

Gazeta de

Física

Sociedade Portuguesa de Física

FÍSICA ELEMENTAR DA NAVEGAÇÃO À VELA

Nuno Barros e Sá

LUDWIG BOLTZMANN: VIDA E OBRA

Sílvio Renato Dahmen

“A CIÊNCIA É UMA AVENTURA EXCITANTE!”

Entrevista a Claude Cohen Tannoudji,
Prémio Nobel da Física em 1997



DIRECTOR Carlos Fiolhais

DIRECTORAS ADJUNTAS Constança Providência e Lucília Brito

CORRESPONDENTES José Paulo Santos (Lisboa),
Lucília Brito (Coimbra) e Carlos Herdeiro (Porto)

COLABORAM AINDA NESTE NÚMERO

Carlos Saraiva, Carlota Simões, Fernando Nogueira, Isabel Malaquias, José António Paixão, Manuel Almeida Valente, Manuel Fiolhais, Nuno Barros e Sá, Patrícia Faísca, Regina Gouveia, Sílvio Renato Dahmen.

SECRETARIADO

Maria José Couceiro (Lisboa)
e Cristina Silva (Coimbra)

DESIGN

MediaPrimer - Tecnologias e Sistemas Multimédia Lda
Rua Sanches da Gama, nº 160
3030-021 Coimbra
E-mail info@mediaprimer.pt

PRÉ-IMPRESSÃO E IMPRESSÃO

Tipografia Macasi, Lda
Quinta dos Militares, Lt. 14
3040-584 Antanhol

TIRAGEM 1800 exemplares

PREÇOS Número avulso 5,00 € (inclui IVA).
Assinatura anual 15,00 € (inclui IVA).
A assinatura é grátis para os sócios da SPF.

**PROPRIEDADE DA SOCIEDADE PORTUGUESA
DE FÍSICA**

ADMINISTRAÇÃO E REDACÇÃO

Avenida da República 37-4º 1050-187 Lisboa
Tel 217 993 665 Fax 217 952 349
E-mail secretariado@spf.pt

NIPC 501094628

REGISTO ICS nº 110856

ISSN 0367-3561

DEPÓSITO LEGAL nº 51419/91

PUBLICAÇÃO TRIMESTRAL

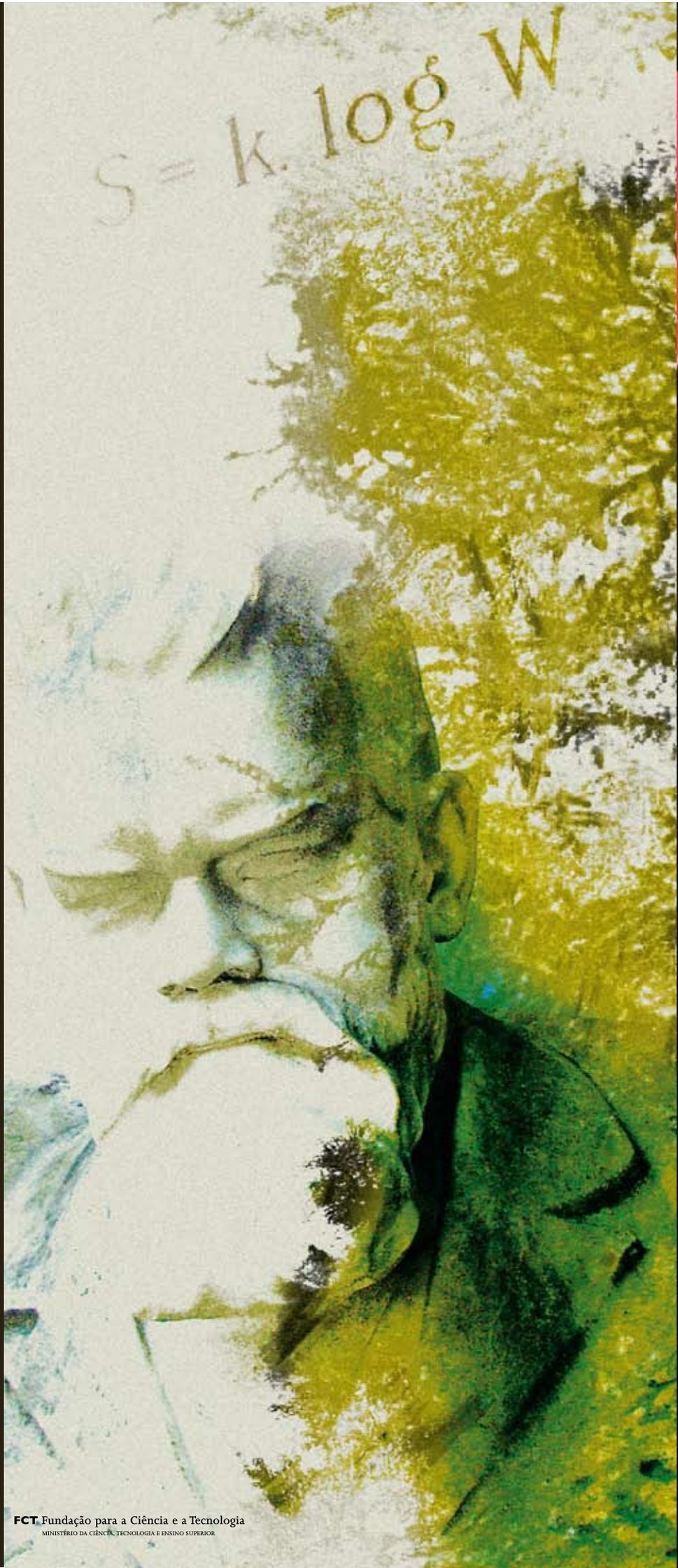
A Gazeta da Física publica artigos, com índole de divulgação, considerados de interesse para estudantes, professores e investigadores em Física. Deverá constituir também um espaço de informação para as actividades da SPF, nomeadamente as suas Delegações Regionais e divisões Técnicas. Os artigos podem 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 3500 palavras ou 17500 caracteres, incluindo figuras, sendo que uma figura corresponde em média a 140 palavras). Deverão ter sempre um curto resumo, não excedendo 130 palavras. Deve(m) ser indicado(s) o(s) endereço(s) completo(s) das instituições dos autores, assim como o endereço electrónico para eventual contacto. Agradece-se o envio dos textos em disquete, de preferência "Word" para PC. Os originais de figuras devem ser apresentados em folhas separadas, prontas para reprodução, e nos formatos electrónicos jpg, gif ou eps.

