 21) e na Escola Secundária de Ilhavo (no dia 20), pelo Doutor Manuel de Barros.

Transcreve-se em seguida, para conhecimento dos leitores da Gazeta, um relatório que nos foi recentemente enviado.

"Do que observei, e daquilo que os colegas do ensino secundário me contaram pude concluir que o apetrechamento em material de laboratório - quer para demonstrações quer para a realização de trabalhos pelos alunos - é em muitos casos satisfatório. Dadas as boas notícias, vamos agora às más: o material aparece, regra geral, sem ninguém dizer "água vai", vindo não se sabe de onde, e apenas acompanhado de uma guia de remessa da transportadora. Compreensivelmente, os fornecedores preferem fazer expedições conjuntas. No entanto, para quem recebe, muitas vezes não conhecendo antecipadamente o material, verificar se uma determinada experiência está ou não completa pode ser muito difícil. (Vi por exemplo um caso de um carril de ar onde faltavam os contadores de tempo). Aparentemente não existe grande controlo sobre as condições em que material é recebido, antes de o respectivo pagamento ser efectuado. Talvez, por isso, eventuais reclamações efectuadas directamente aos fornecedores não costumam ser bem recebidas. Reclamações efectuadas ao Ministério da Educação tornam-se difíceis por não se saber a quem as endereçar. Tudo isto se repete no caso de avarias e, não tenhamos dúvidas, o resultado é ao fim de algum tempo, um acumular de material avariado e portanto inútil. Um outro aspecto é a falta de instruções em português. Mas se elas faltam, mesmo em inglês, como resolver o problema?

E, para acabar, um pedido: os Departamentos de Física das Universidades não poderiam ser também contemplados com esta chuva de material didáctico? É que comparado (falo obviamente do Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, mas suponho que os outros não estarão muito melhor) com o que vi no Ensino Secundário estamos em situação de verdadeira indigência. Peço desculpa àquele Secretário de Estado que há tempos disse mais ou menos isto, e de quem na altura duvidei."

Manuel de Barros
Dep. Física, Fac. Ciências U. Porto

A INTERNET: UMA REVOLUÇÃO NAS COMUNICAÇÕES E NO ACESSO À INFORMÁTICA

Há poucos anos, apenas um reduzido número de pessoas falava na INTERNET. Hoje, todas as semanas surgem notícias nos jornais sobre a INTERNET. A INTERNET é uma rede de redes de computadores, comunicando entre si através de um protocolo standard. Praticamente, qualquer computador pode ser ligado à INTERNET. Através da rede é possível enviar e receber mensagens («correio electrónico»), ter acesso a computadores distantes, enviar ou receber ficheiros, ter acesso a bibliotecas, exposições, bancos de dados, jornais electrónicos, livros, etc., fazer compras, e muitas outras actividades que só agora se estão a desenvolver.

A forma mais fácil de «navegar» na INTERNET é através de um «browser», um programa que funciona por ligações de hipertexto («sublinhados» nas figuras junto). As «regras» desses programas foram desenvolvidas no CERN, em Genebra. O melhor destes «browsers» é o NETSCAPE que, tal como os restantes, pode ser obtido gratuitamente na própria rede.

1995 foi o ano em que a INTERNET passou para o «grande público». Para quem não está ligado a nenhuma universidade, pode obter a ligação através do PUUG (Grupo Português de Utilizadores de Unix) ou da TELEPAC (tel. 01-7907000). A assinatura mensal custa cerca de 3000 escudos. Além desta despesa, há a considerar o custo das ligações telefónicas. Um utilizador «normal» pode gastar entre 5 a 10 mil escudos por mês.

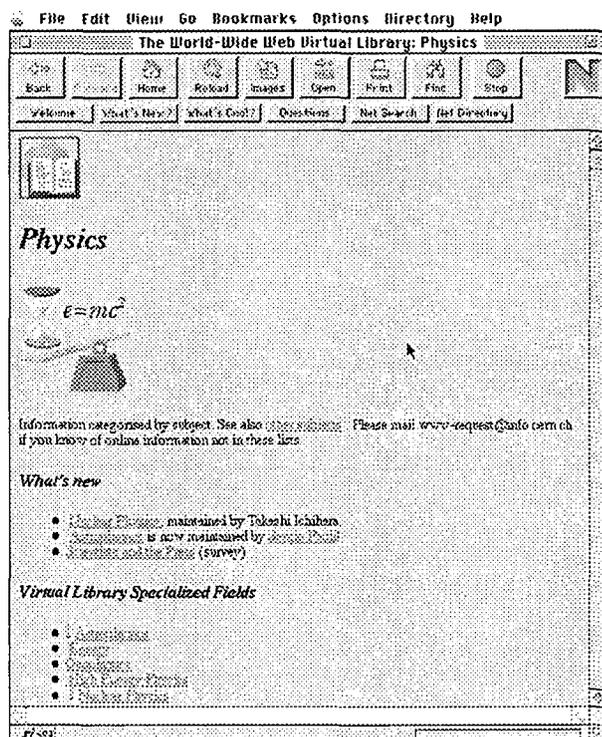
Nesta e nas páginas seguintes apresentam-se diversos serviços disponíveis na INTERNET e que podem ter interesse para professores e investigadores em Física. Se pretender a lista de endereços desses e de outros serviços pode solicitá-la enviando uma mensagem para o endereço abaixo indicado.

A secção «Aprender Física... com o computador» é coordenada por Vitor Duarte Teodoro e está aberta à colaboração de todos os leitores da Gazeta. Qualquer contribuição, que não deverá exceder duas páginas da revista, poderá ser enviada para:

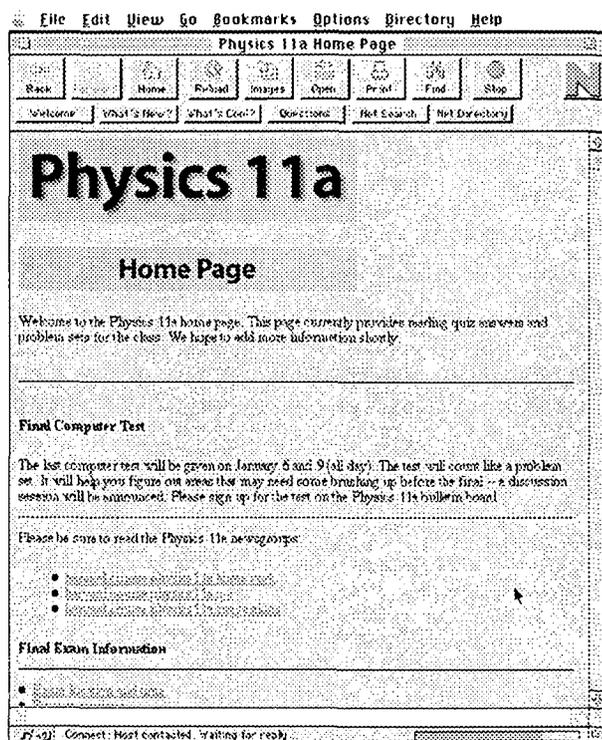
Vitor Duarte Teodoro
Faculdade de Ciências e Tecnologia (UNL)
2825 Monte de Caparica

Para entrar em contacto com o coordenador da secção, pode escrever para a morada acima indicada, utilizar o fax (01-2941005), o tel. (01-2954464, ext. 0410), ou preferencialmente, o correio electrónico (vdt@mail.fct.unl.pt.)

Todos os artigos não assinados são da responsabilidade do coordenador.

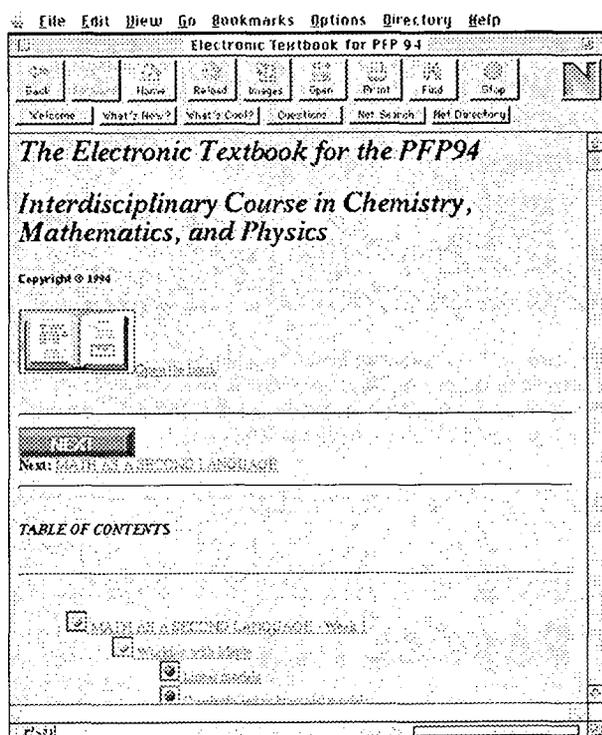


A «página-mãe» («home page») das páginas referentes a Física. Através desta página pode aceder-se a milhares de recursos e informações sobre Física e sobre a actividade científica em geral.



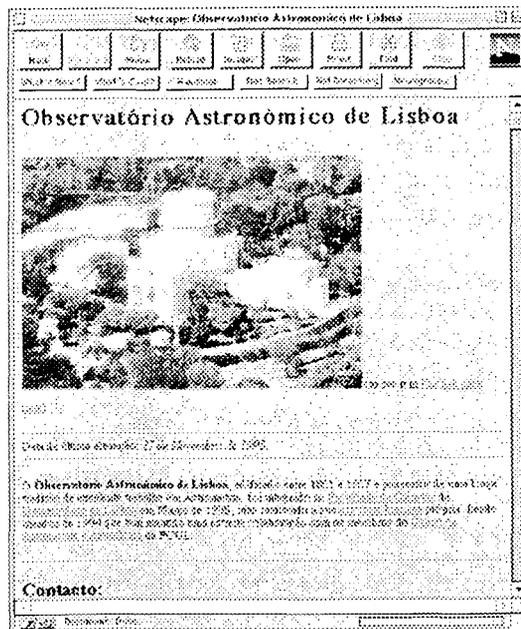
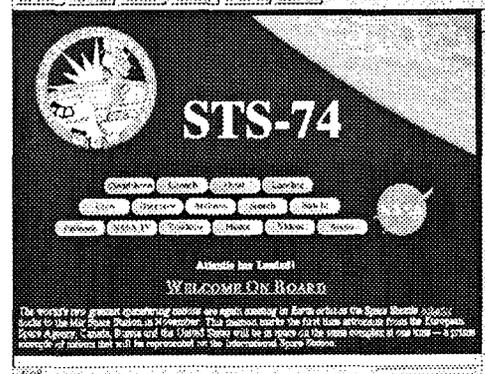
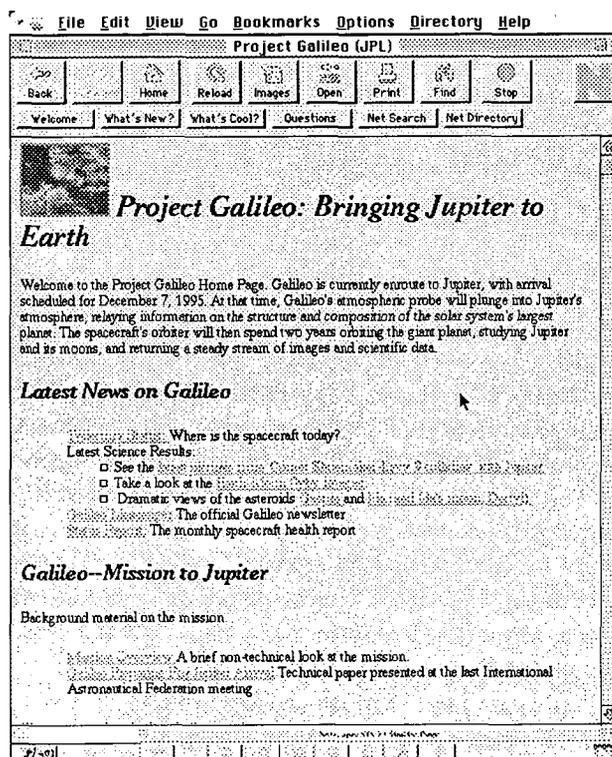
Em cima: a «home page» de uma cadeira do 1.º ano do Departamento de Física da Universidade de Harvard. Textos das aulas, testes e outros documentos estão acessíveis para os alunos, onde quer que se encontrem... incluindo em Portugal!

À direita: A NASA, e outras instituições, disponibilizam imensa informação astronómica através da INTERNET. A informação é permanentemente actualizada. Por exemplo, foi possível obter as imagens da colisão do cometa Shoemaker-Levy com Júpiter... meia hora depois de terem sido obtidas! Há diversas páginas criadas pela NASA dirigidas especialmente a escolas básicas e secundárias e a «curiosos» de astronomia.



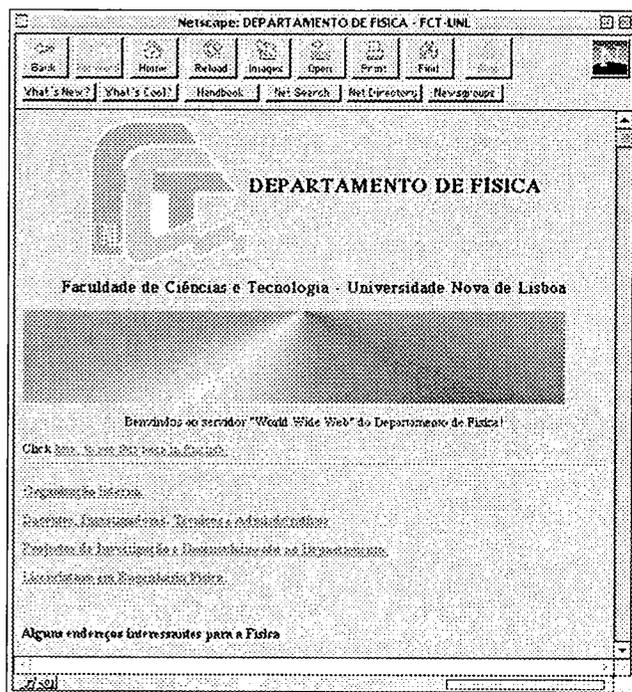
Em cima: um livro electrónico acessível através da INTERNET. Espera-se que dentro de poucos anos estejam acessíveis milhares de livros interactivos com características multimédia.

À direita: o Observatório Astronómico de Lisboa, recentemente integrado na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, também tem informação disponível na INTERNET.



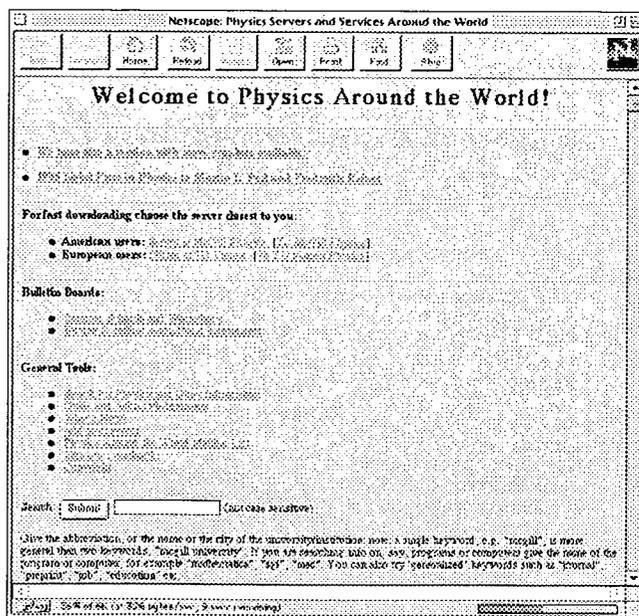
À direita: a «home page» do Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL.

É cada vez maior o número de instituições que possuem «home pages» na INTERNET, onde divulgam aspectos relacionados com as actividades académicas e científicas — desde calendários de actividades até inscrições e outros actos administrativos, passando pela difusão de relatórios internos e artigos.