PUBLICAÇÃO SUBSIDIADA

APOIOS:

Ministério da Educação - Sistema de Incentivos à Qualidade da Educação



ÍNDICE

ARTIGOS

FÍSICA ELEMENTAR DA NAVEGAÇÃO À VELA 4
Nuno Barros e Sá

LUDWIG BOLTZMANN:VIDA E OBRA 16
Sílvio Renato Dahmen

ENTREVISTA

"A CIÊNCIA É UMA AVENTURA EXCITANTE!" 24
Entrevista a Claude Cohen-Tannoudji,
Prémio Nobel da Física em 1997

NOTÍCIAS

FÍSICA NO MUNDO 30
FÍSICA EM PORTUGAL 33

SECÇÕES

ENSINO DA FÍSICA 36
OLIMPÍADAS DE FÍSICA 44
LIVROS E MULTIMÉDIA 49

Os artigos desta edição da *Gazeta* – o último número no formato que foi habitual nos últimos anos – abordam assuntos muito variados. No primeiro, "Física elementar da navegação à vela", NUNO BARROS E SÁ apresenta um interessante estudo sobre os aspectos mais relevantes da física presente no movimento dos barcos à vela.

O segundo artigo, da autoria de SÍLVIO RENATO DAHMEN, fala de Ludwig Boltzmann, dando a conhecer, a par de aspectos biográficos, alguns dos contributos científicos mais importantes deste físico austríaco, desaparecido nos primeiros anos do século passado.

A entrevista de Patrícia Faísca ao físico CLAUDE COHEN TANNODJI, um dos laureados com o Prémio Nobel da Física em 1997 pelo seu trabalho sobre o arrefecimento de átomos com luz laser, revela-nos curiosos aspectos da carreira científica e pedagógica deste cientista.

Na secção de ensino CARLOS SARAIVA, ISABEL MALAQUIAS e MANUEL ALMEIDA VALENTE escrevem sobre "O electro-magnetismo nos manuais de Física liceais entre 1855 e 1974", revelando o impacte que tiveram na escola portuguesa os enormes desenvolvimentos daquela área nomeadamente ao longo do século XIX.

Na habitual secção sobre as Olimpíadas de Física podem ler-se notícias sobre as etapas regional e nacional de 2007 e conhecer-se o trabalho desenvolvido ao longo do ano com os estudantes candidatos à participação em provas internacionais.

Nas secções Física no Mundo e Física em Portugal incluem-se algumas notícias na área da Física, destacando-se temas de astrofísica. A preocupação de motivar os jovens para o estudo da Física e de divulgar esta área junto de públicos diversificados marca também a tónica.

Finalmente, em Livros e Multimédia, destaque para algumas avaliações de livros recentes e para uma nota sobre um novo blogue de ciência!

A *Gazeta* regressará no final deste ano, com um novo formato, incluindo muitas novidades, que esperamos sejam apreciadas pelos leitores!

A todos os que ajudaram a fazer a *Gazeta* nos últimos anos o muito obrigado da equipa que passa o testemunho.

Boas leituras!

Neste artigo usam-se princípios elementares da Física para explicar algumas características da navegação à vela, como a navegação contra o vento, a inclinação das embarcações, a relação entre a velocidade do navio e o rumo e a importância do patilhão e da orientação da vela na navegação.

NUNO BARROS E SÁ
Departamento de Ciências,
Tecnologia e Desenvolvimento
Universidade dos Açores
9500-801 Ponta Delgada
Portugal

nunosa@notes.uac.pt

FÍSICA ELEMENTAR NAVEGAÇÃO À

O princípio da navegação à vela parece, numa primeira impressão, simples: o vento empurra a vela, impelindo o barco para a frente. Mas um barco à vela consegue navegar em todas as direcções, mesmo em sentido contrário ao do vento! Acontece também que, nas embarcações de corrida mais velozes, a velocidade máxima não é atingida navegando a favor do vento mas sim com o vento quase de lado e que essa velocidade máxima pode mesmo ser superior à velocidade do vento!

Neste artigo explicam-se estes fenómenos aparentemente paradoxais e outros, procurando na navegação à vela uma abordagem estimulante para o ensino de alguns conceitos elementares da Física e da Matemática.

FORÇA EXERCIDA SOBRE UM SÓLIDO EM MOVIMENTO ATRAVÉS DE UM FLUIDO

O movimento de um barco à vela resulta da acção combinada de duas forças: a força exercida pelo vento sobre a vela e a força de resistência ao movimento exercida pelo mar sobre o casco do navio. Estas duas forças são exemplos de forças exercidas por fluidos (o ar e o mar) sobre sólidos (a vela e o casco do navio) quando há movimento relativo entre os dois, pelo que começamos por abordar a forma geral deste tipo de força. Também actuam sobre o barco o seu próprio peso e a impulsão da água mas estas duas últimas forças cancelam-se, do que resulta a flutuação do barco.