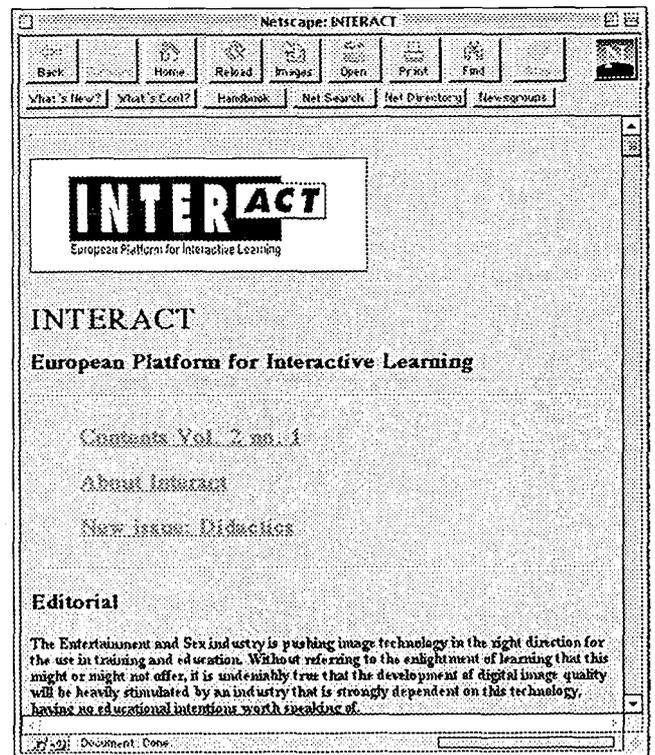
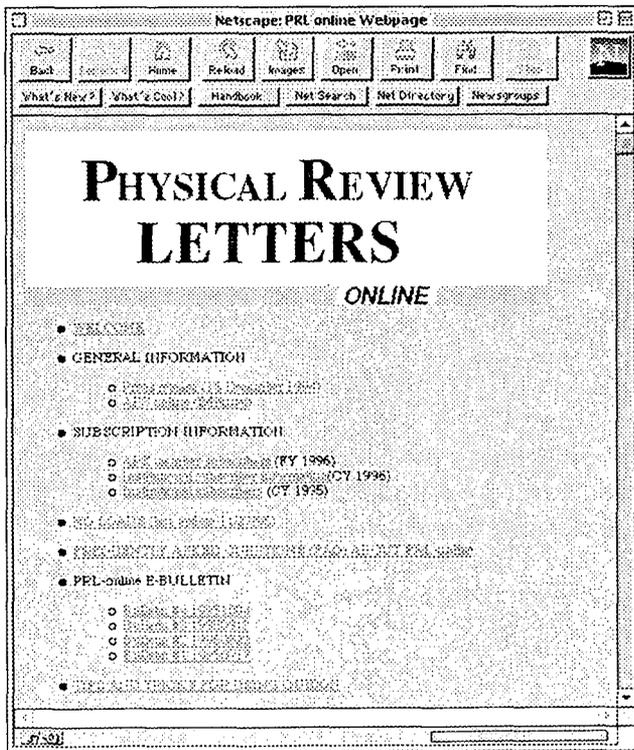


À direita: outro exemplo de utilização de bases de dados remotas. Nesta página, é possível pesquisar recursos e serviços para Física.

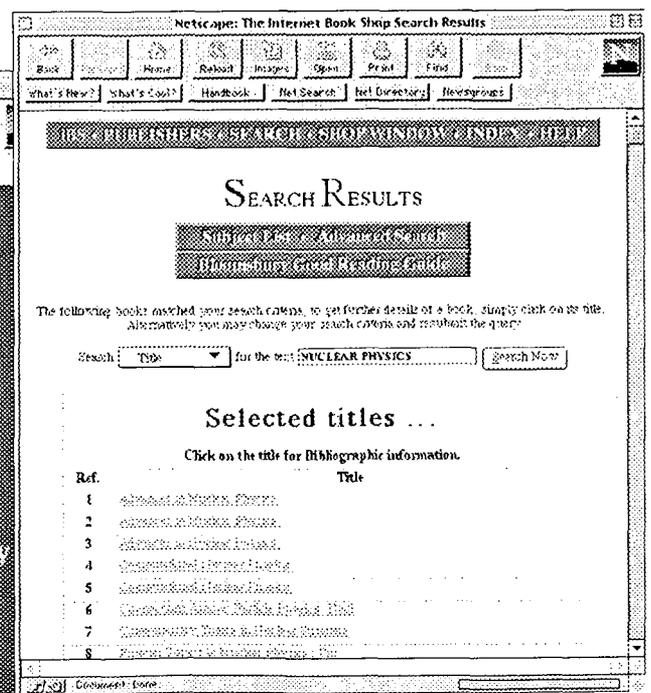
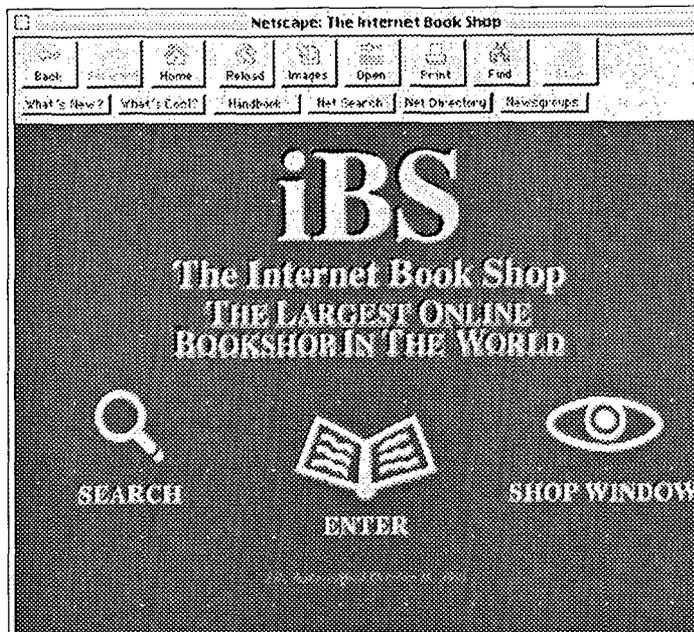
À esquerda: uma página que permite a consulta ao catálogo de duas bibliotecas simultaneamente (na Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL). A consulta de bases de dados remotas é uma das principais utilizações das redes de computadores.



À direita e em baixo: duas revistas científicas acessíveis através da INTERNET. Tudo indica que nos próximos anos vamos assistir à transformação das revistas científicas em revistas «on-line». Por enquanto, a maioria das revistas existente na rede são gratuitas... o que não deverá continuar por muito tempo. Para aceder a uma revista, será então necessário subscrevê-la em primeiro lugar, o que pode ser feito «on-line», incluindo o pagamento da assinatura.



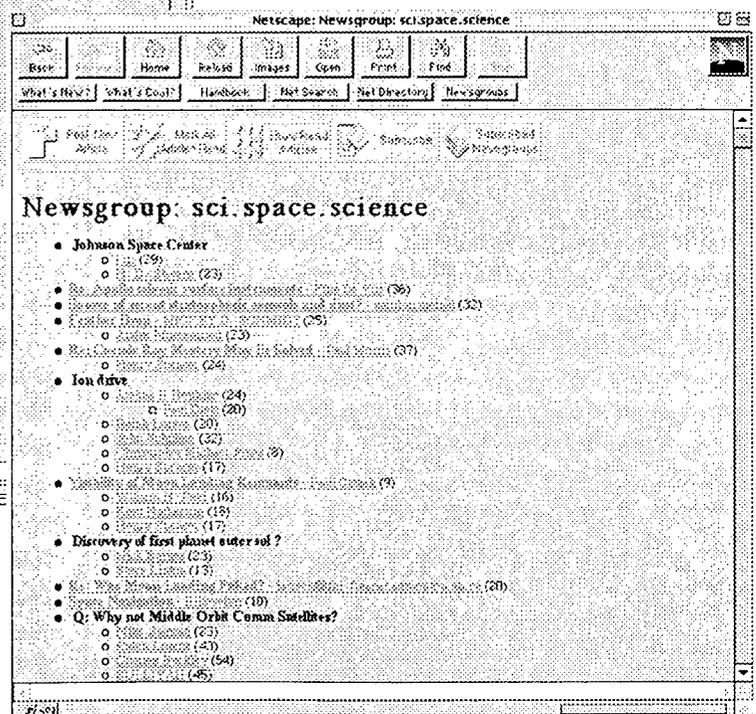
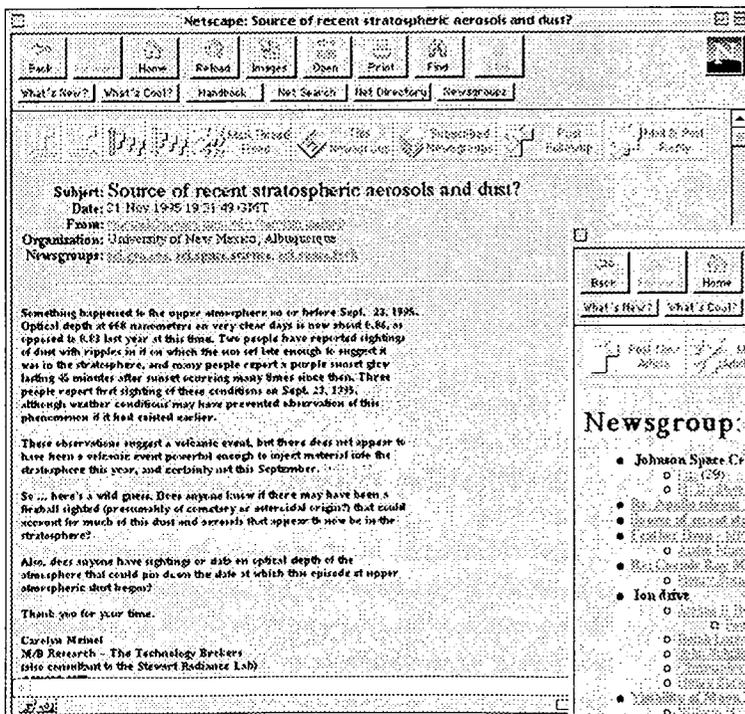
Em baixo: a aquisição de livros, CDs, CD-ROMs, software, equipamento didáctico e científico, etc. (neste «etc.» inclui-se desde pizzas até viagens...) é outra actividade «on-line» em crescimento exponencial. Nestas imagens mostra-se a «home page» de uma das maiores livrarias «on-line» bem como a pesquisa de títulos sobre «nuclear physics».



À direita: a «home page» do EXPLORATORIUM de São Francisco, na Califórnia.

O Exploratorium, tal como muitos outros museus de Ciência, tem diversos serviços na INTERNET — desde visitas virtuais até possibilidade de interagir com investigadores associados, passando pela aquisição de produtos, pela preparação de visitas, pelo fornecimento de software, de imagens, de fichas de trabalho, etc.

Em baixo: uma página e uma mensagem num «newsgroup» de Física. Um «newsgroup» é um repositório de mensagens sobre um determinado tema: pode enviar-se mensagens para o «newsgroup», ler mensagens, ou responder às mensagens. Alguns «newsgroups» mantêm discussões muito participadas.



ETAPA NACIONAL 1995

Realizaram-se nos dias 22, 23 e 24 de Junho, no Departamento de Física da Universidade de Coimbra, as provas das Olimpíadas Nacionais de Física de 1995. Neste acontecimento, dinamizado pela Delegação Regional do Centro da Sociedade Portuguesa de Física e pela Comissão Nacional das Olimpíadas, participaram estudantes de todo o país, vencedores das Olimpíadas Regionais nas regiões Norte, Centro e Sul e Ilhas. Para além da realização das provas teórico-experimentais, tiveram lugar actividades destinadas a fomentar o contacto dos estudantes com a Física e a promover o intercâmbio entre estudantes de diversas escolas do país.

Assim, no dia 23 da parte da tarde foi oferecida aos participantes uma visita às ruínas de Conímbriga e ao castelo de Montemor-o-Velho. No dia seguinte foram efectuadas visitas guiadas aos diferentes grupos de investigação do Departamento de Física.

Os vencedores destas Olimpíadas Nacionais de Física foram:

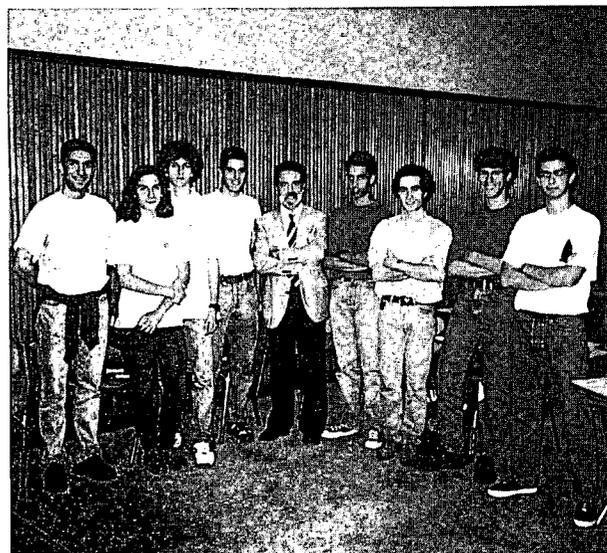
— No escalão A (9.º e 10.º ano): a equipa da Escola Secundária de Santo André, constituída pelos alunos Ndilokelwa Luís, Francisco Cortez e Marco Milharada.

— No escalão B (11.º ano): o 1.º classificado foi Vítor Manuel Pereira da Esc. Secundária da Maia; o 2.º classificado, Nuno Miguel Lobo Matela da Esc. Secundária Dr. Manuel Fernandes, Abrantes; o 3.º classificado, Marcus Vinicius Sobral Dhalem do Colégio Internato dos Carvalhos; em 4.º lugar, ex-aequo, ficaram Filipe Tiago Ferreira Tavares da Esc. Secundária José Macedo Fragateiro de Ovar, Jorge Tiago Almeida Paramos da Esc. Secundária Josefa de Óbidos de Lisboa, José Luís Magalhães Lima, do Colégio Internato dos Carvalhos, Pedro Miguel Reis, da Esc. Secundária Alves Martins de Viseu e Rodrigo Aguiar de C. Magalhães Quintas da Esc. Secundária da Maia. De entre estes oito alunos apurados no Escalão B, serão seleccionados, no presente ano lectivo, os cinco participantes portugueses nas Olimpíadas Internacionais de Física de 1996, que decorrerão na Noruega.

A secção *Olimpíadas de Física* é coordenada por Manuel Fiolhais e Adriano Lima. O contacto com os coordenadores poderá ser feito para o Departamento de Física, Universidade de Coimbra, 3000 Coimbra, pelo tel. 039-410615, fax 039-29158 ou e-mail tmanuel@hydra.ci.uc.pt. Agradece-se a colaboração de João Paiva na preparação da secção para este número da Gazeta.

Integrada na sessão de encerramento foi proferida uma palestra sobre “Nanotecnologia e o Futuro da Física”, pelo Prof. Carlos Fiolhais. A SPF agradece a este professor bem como a todos os docentes e funcionários do Departamento de Física da Universidade toda a colaboração prestada para a realização da edição de 1995 das Olimpíadas Nacionais. Um agradecimento especial é devido à Comissão Executiva do Departamento de Física pelo apoio logístico que foi prestado. Terminada a cerimónia de encerramento, seguiu-se um almoço de convívio.

Os enunciados das provas da Olimpíada Nacional serão publicados no próximo número da Gazeta, nesta secção.