TAR DA VELA

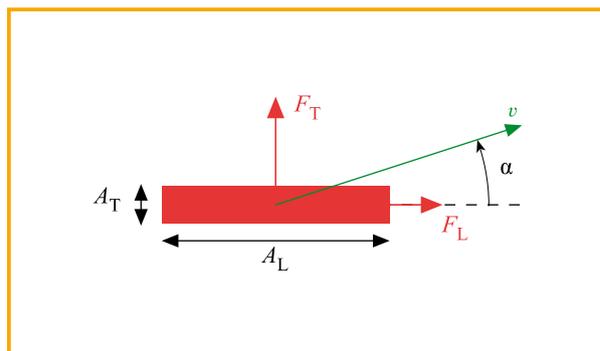


Fig. 1 - Tomamos para eixo F_L o eixo de simetria com o sentido da extremidade escolhida para início da contagem do ângulo de incidência α e para eixo F_T o eixo que faz um ângulo de 90° com o primeiro, medido no mesmo sentido que α .

Se a única propriedade relevante do fluido for a sua densidade ρ , resulta por mera análise dimensional que a força exercida sobre o sólido pelo fluido é dada por [1,2,3]

$$\vec{F} = \frac{1}{2} \bar{C} \rho A v^2 \quad , \quad (1)$$

com v a velocidade relativa entre o fluido e o sólido, A uma dada área de referência (por exemplo, a área do sólido transversal à direcção do movimento) e \bar{C} uma constante sem dimensões. O factor $1/2$ é convencional. Mostra-se em Mecânica dos Fluidos que o escoamento dum fluido no regime laminar depende da sua viscosidade η e que nesse caso a força é linear na velocidade, $F \propto \eta l v$, com l uma dimensão linear do sólido [1]. Mas as passagens do ar e do mar em torno do barco ocorrem em regime turbulento, o qual é independente da viscosidade do fluido, valendo a fórmula (1).

A fórmula (1) também pode ser deduzida pelo argumento muito simples que se segue. O módulo F da força deve ser proporcional ao momento linear do fluido que se dirige de encontro ao sólido por unidade de tempo,

$$F \propto \frac{dp}{dt} = \frac{dm}{dt} v = \rho \frac{dV}{dt} v = \rho A \frac{dx}{dt} v = \rho A v^2 \quad , \quad (2)$$

com x a direcção do movimento relativo, A a área do sólido transversal a essa direcção, m a massa do fluido e V o volume por ele ocupado. Esta dedução sugere que a constante \bar{C} seja da ordem da unidade mas o seu cálculo exacto depende da forma particular do sólido e só pode ser feito no âmbito da Mecânica dos Fluidos.

As componentes verticais das forças (1) exercidas sobre a vela e sobre o casco do navio desempenham apenas um papel secundário no equilíbrio vertical entre o peso do navio e a impulsão da água. Por isso consideraremos apenas a acção das forças do vento e do mar no plano horizontal.

No caso de sólidos longilíneos com simetria bilateral, como são os casos da vela e do casco do navio, designamos por ângulo de incidência α o ângulo feito entre uma das extremidades do plano de simetria e a direcção do movimento do fluido e decompos a força exercida pelo fluido em movimento em componentes paralela e perpendicular ao plano de simetria, F_L e F_T respectivamente, de acordo com a convenção indicada na Fig. 1. Por questões de simetria, F_L deve atingir os valores máximo para $\alpha=0^\circ$ e mínimo para $\alpha=180^\circ$, enquanto F_T deve ser nula para esses ângulos de incidência, positiva para $\alpha=90^\circ$ e negativa para $\alpha=270^\circ$. As funções mais simples que obedecem a estes critérios são

$$F_L \propto \rho A_T v^2 \cos \alpha \quad (3)$$

$$F_T \propto \rho A_L v^2 \sin \alpha \quad . \quad (4)$$

Note-se que a componente longitudinal da força é proporcional à secção transversal do sólido A_T e a componente transversal é proporcional à secção longitudinal A_L , de modo a que estas fórmulas se reduzam a (2) para $\alpha=0^\circ$ e $\alpha=90^\circ$.

As forças reais dependem ainda de inúmeros factores adicionais como o material de que é feita a superfície do sólido, a formação de ondas, etc [4]. De qualquer forma, as expressões simplificadas (3)-(4) permitem explicar qualitativamente o movimento dos barcos à vela. Mesmo a dependência dos resultados que vamos obter das constantes σ e η (que definiremos mais adiante (equação (35)), embora pouco rigorosa, exprime grosseiramente a dependência do movimento do navio da sua geometria.

VENTO APARENTE

Actuado pelo vento, um barco inicialmente em repouso começa por acelerar mas acaba por ser travado pela força de resistência do mar, altura em que o barco estabiliza a velocidade constante \vec{V} . Definimos o rumo do navio θ como o ângulo feito entre a velocidade do vento \vec{v} e o simétrico da velocidade do barco, $-\vec{V}$. Desta forma o rumo é de 180° se o navio se desloca no sentido do vento e seria de 0° se ele se deslocasse no sentido contrário.

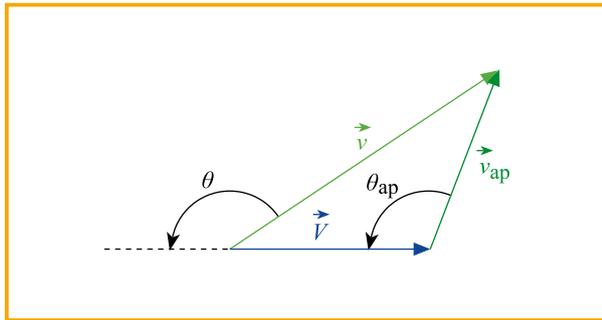


Fig. 2 - Relação entre as velocidades real (verde-claro) e aparente (verde-escuro) do vento e a velocidade do barco (azul). A projecção no eixo horizontal dá a equação (6) e a projecção no eixo vertical dá a equação (7).