O Secretário-Geral da SPF (ao centro) rodeado pelos oito alunos vencedores das Olimpíadas Nacionais de Física 1995

OLIMPIÁDA INTERNACIONAL 1995

Em Julho passado, Portugal esteve representado na Olimpíada Internacional de Física (*International Physics Olympiad — IPhO*). A XXVI IPhO decorreu em Camberra, na Austrália, e a delegação portuguesa foi constituída pelos estudantes João Manuel Queirós Oliveira Baptista, da Escola Secundária Dr. Manuel Fernandes, Abrantes; João Pedro Piroto Duarte, da Escola Secundária José Estêvão, Aveiro; João de Medina Prata Pinheiro, da Escola Secundária António Sérgio, Vila Nova de Gaia; Rui Davide Martins Travasso, da Escola Secundária Camilo Castelo Branco, Vila Nova de

Famalicão; Cláudio Manuel Neves Valente, da Escola Secundária Maria Lamas, Torres Novas. Integravam ainda a delegação os "team leaders" Profs. Manuel Fiolhais e Adriano Lima, membros da Comissão Nacional das Olimpíadas de Física.

Nesta Olimpíada Internacional participaram 51 representações nacionais, o que passou a constituir um máximo de presenças. O número de países participantes tem crescido sobretudo desde há dez anos, quando a IPhO perdeu a conotação que tinha com os países de leste.

Como habitualmente, a prova foi composta por três questões teóricas e duas experimentais. A China obteve o primeiro lugar (os estudantes chineses ficaram, individualmente, nos primeiro, segundo, quinto, sexto e décimo-segundo lugares), seguida dos Estados Unidos e do Irão. Os melhores países europeus foram a Alemanha, em sexto lugar, e o Reino Unido, em sétimo. O Vietname e a Coreia do Sul foram, respectivamente, os quarto e quinto classificados, substituindo nesses lugares países do leste da Europa que tradicionalmente ocupavam lugares cimeiros.

De entre um total de 250 participantes, os lugares obtidas pelos nossos representantes foram os seguintes: 198, 202 (dois estudantes), 213 e 240. Estas posições estão aquém daquilo que se podia esperar, tendo em conta o facto se ter efectuado uma preparação dos estudantes com vista à sua participação na IPhO. Essa preparação procurou suprir o desajuste existente entre as matérias actualmente leccionadas no nosso sistema de ensino e o programa mais vasto da IPhO. Dado que os resultados das provas específicas de acesso ao ensino superior obtidos pelos alunos das olimpíadas se situam no topo da lista nacional, temos de admitir que o processo de selecção foi apropriado. Uma análise das respostas dos alunos nas provas das Olimpíadas revela que, embora compreendendo as questões, eles falharam sobretudo porque lhes faltou persistência na busca da resposta final. Há uma diferença abissal entre o que se passa nas avaliações no nosso sistema de ensino, em que cada problema é estruturado em questões por ordem crescente de dificuldade, e o que se passa na IPhO, em que é apresentado o problema numa forma final, tendo o aluno que inferir todos os passos necessários à sua resolução. A metodologia seguida na Olimpíada Internacional de Física compreende-se no quadro de uma competição entre alunos excelentes de um grande número de países, sendo necessário utilizar critérios de seriação extremamente selectivos. Na generalidade, os países ibero-americanos tiveram uma prestação fraca (participam, além de Portugal e Espanha, o México, Cuba, Colômbia e Argentina), excepto a

Argentina que obteve uma menção honrosa por intermédio de um aluno que no ano passado já tinha estado presente na IPhO.

O programa académico da Olimpíada foi complementado por um programa de interesse científico-cultural, destacando-se visitas a Laboratórios de Investigação e ao Departamento de Física da Universidade de Camberra, a reservas naturais e à estação de rastreio de satélites de Tidbinbilla.



Os cinco alunos da equipa olimpica que participaram na 26.ª Olimpíada Internacional de Física, realizada em 1995, em Camberra, Austrália, acompanhados pelos Team Leaders.

Cumpra aqui referir a hospitalidade com que a delegação foi acolhida em representações diplomáticas de Portugal na Austrália. Assim, o Cônsul-Geral de Portugal em Sydney ofereceu uma recepção à delegação portuguesa no dia da sua chegada, em trânsito para Camberra. Estiveram presentes nesse encontro representantes da comunidade portuguesa em Sydney, designadamente professores, estudantes dos ensinos secundário e superior e ainda jornalistas. O Embaixador de Portugal em Camberra teve também a amabilidade de convidar a delegação portuguesa para um jantar na Embaixada.

É devido um agradecimento aos Profs. Pedro Alberto, Carlos Fiolhais e Carlos Lopes Gil, do Departamento de Física da Universidade de Coimbra, que colaboraram com os "team leaders" na curta preparação de três dias que teve lugar em Coimbra pouco antes da partida para a Austrália. Refira-se finalmente que ao professor do aluno português melhor classificado, Dr. José Manuel da Silva Morgado, da Esc. Sec. Maria Lamas, Torres Novas, foi oferecida uma visita de 3 dias ao CERN (Genebra, Suíça).

A próxima IPhO, a vigésima sétima, decorrerá de 30 de Junho a 7 de Julho, em Oslo, na Noruega.

RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DAS OLIMPIADAS INTERNACIONAIS DE FÍSICA

Problema n.º 1 — Calor de Vaporização do azoto

Enunciado em Gaz. Física 18, fasc. 1, p. 28 (1995)

Método 1

Verte-se azoto líquido (N_2) para o vaso que está colocado sobre a balança. Passado algum tempo mergulha-se o pedaço de alumínio, de massa m , no azoto líquido.

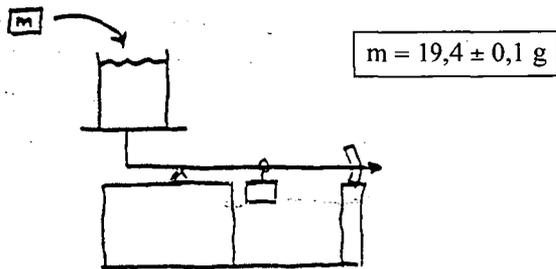


Fig. 1

A Tabela indica os valores obtidos para a massa total lida na balança e para o tempo decorrido desde a primeira medição (depois de se mergulhar o pedaço de alumínio, indica-se, entre parêntesis, o valor da massa só do N_2).

Massa (g)	Tempo (s)
153,0	0
152,0	36,8
151,0	79,1
150,0	120,7
149,0	160,5
148,0	203,1
(adição do Al)	
150,0 (139,6)	331,8
149,0 (129,6)	381,6
148,0 (128,6)	457,3
147,0 (127,6)	488,6
146,0 (126,6)	540,9
145,0 (125,6)	594,6

O gráfico permite concluir que a massa de azoto líquido decresce linearmente com o tempo. A quantidade de azoto líquido (ΔM) que vaporiza por adição do pedaço de alumínio pode ser obtido directamente do gráfico.

O fluxo de calor para o alumínio é dado por

$$Q = m \int_{77}^{293} c(T) dT,$$

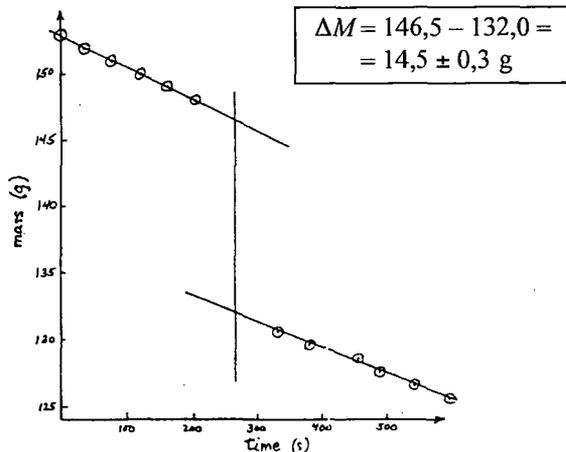


Fig. 2

que também é igual a

$$Q = L \Delta M,$$

sendo L (calor de vaporização do azoto por unidade de massa) a quantidade cujo valor se pretende determinar nesta experiência. O valor do integral pode ser encontrado pelo método das áreas (Fig. 3):