A velocidade do vento em relação ao mar \vec{v} (vento real) difere da velocidade do vento em relação à vela \vec{v}_{ap} (vento aparente), da qual depende a força exercida sobre a vela, estando as duas relacionadas por (Fig. 2)

$$\vec{v}_{ap} = \vec{v} - \vec{V} \quad (5)$$

O rumo aparente θ_{ap} (ângulo feito entre \vec{v}_{ap} e $-\vec{V}$) também difere do rumo real θ . A partir da Fig. 2 vê-se facilmente que as seguintes igualdades se verificam

$$v_{ap} \cos \theta_{ap} = v \cos \theta + V \quad (6)$$

$$v_{ap} \sin \theta_{ap} = v \sin \theta \quad (7)$$

donde se retiram as relações

$$\cotan \theta_{ap} = \cotan \theta + \frac{V}{v \sin \theta} \quad (8)$$

$$v_{ap}^2 = v^2 + 2vV \cos \theta + V^2 \quad (9)$$

FORÇAS APLICADAS SOBRE UM NAVIO EM MOVIMENTO

Na Fig. 3 representamos as forças horizontais que actuam sobre um barco à vela. De acordo com as equações (3)-(4) temos, para a força do vento,

$$f_T = \rho_{ar} a_L v_{ap}^2 \sin \alpha \quad (10)$$

$$f_L = \rho_{ar} a_T v_{ap}^2 \cos \alpha \quad (11)$$

e, para a força do mar,

$$F_T = \rho_{agua} A_L V^2 \sin \gamma \quad (12)$$

$$F_L = \rho_{agua} A_T V^2 \cos \gamma \quad (13)$$

com ρ_{ar} e ρ_{agua} as densidades do ar e da água respectivamente. Substituímos o sinal de proporcionalidade pelo de igualdade nas equações (3)-(4), podendo olhar para as áreas da vela a_L e a_T e do casco do navio A_L e A_T como “áreas efectivas” que devem ter valores da ordem de grandeza das respectivas áreas geométricas.

Utilizando um sistema de eixos cartesianos em que tomamos para eixo dos xx a direcção da vela (Fig. 3), a força total exercida sobre o navio escreve-se

$$\begin{aligned} F_x &= F_T \sin \beta - F_L \cos \beta - f_L \\ &= \rho_{agua} A_L V^2 (\sin \gamma \sin \beta - \cos \gamma \cos \beta) - \\ &\quad - \rho_{ar} a_L v_{ap}^2 \cos \alpha \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} F_y &= f_T - F_T \cos \beta - F_L \sin \beta \\ &= \rho_{ar} a_L v_{ap}^2 \sin \alpha - \rho_{agua} A_L V^2 \cdot \\ &\quad \cdot (\sin \gamma \cos \beta + \cos \gamma \sin \beta) \end{aligned} \quad (15)$$

Nestas equações medimos todos os ângulos no sentido directo, sendo α contado do vector velocidade do vento para a vela, β contado da vela para a linha da popa e γ contado da linha da popa para o simétrico do vector velocidade do mar, tal como representado na Fig. 3. As relações entre os sentidos dos ângulos e das forças são as mesmas que as usadas nas fórmulas (3) e (4).

Repare-se que existe uma ambiguidade na definição dos ângulos α e β devido à simetria da vela. Fazendo a contagem destes ângulos relativamente à outra ponta da vela, os seus valores sofreriam acréscimos de 180° . Podemos ignorar esta ambiguidade pois ela não afecta os resultados que vamos obter (22) e (23) que regem o movimento do navio.

Como se depreende da Fig. 3 o rumo aparente é dado por

$$\theta_{ap} = \alpha + \beta + \gamma. \quad (16)$$

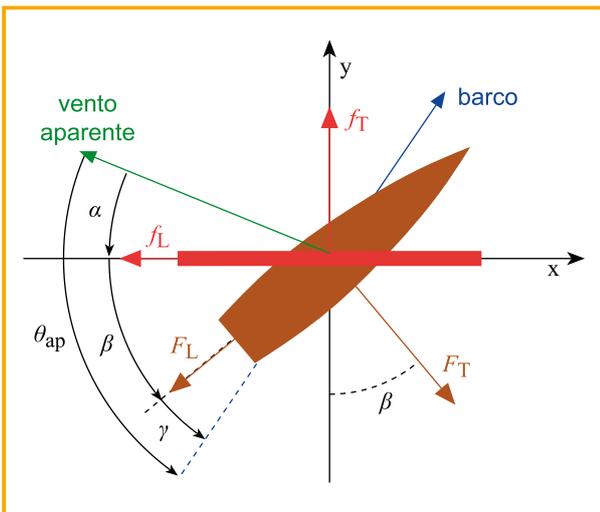


Fig. 3 - Forças aplicadas sobre um navio pelo vento e pelo mar.

Usando as identidades trigonométricas

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \sin(\theta_{ap} - \beta - \gamma) = \\ &= \sin(\theta_{ap} - \beta) \cos \gamma - \cos(\theta_{ap} - \beta) \sin \gamma \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \cos(\theta_{ap} - \beta - \gamma) = \\ &= \sin(\theta_{ap} - \beta) \sin \gamma + \cos(\theta_{ap} - \beta) \cos \gamma \end{aligned} \quad (18)$$

nas equações (14)-(15) substituímos o ângulo α por θ_{ap} e as condições de equilíbrio

$$F_x = 0 \quad \text{e} \quad F_y = 0 \quad (19)$$

ficam

$$\begin{aligned} & [\rho_{\text{agua}} A_L V^2 \sin \beta - \rho_{\text{ar}} a_T v_{\text{ap}}^2 \sin(\theta_{ap} - \beta)] \sin \gamma = \\ &= [\rho_{\text{agua}} A_T V^2 \cos \beta + \rho_{\text{ar}} a_T v_{\text{ap}}^2 \cos(\theta_{ap} - \beta)] \cos \gamma \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} & [\rho_{\text{ar}} a_L v_{\text{ap}}^2 \sin(\theta_{ap} - \beta) - \rho_{\text{agua}} A_T V^2 \sin \beta] \cos \gamma = \\ &= [\rho_{\text{ar}} a_L v_{\text{ap}}^2 \cos(\theta_{ap} - \beta) + \rho_{\text{agua}} A_L V^2 \cos \beta] \sin \gamma \end{aligned} \quad (21)$$

Chama-se abatimento ao ângulo γ que mede o desvio do rumo do barco em relação à direcção da sua quilha. Resolvendo a equação (20) em ordem a γ temos

$$\tan \gamma = \frac{\rho_{\text{agua}} A_T V^2 \cos \beta + \rho_{\text{ar}} a_T v_{\text{ap}}^2 \cos(\theta_{ap} - \beta)}{\rho_{\text{agua}} A_L V^2 \sin \beta - \rho_{\text{ar}} a_T v_{\text{ap}}^2 \sin(\theta_{ap} - \beta)}. \quad (22)$$

Substituindo este resultado na equação (21) fica-se com uma equação para a velocidade do barco em função da velocidade do vento, do rumo e da orientação da vela,

$$\begin{aligned} & \rho_{\text{agua}}^2 A_L A_T V^4 + \rho_{\text{ar}} \rho_{\text{agua}} [(a_L A_T + A_L a_T) \cos \beta \cos(\theta_{ap} - \beta) - \\ & - (a_L A_L + A_T a_T) \sin \beta \sin(\theta_{ap} - \beta)] V^2 v_{\text{ap}}^2 + \rho_{\text{ar}}^2 a_L a_T v_{\text{ap}}^4 = 0 \end{aligned} \quad (23)$$

ORIENTAÇÃO IDEAL DA VELA

A orientação perfeita da vela é aquela que conduz à maior velocidade do barco (no máximo é $dV=0$) para dadas velocidade do vento e rumo, isto é, mantendo v e θ constantes ($dv=d\theta=0$). Como θ_{ap} e v_{ap} são ambos funções de V , v e θ apenas (equações (8)-(9)), temos também

$$dV = dv = d\theta = 0 \quad \Rightarrow \quad dv_{\text{ap}} = d\theta_{\text{ap}} = 0 \quad (24)$$

Calculando a diferencial de (23) e usando (24) obtemos

$$0 = \rho_{ar} \rho_{agua} V^2 v_{ap}^2 (a_L - a_T)(A_L - A_T) \sin(2\beta - \theta_{ap}) d\beta \Rightarrow \Rightarrow \sin(2\beta - \theta_{ap}) = 0 \quad (25)$$

com solução

$$\beta = \frac{\theta_{ap}}{2} \quad (26)$$

A solução $\beta = (\theta_{ap} + \pi)/2$ que, como veremos mais adiante, corresponde à orientação da vela que produz a maior velocidade no rumo contrário, foi ignorada. A equação (25) admite ainda mais duas soluções que diferem destas duas por π , como seria de esperar dada a ambiguidade na definição do ângulo β .

Portanto, para obter a velocidade máxima a vela deve ser colocada precisamente na bissetriz do ângulo feito entre as direcções do vento e do mar vistos do barco (Fig. 4). Nessa situação as equações (22) e (23) ficam

$$\tan \gamma = \frac{\rho_{agua} A_T V^2 + \rho_{ar} a_T v_{ap}^2}{\rho_{agua} A_L V^2 - \rho_{ar} a_T v_{ap}^2} \cotan \frac{\theta_{ap}}{2} \quad (27)$$

$$\rho_{agua}^2 A_L A_T V^4 + \rho_{ar} \rho_{agua} \left[(a_L A_T + A_L a_T) \cos^2 \frac{\theta_{ap}}{2} - (a_L A_L + A_T a_T) \sin^2 \frac{\theta_{ap}}{2} \right] V^2 v_{ap}^2 + \rho_{ar}^2 a_L a_T v_{ap}^4 = 0 \quad (28)$$

Mencionamos, como curiosidade, que os primeiros estudos matemáticos sobre a navegação à vela (por exemplo [5]), realizados antes do desenvolvimento da Mecânica dos Fluidos, tratavam o escoamento dum fluido em torno dum sólido como uma sucessão de colisões elásticas das suas partículas constituintes com o obstáculo sólido. Obtinha-se então nas fórmulas (3)-(4) uma dependência quadrática da força com as funções trigonométricas que conduzia ao resultado $\tan(\theta_{ap} - \beta) = 2 \tan \beta$ para a orientação ideal da vela. Para rumos grandes este resultado reduz-se a (26) mas para rumos pequenos β é pequeno e fica $\beta \approx \theta_{ap}/3$. As características qualitativas da navegação à vela não são contudo afectadas por esta imprecisão.

PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DO NAVIO

O bom funcionamento dum barco à vela resulta da forma longilínea da vela e do casco, isto é, de ser,

$$a_L \gg a_T \quad \text{e} \quad A_L \gg A_T \quad (29)$$

Embora o casco dum navio não seja tão fino como uma vela, a relação entre as áreas longitudinal e transversal é geralmente ampliada pelo patilhão, que é uma extensão da quilha com uma área transversal mínima mas com uma área longitudinal substancial (Fig. 5).