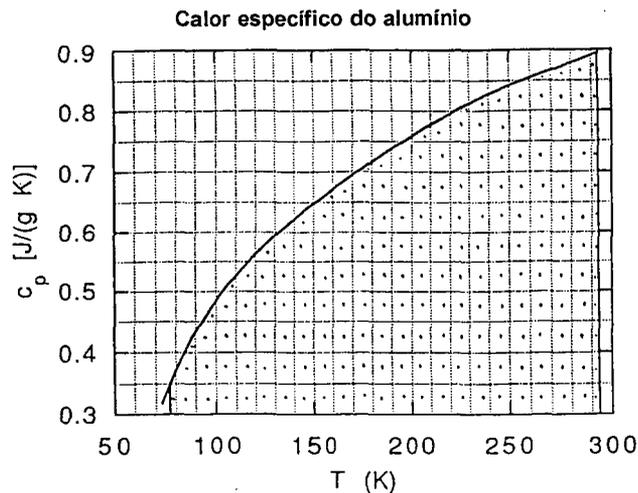


Fig. 3

Obtém-se

$$\int_{77}^{293} c(T) dT = 0,3 (293 - 77) + \text{área indicada} \approx 151 \pm 2 \text{ J/g},$$

pelo que

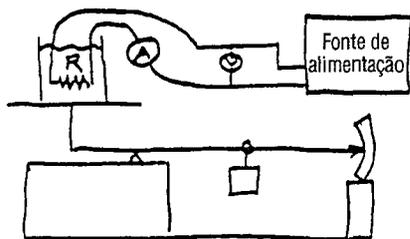
$$Q = 2930 \pm 42 \text{ J}.$$

Finalmente

$$L = \frac{Q}{\Delta M} = \frac{2930 \pm 42}{14,5 \pm 0,3} = 202 \pm 5 \text{ J/g}.$$

Método 2

Liga-se a resistência à fonte de alimentação; a resistência deve ficar submersa no azoto líquido como se mostra no diagrama



[Mediram-se $R = 23 \Omega$; $V = 12,7 \text{ V}$; $I = 0,56 \text{ A}$]

Fig. 4

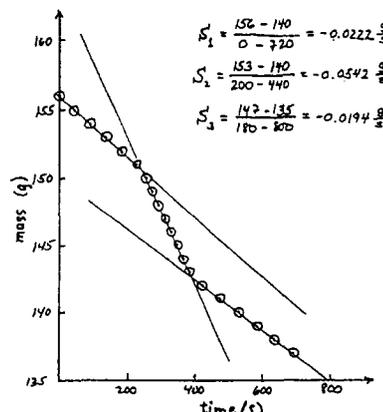
A Tabela indica os valores obtidos para a massa de N_2 lida na balança e o tempo decorrido desde a primeira medição; no primeiro e no terceiro grupos de medidas não há passagem de corrente na resistência R ($P = 0$). No segundo grupo passa corrente em R ($P \neq 0$).

	Massa (g)	Tempo (s)
P = 0	156,0	0
	155,0	45,2
	154,0	91,4
	153,0	136,2
	152,0	180,0
	151,0	227,2
P ≠ 0	150,0	253,6
	149,0	272,1
	148,0	290,1
	147,0	308,9
	146,0	327,2
	145,0	345,7
P = 0	144,0	364,1
	143,0	381,9
	142,0	422,3
	141,0	478,4
	140,0	531,2
	139,0	583,7
P = 0	138,0	634,6
	137,0	690,7

O declive quando $P \neq 0$ e o declive médio quando $P = 0$ são

$$S_{P \neq 0} = -0,054 \pm 0,001 \text{ g/s}$$

$$\langle S_{P=0} \rangle = -0,020 \pm 0,001 \text{ g/s}$$



[S_1 , S_2 e S_3 são os declives das rectas, i.e., são as variações de massa de azoto líquido ΔM por unidade de tempo Δt]

Fig. 5

A potência dissipada é

$$P = \left| \frac{Q}{\Delta t} \right| = L \left| \frac{\Delta M'}{\Delta t} \right|,$$

onde $\Delta M'$ é a variação de massa de azoto líquido devida unicamente à passagem de corrente na resistência. A potência dissipada pode ser obtida directamente a partir de R , V e I :

$$P = IV = 7,11 \text{ W}$$

$$P = I^2 R = 7,21 \text{ W}$$

$$P = 7,1 \pm 0,1 \text{ W}$$

$$P = V^2/R = 7,01 \text{ W}$$

Como

$$|\Delta M'/\Delta t| = 0,034 \pm 0,0014 \text{ J/s};$$

tem-se, finalmente,

$$L = \frac{P}{|\Delta M'/\Delta t|} = \frac{7,1 \pm 0,1}{0,034 \pm 0,0014} = 209 \pm 9 \text{ J/g}$$

CALENDÁRIO DAS OLIMPIADAS DE FÍSICA 1996

A fase regional das Olimpíadas de Física realiza-se no dia 4 de Maio de 1996 em Lisboa, Porto e Coimbra. A fase final, cuja organização está a cargo da Delegação Regional do Sul e Ilhas, realiza-se em Lisboa de 20 a 22 de Junho de 1996. Os oito melhores alunos no escalão B ficarão pré-seleccionados para participar nas Olimpíadas Internacionais de Física de 1997 que terão lugar em Sudbury, no Canadá.

Delegação Regional do Centro

ACÇÕES DE DIVULGAÇÃO

Realizaram-se durante o ano lectivo 1994/95 as seguintes acções de divulgação destinadas a alunos e professores do ensino secundário:

- «**A água, o ar e o levantar dos aviões**», pela Prof. Doutora Maria José Almeida, na Escola Secundária de Santa Comba Dão, em 13/3/95; na Escola Secundária de Figueiró dos Vinhos, em 14/3/95; na Escola C+S do Souto da Carpalhosa — Monte Real, em 4/5/95; e na Escola Secundária de Soure, em 23/5/95.
- «**A radioactividade e seus efeitos biológicos**», pelo Prof. Doutor Paulo Mendes, na Escola Secundária Francisco Rodrigues Lobo em Leiria, em 15/2/95; no Instituto N.ª S.ª da Encarnação na Benedita, em 16/2/95; e na Escola Secundária do Sabugal, em 9/3/95.
- «**Bases experimentais da Física Quântica**», pelo Prof. Doutor Adriano Pedroso de Lima, na Escola Secundária de José Estêvão em Aveiro, em 22/5/95.
- «**Campo electromagnético: origem e efeitos**», pela Prof. Doutora Lucília Brito, na Escola Secundária Domingos Sequeira de Leiria, em 6/3/95; e na Escola Secundária da Quinta das Flores em Coimbra, em 29/3/95.
- «**Como nascem, evoluem e se extinguem as estrelas**», pelo Prof. Doutor João da Providência, na Escola Secundária de Mangualde.
- «**Física da cõr**», pelo Prof. Doutor Luiz Alte da Veiga, na Escola Preparatória de Oliveira do Bairro, em 21/4/95; na Escola Secundária do Fundão, em 2/5/95; e na Escola Secundária Afonso de Albuquerque da Guarda, em 3/5/95.
- «**Nós e o Universo**», pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais, na Escola Secundária do Pinhal do Rei na Marinha Grande, na Escola C+S Dr. Correia Mateus de Leiria e na Escola C+S do Souto da Carpalhosa, Monte Real, em 1/6/95; na Escola Secundária de Montemor-o-Velho, em 8/6/95; na Escola Secundária da Tocha, em 14/6/95; na Escola Secundária de Vouzela e na Escola C+S de Abraveses, Viseu, em 16/6/95; e na Escola Secundária de Nelas, em 28/6/95.
- «**O mar, as ondas, o som e a luz**», pela Prof. Doutora Maria José Almeida, na Escola Secundária Emídio Navarro de Viseu, em 8/11/94; na Escola Secundária da Sé em Lamego, em 7/3/95; na Escola Secundária de Santa Comba Dão, em 13/3/95; na Escola Secundária de Peniche, em 28/3/95; na Escola C+S D. Dinis e na Escola Secundária Domingos Sequeira em Leiria, em 27/4/95; e na Escola Secundária de Nelas, em 10/5/95.
- «**Princípios de conservação**», pelo Prof. Doutor Luiz Alte da Veiga, na Escola Secundária de Anadia, em 10/5/95.
- «**Termodinâmica: Princípios e fins**», pelo Prof. Doutor Manuel Fiolhais, na Escola Secundária Dr. Bernardino Machado da Figueira da Foz, em 15/11/94; no Instituto Educativo do Juncal, em 16/1/95; na Escola Secundária Amato Lusitano de Castelo Branco e no Externato de N.ª S.ª do Incenso em Penamacor, em 17/1/95; na Escola Secundária da Mealhada, em 19/1/95; na Escola Secundária Latino Coelho de Lamego, em 23/1/95; na Escola Secundária Nuno Álvares em Castelo Branco, em 7/2/95; na Escola Secundária da Sé na Guarda e na Escola Secundária de Moimenta da Beira, em 14/2/95; na Escola Secundária de Avelar Brotero em Coimbra, em 15/2/95; e no Colégio João de Barros das Meirinhas, em 24/2/95.
- «**Vida das estrelas**», pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais, na Escola Secundária da Lousã, em Fevereiro de 1995.