A área das velas dum navio é muito superior à área transversal imersa do seu casco mas a densidade do ar é cerca de mil vezes inferior à da água, pelo que

$$\rho_{ar} a_T \ll \rho_{ar} a_L \approx \rho_{ag} A_T \ll \rho_{ag} A_L \quad (30)$$

Tendo em consideração estas relações, as equações (27) e (28) simplificam para

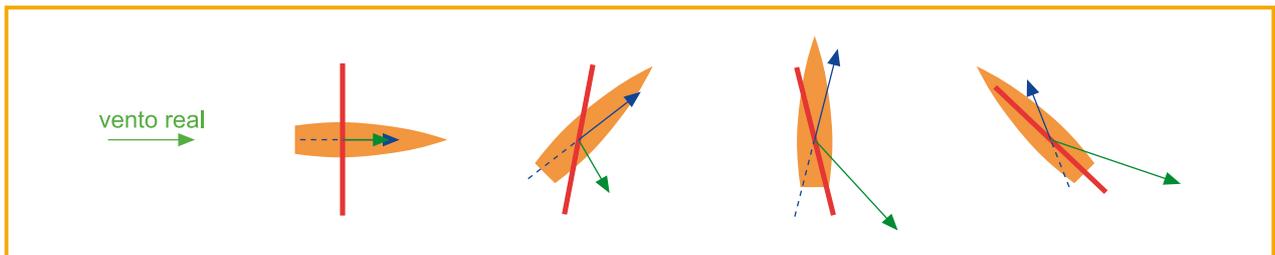


Fig. 4 - Orientação correcta da vela (a encarnado) pela bissetriz do ângulo feito entre o vento aparente (a verde-escuro) e o simétrico do sentido do movimento do barco (a azul) para diferentes rumos. O vento aparente e a velocidade do barco foram calculados usando as fórmulas das secções seguintes com $\sigma = 2$ e $\eta = 0,1$.



Fig. 5 - O patilhão dum veleiro, a extensão plana da quilha na base do barco, duplica a área submersa longitudinal (esquerda) mas pouco altera a área transversal (direita). Fotografias tiradas no Clube Naval de Ponta Delgada.

$$\tan \gamma = \frac{\rho_{\text{agua}} A_T V^2}{\rho_{\text{agua}} A_L V^2} \cotan \frac{\theta_{\text{ap}}}{2} \quad (31)$$

quão veloz é o barco (o seu valor cresce com a área da vela e decresce com a área imersa do casco do navio).

$$\rho_{\text{agua}}^2 A_L A_T V^4 - \rho_{\text{ar}} \rho_{\text{agua}} a_L A_L V^2 v_{\text{ap}}^2 \sin^2 \frac{\theta_{\text{ap}}}{2} = 0 \quad (32)$$

ou

$$\gamma = \arctan \left(\eta \cotan \frac{\theta_{\text{ap}}}{2} \right) \quad (33)$$

$$V^2 = \sigma^2 v_{\text{ap}}^2 \sin^2 \frac{\theta_{\text{ap}}}{2}, \quad (34)$$

tendo definido os seguintes parâmetros geométricos para o navio:

$$\eta = \frac{A_T}{A_L} \quad \text{e} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\rho_{\text{ar}} a_L}{\rho_{\text{agua}} A_T}}. \quad (35)$$

A constante η é pequena e mede a possibilidade do movimento barco se desviar da direcção da sua quilha. A constante σ é da ordem da unidade ou inferior e indica

VELOCIDADE DO NAVIO EM FUNÇÃO DO RUMO

Como θ_{ap} e v_{ap} são funções de V , v e θ , podemos introduzir os resultados (8)-(9) na equação (34) e resolvê-la para obter a velocidade V do navio em função da velocidade v do vento e do rumo θ . Depois de usar algumas igualdades trigonométricas e de elevar ao quadrado a equação para eliminar uma raiz quadrada, chega-se a uma equação quártica. A velocidade do navio aumenta linearmente com a velocidade do vento,

$$V = g(\theta) \sigma v, \quad (36)$$

sendo a dependência do rumo descrita pela função $g(\theta)$, solução da equação polinomial quártica

$$4(1-\sigma^2)g^4 - 8\sigma \cos\theta g^3 + (\sigma^2 \sin^2\theta - 4)g^2 + 2\sigma \cos\theta \sin^2\theta g + \sin^2\theta = 0. \quad (37)$$

Na Fig. 6 apresentamos um gráfico polar da solução numérica de (36)-(37) para diferentes valores da constante σ .

Como seria de esperar atingem-se as maiores velocidades navegando a favor do vento ($|\theta| > 90^\circ$). Contudo, a nave-

gação é possível para todos os rumos, mesmo com vento contrário ($|\theta| < 90^\circ$) desde que não seja exactamente $\theta = 0^\circ$. Na Fig. 7 ilustramos a acção relevante da força do vento que permite a navegação à bolina, isto é, com vento contrário.

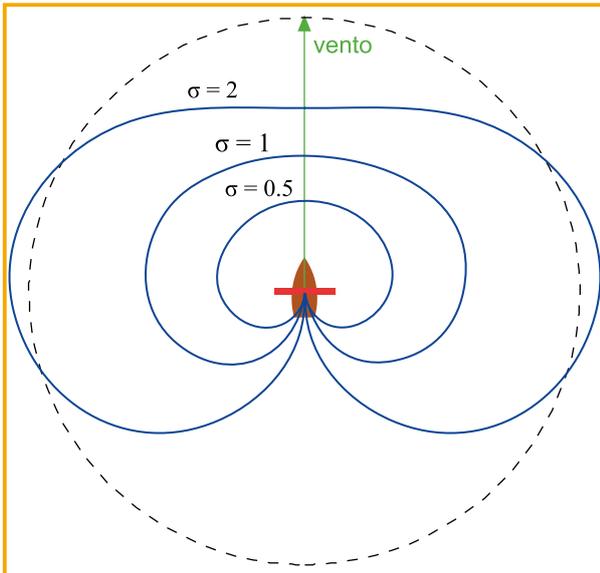


Fig. 6 - Gráficos polares da velocidade do barco em função do rumo para diferentes valores da constante σ . A linha a tracejado indica o módulo da velocidade do vento.