CURSOS DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES DA SPF

A Delegação Regional do Centro da SPF organizou, ainda durante o ano lectivo 1994/95, os seguintes Cursos de Formação para Professores do ensino secundário:

- «**Termodinâmica Macroscópica**», pelo Prof. Doutor Manuel Fiolhais, na Escola Secundária Dr. Bernardino Machado na Figueira da Foz, em 6/12/94.
- «**Reflexões sobre o novo programa do 10.º ano**», pela Prof. Doutora Maria Helena Caldeira na Escola Secundária Domingos Sequeira de Leiria, em 1/3/95, e na Escola Secundária Emídio Navarro de Almada, em 20/4/95.
- «**Reflexões sobre o novo programa do 11.º ano**», pela Prof. Doutora Maria Helena Caldeira na Escola Secundária Domingos Sequeira de Leiria, em 18/7/95.

LISTA DAS ACÇÕES DE DIVULGAÇÃO DE FÍSICA PARA O ANO LECTIVO 1995/96

A Delegação Regional do Centro continua a promover a realização nas Escolas do Ensino Secundário de pequenas palestras destinadas a alunos e professores, tendo como objectivo a divulgação ou o melhor esclarecimento de alguns temas de Física.

Nesta actividade, tem vindo a contar com a colaboração de muitos professores dos Departamentos de Física das Universidades de Coimbra e de Aveiro, a quem apresenta os melhores agradecimentos.

Para o ano lectivo em curso, é a seguinte a lista de acções:

- «A Física das partículas»
— Prof. Doutor Manuel Fiolhais.
- «A Física quântica numa perspectiva histórica»
— Prof. Doutor João da Providência.
- «A radioactividade e seus efeitos biológicos»
— Prof. Doutor Paulo Mendes.
- «Bases experimentais da Física Quântica»
— Prof. Doutor Adriano Pedroso de Lima.
- «Campo electromagnético: origem e efeitos»
— Prof. Doutora Lucília Brito.
- «Como nascem, evoluem e se extinguem as estrelas»
— Prof. Doutor João da Providência.
- «Estabilidade, decaimento e reacções nucleares»
— Prof. Doutor Adriano Pedroso de Lima.
- «Evolução dos conceitos de calor e entropia numa perspectiva histórica»
— Prof. Doutor João da Providência.
- «Física da cor»
— Prof. Doutor Luiz Alte da Veiga.
- «Interpretação estatística da termodinâmica»
— Prof. Doutora Maria Estela Pereira.
- «Lasers e holografia»
— Prof. Doutor João Lemos Pinto.
- «Microscópios com resolução atómica»
— Prof. Doutor Carlos Alberto Nabais Conde.
- «Nós e o Universo» (8.º ano)
— Prof. Doutor Carlos Fiolhais.
- «Os quarks na estrutura da matéria»
— Prof. Doutor João da Providência.
- «O problema dos neutrinos solares»
— Prof. Doutor Carlos Alberto Nabais Conde.
- «Os raios X na análise da composição de materiais»
— Prof. Doutor Carlos Alberto Nabais Conde.

- «Peso, massa e gravitação na vida quotidiana»
— Prof. Doutor João da Providência.
- «Potências de 10 — o tamanho das coisas do Universo»
— Prof. Doutor Paulo Mendes.
- «Princípios de conservação»
— Prof. Doutor Luiz Alte da Veiga.
- «Radiações? Sim, obrigado!»*
— Prof. Doutora Maria Saletê Leite.
- «Radioactividade e reacções nucleares»
— Prof. Doutora Maria Estela Pereira.
- «Relatividade restrita»
— Prof. Doutora Maria Estela Pereira.
- «Simetrias, princípios de conservação e leis da natureza»
— Prof. Doutor João da Providência.
- «Teoria da Relatividade: uma nova visão do tempo e do espaço»
— Prof. Doutor Pedro Vieira Alberto.
- «Ver as coisas por dentro: o que é a Física das Altas Energias»
— Prof. Doutor Rui Ferreira Marques.

* A partir de Abril de 1996.

QUOTAS DOS SÓCIOS DA SPF

A Assembleia Geral da Sociedade Portuguesa de Física aprovou, na sua reunião de 20 de Setembro de 1994, a alteração das quotas dos sócios da SPF para os seguintes valores:

Ano de 1995	— 5000\$00
Estudantes — Ano de 1995	— 2500\$00
Ano de 1996	— 6000\$00
Estudantes — Ano de 1996	— 3000\$00

Com estas novas quotas, os sócios da SPF passarão a receber gratuitamente, para além da revista Gazeta de Física, a revista Europhysics News, da Sociedade Europeia de Física (EPS).

De igual modo, poderão inscrever-se em quaisquer Divisões ou Grupos Interdivisionais da EPS, passando a usufruir de todos os direitos e privilégios dos membros dessas Divisões e Grupos.

ÍNDICE DO VOLUME 18

Vol. 18 — Fasc. 1 (Janeiro a Março 1995)

Astrofísica, clima e tecnologia (George Marx).....	2
Uma análise dos resultados da prova Específica de Física de 1994 (J. A. Ferreira, A. M. Almeida, L. G. Cunha, A. G. Rolo e J. F. V. Vaz)	9
Aprender Física... com o computador (Vítor Teodoro)	14
Sistemas termodinâmicos simples em contacto térmico e mecânico (Pedro Brogueira e Jorge Dias de Deus)	19
O que há de novo?	24
Prémio Nobel da Física	26
Olimpíadas de Física	28
Comemorações do Centenário da Descoberta dos Raios X	32

Vol. 18 — Fasc. 2 (Abril a Junho 1995)

Leis de conservação e simetria (João da Providência).....	2
Conceitos elementares de Óptica Geométrica e sua aplicação à Óptica da Visão (João A. Ferreira e Sandra Franco).	6
Fantasmas na Natureza (A. Guérin Moreira).....	12
Aprender Física... com o computador	17
Como voltar a criar a energia do Sol?	20
Ciência através da Europa	22
Novos programas europeus para a Juventude	24
Física na Europa: conclusões da Conferência de Gent.....	25
Olimpíadas de Física	28

Vol. 18 — Fasc. 3 (Julho a Setembro 1995)

Descoberta e natureza dos raios X (Lídia Salgueiro).....	2
Evocando a figura de J. Gomes Ferreira (José Pinto Peixoto).....	8
O estudo dos raios X e o início das investigações em Física nas Universidades portuguesas (F. Bragança Gil).....	11
Radiação de sincrotrão – A melhor fonte de raios X (Maria José B. M. de Almeida)	18
Heinrich Hertz – Vida, obra e repercussões (M. de Abreu Faro)	22
A condensação de Bose-Einstein e a sua recente observação experimental (E. Seabra Lage)	28

Vol. 18 — Fasc. 4 (Outubro a Dezembro 1995)

O uso de duas dimensões no ensino da cristalografia elementar (M. Duarte Naia e J. M. Ferreira).....	2
Grandezas, números, unidades (Dietmar Appelt)	6
Sir Rudolf Peierls – 1907-1995 (João da Providência).....	11
Microscopia de varrimento por sonda (SPM) (M. R. Gonçalves, J. H. F. Ribeiro, P. L. Vieira e R. F. M. Lobo)	14
Aprender Física... com o computador	21
Olimpíadas de Física	26

**EPS 10 TRENDS IN PHYSICS
10th GENERAL CONFERENCE OF THE
EUROPEAN PHYSICAL SOCIETY**

September 9-13, 1996
Sevilla (Spain)

The 10th edition of the EPS General Conference on Trends in Physics, jointly organized by The Royal Spanish Physical Society and the Portuguese Physical Society, will be held in Sevilla on September 9-13, 1996. This conference emphasizes the most important recent developments in Physics. Special attention is also devoted to physics education and physics in industry, as well as to interdisciplinary aspects. Five distinguished Physics Nobel Prize winners will also be present, to deliver plenary lectures.

Plenary Lectures

Theory of Particle Physics - L. Alvarez-Gaumé (CERN, Geneva); *Self Organized Critically and Punctuated Equilibria in Physics and Elsewhere* - P. Bak (Brookhaven National Laboratory, Long Island); *Testing Quantum Mechanics with Atom and Photons in Cavities* - S. Haroche (Lab. Kastler Erossel, Paris); *Quantum Transport in Semiconductor Nanostructures* - K. von Klitzing (MPI für Festkörperforschung, Stuttgart); *New Concepts in Fusion and the Role of ITER* - K. Lackner (*) (MPI für Plasmaphysik, Garching); *Atomic Optics and Interferometry with Laser Light* - V. Letokhov (Russian Academy of Sciences, Moscow); *Planned Experiments on LHC* - C. Llewellyn Smith (CERN, Geneva); *Physics of Climate* - J. Pinto Peixoto (Instituto Geofísico, Lisboa); *Molecular Markers of Oxidation Stress in Biology and Medicine* - A. Quintanilha (Inst. Ciências Biomédicas Abel Salazar, Porto); *Symmetry Tests in Physics* - N. F. Ramsey (Harvard Univ., Cambridge); *Particle Physics and Cosmology* - A. de Rújula (CERN, Geneva); *Strongly Correlated Systems: from Magnetic Insulators to High Tc Superconductors* - G. Sawatzky (Univ. of Groningen, Groningen); *Gravitational Wave Detection I* - B. Schutz (Univ. of Wales, Cardiff); *Experimental Progress in Understanding Particle Structures* - P. Soding (*) (DESY, Zeuthen); *Expansion of the Universe* - G. Tammam (Univ. Basel, Basel); *Nuclear Astrophysics with Radioactive Beams* - J. Vervier (Institut Physique Nucléaire, Louvain-la-Neuve); *New Polymers, Polymer Systems and their Applications* - G. Wegner (MPI für Polymerforschung, Mainz); *Cecil Powell Memorial Lecture: public understanding of Physics, the British experience* - Sir A. Wolfendale (Institute of Physics, London); *Scientific Subjects of the Speaker's Choice* - B. Mottelson (*) (Niels Bohr Inst., Copenhagen), M. Perl (Stanford Univ., USA); *Cultural Subject of the Speaker's Choice* - A. Tiemblo (CSIC, Madrid).

Parallel Symposia

Bose-Einstein-Condensation - J. T. M. Walraven (Van der Waals-Zeeman Lab. Amsterdam); *Energy Policies and Ecological Impact* - R. Dekeyser (Katholieke Univ. Leuven, Heverlee); *Experiments on Quantum Phenomena* - C. Cohen-Tannoudji (*) (ENS, Paris), J. Dalibard (*) (ENS, Paris); *Fluctuations in Low and High Temperature Plasmas and in Hydrodynamic Systems* - C. Hidalgo (*) (Euratom CIEMAT, Madrid), A. Piel (Institut für Experimentalphysik, Kiel); *Fullerenes and Nanotubes* - L. Forro (EPFL, Lausanne); *Lasers and Tunneling Microscopy* - N. Króó (Research Inst. for Solid State Physics, Budapest); *Material*

Further Information

EPS10 Organizing Secretariat
PROCONSUR
Avda. San Francisco Javier nº 15.4
41018 Sevilla - Spain
Tel: (34-5) 492 27 55 Fax: (34-5) 492 30 15
e-mail: EPS10@CICA.ES

Processing by Plasmas - D. C. Schram (Univ. of Technology, Eindhoven); *Neutrino Physics* - T. Kirsten (MPI für Kernphysik, Heidelberg), R. L. Mössbauer (T U München, Garching); *New Perspectives in Nuclear Physics* - R. A. Ricci (lab. Nazionali INFN, Legnaro); *Physics Education* - C. M. Ferreira (Inst. Superior Técnico, Lisboa), H. Ferdinande (Univ. of Gent), G. Tibell (Univ. of Uppsala); *Physics with Ion Storage Cooler Rings* - M. Larsson (Royal Inst. Technology, Stockholm), R. Schuch (Manne Siegbahn Inst. Physics, Stockholm); *Quantum Computing and Quantum Telecommunication* - A. Ekert (Oxford Univ., Oxford), A. Zeilinger (Univ. Innsbruck, Innsbruck); *Results of the ESA Satellites ISO and SOHO (sponsored by the European Astronomical Society)* - V. Domingo (ESA/ESTEC, Noordwijk), M. Kessler (ESA/ESTEC, Noordwijk); *Studies of Future Linear Colliders* - R. Brinkmann (DESY-MHE, Hamburg); *Superconducting and Accelerators* - C. Benvenuti (CERN, Geneva); *University and Industry* - J. C. Lehmann (Saint Gobain, Paris); *Panel on: job opportunities for young physicists* - F. Schneider (Dreieich).

Contributed Papers and Abstracts

Will be presented as posters, some of which may be selected for oral presentation. Abstracts of all contributions will be printed in the Abstracts Book. Abstracts should be submitted *before 1 April* (to Mr. Gero Thomas, European Physical Society, EPS 10; P.O. Box 69; CH 1213 Petit-Lancy 2, Switzerland), written in English. Extension not more than 1 page, using the official format; instructions to be given on 2nd circular.

Grants to Students

A significant number of grants will be provided for young physicists below 30. Those students interested in grants covering the registration fee and/or accommodation, should send to the Organizing Secretariat a Recommendation Letter written in English by the Director of their Department. This letter must indicate the date of birth of the applicant, the field of investigation, and justify the need for the grant.

Conference Chairpersons

Prof. M. Lozano Leyva (Sevilla); Prof. C. Matos Ferreira (Lisbon).
International Programme Committee and Local Organizing Committee (see Gaz. Física, 18, fasc. 2, 1995).

Deadlines

Contributed Abstracts: 1st April 1996
Registration: 15th May 1996
Late registration with additional fee: 15th Aug 1996
Hotel reservation: 15th May 1996

Satellite Meetings

- *Physics of Materials for Solar Energy Conversion*
Sevilla, 16-20 Sept. 96 (Organization: R. Dekeiser, A. Suzor-Weiner; e-mail: annick@scipion.ppm.u-psud.fr).
- *Física 96 - 10ª Conferência Nacional de Física*
Faro, 13-17 Sept. 96 (e-mail: fisica96@cc.fc.ul.pt).
- *6º Encontro Ibérico para o Ensino da Física*
Faro, 13-17 Sept. 96.

Registration Fees

For members of National Societies: 35.000 ptas (before 15 May).
Other participants: see 2nd circular.

Conference Venue

The conference will take place at the Hotel Meliá Sevilla, which is situated at the centre of the town, at only a few minutes from the airport and the railway station.

or

Sociedade Portuguesa de Física
Av. República 37 - 4º
1000 Lisboa
Tel: (351-21) 7973251 Fax: (351-21) 7952340
e-mail: fisica96@cc.fc.ul.pt

(*) Subject to confirmation.

G A Z E T A D E

FÍSICA