Para valores elevados da constante σ o rumo para o qual se atinge a maior velocidade não é $\theta = 180^\circ$, mas sim um valor entre $\theta = 180^\circ$ e $\theta = 90^\circ$, podendo mesmo nesse rumo a velocidade do barco ultrapassar a velocidade do vento, como está patente na Fig. 6!

Este resultado, surpreendente à primeira vista, deriva da importância que o vento aparente (que é o verdadeiro propulsor do barco) tem na velocidade dos barcos velozes. Para velocidades baixas o vento aparente pouco

difere do vento real qualquer que seja o rumo (desenhos da esquerda na Fig. 8). Para velocidades altas o vento aparente torna-se muito fraco na navegação com o vento à popa mas, pelo contrário, cresce na navegação à bolina ou com o vento pelo través, embora provenha duma direcção mais chegada à proa, conforme ilustrado nos desenhos da direita na Fig. 8 e nos gráficos da Fig. 9.

Navegando com o vento à popa o barco, por mais veloz que seja, nunca pode ultrapassar a velocidade do vento pois nesse caso o vento aparente (5) anular-se-ia e o barco deixaria de acelerar. Para outros rumos a aceleração do barco é acompanhada pelo crescimento do vento aparente e portanto da força exercida sobre a vela, não havendo restrição, se o barco for suficientemente veloz, a que a velocidade do vento real seja ultrapassada.

Quando $\sigma \gg 1$ só sobrevivem as potências mais elevadas de σ na equação (37), que admite a solução simples,

$$V \approx \sigma v \frac{|\sin \theta|}{2} \quad (\sigma \gg 1) \quad , \quad (38)$$

cujos máximos ocorrem precisamente para $\theta = 90^\circ$.

Valores elevados da constante σ só se encontram em barcos de corrida. Para valores pequenos da constante σ , como ocorre na maior parte dos veleiros, sobrevivem as potências mais baixas de σ na equação (37) e obtemos

$$V \approx \sigma v \left| \sin \frac{\theta}{2} \right| \quad (\sigma \ll 1) \quad , \quad (39)$$

cujos gráficos apresentamos na Fig. 10. Nesta situação é com o vento à popa, $\theta = 180^\circ$, que se alcança a maior velocidade para o barco.

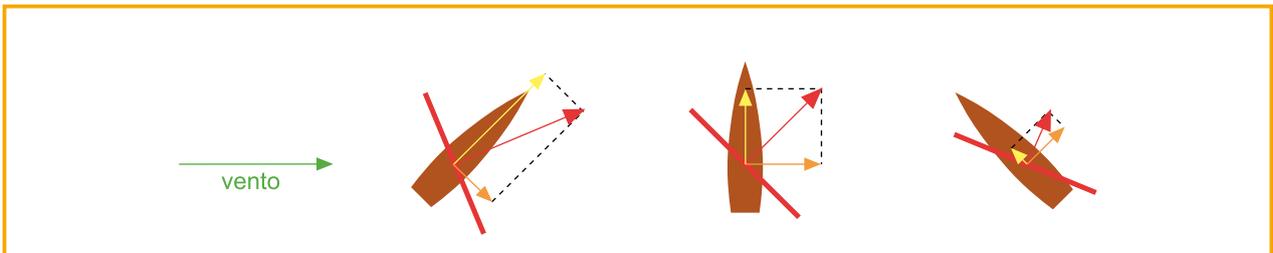


Fig. 7 - A força produzida pelo vento (a encarnado) é praticamente perpendicular à vela e aponta sempre para rumos superiores a 90° . Mas o patilhão do navio torna seu movimento transversal difícil, compensando a projecção da força da vela perpendicular à quilha do navio (a cor-de-laranja). A força de propulsão relevante é a projecção longitudinal à quilha do navio (a amarelo), a qual pode apontar para rumos inferiores a 90° ou seja, contrários ao vento.

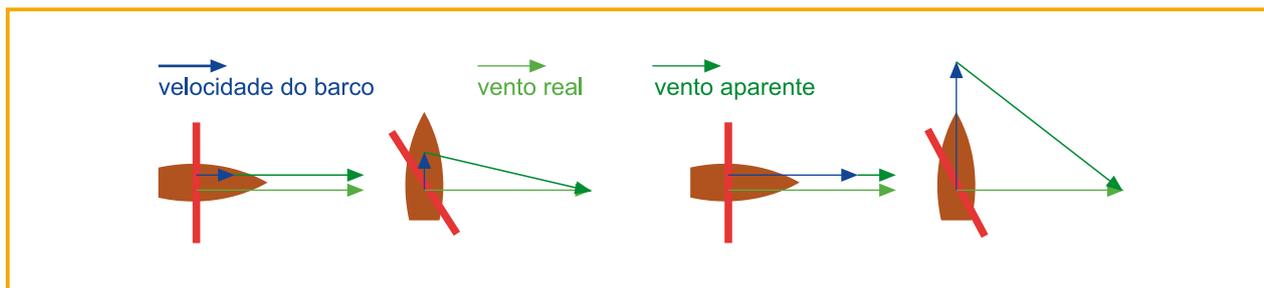


Fig. 8 - Vento aparente observado por barcos navegando com o vento à popa e com o vento pelo través para baixas (à esquerda) e altas (à direita) velocidades do barco.

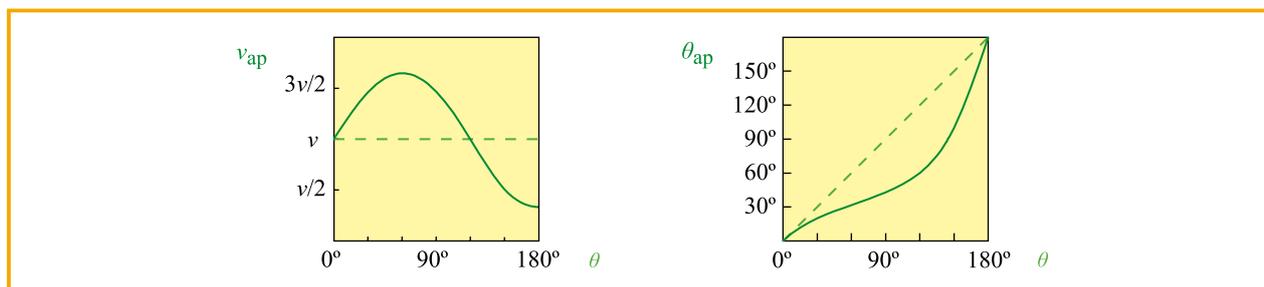


Fig. 9 - Gráficos da intensidade do vento aparente (à esquerda) e do rumo aparente (à direita) em função do rumo real, com $\sigma = 2$.

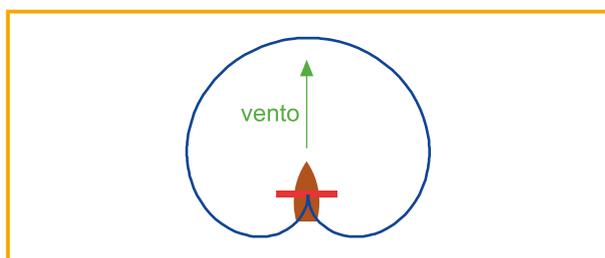


Fig. 10 - Gráfico polar da velocidade do navio em função do rumo para valores pequenos da constante σ ($\sigma \rightarrow 0$).

EFEITO DA ORIENTAÇÃO DA VELA NA VELOCIDADE DO NAVIO

Se for $\sigma \ll 1$, de acordo com as equações (8)-(9) e (34) a velocidade do barco é muito inferior à velocidade do vento, $V \ll v$. Então o vento aparente pouco difere do vento real, $v_{ap} \approx v$ e $\theta_{ap} \approx \theta$, e a equação (34) que dá a velocidade do navio para orientações arbitrárias da vela simplifica-se para

$$V^2 \approx \sigma^2 v^2 \sin(\theta - \beta) \sin \beta \quad (40)$$

Quando $\sin(\theta - \beta) \sin \beta < 0$ esta equação não tem solução mas ocorre então uma solução para o rumo oposto $\theta + \pi$, quer dizer, com o barco a andar para trás. Podemos então generalizar a equação (40) para velocidades V negativas e escrever

$$V \approx \sigma v \frac{\sin(\theta - \beta) \sin \beta}{\sqrt{|\sin(\theta - \beta) \sin \beta|}} \quad (41)$$

Na Fig. 11 apresentamos gráficos da velocidade (41) atingida para rumos de 180° (à popa), 135° (ao largo), 90° (de través), 45° (à bolina) e 0° (à proa), onde se pode apreciar o efeito que a escolha da orientação da vela tem na velocidade do navio. Para más orientações da vela ($\beta > \theta$) o navio anda mesmo para trás.

NAVEGAÇÃO CONTRA O VENTO

Para dirigir um navio no sentido precisamente oposto ao do vento $\theta = 0^\circ$ navega-se à bolina alternadamente para um lado e para o outro da direcção donde provém o vento, descrevendo uma trajectória em ziguezague (Fig. 12).

O rumo correcto para fazer os segmentos da trajectória, chamados bordos, é aquele que proporciona a maior componente da velocidade na direcção oposta ao vento $V \cos \theta$ (Fig. 13) e fica determinado por

$$\frac{d}{d\theta} (V \cos \theta) = 0 \quad (42)$$

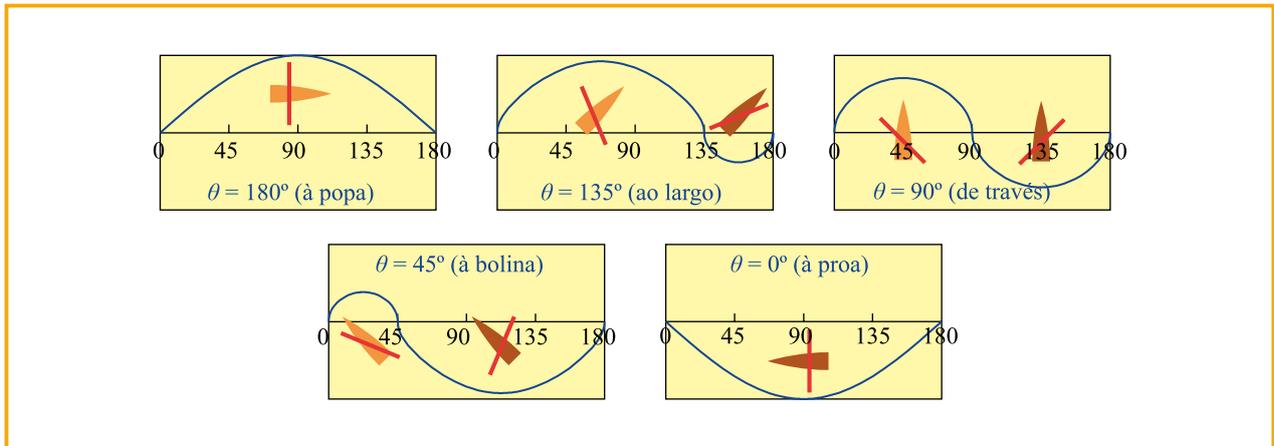


Fig. 11 - Gráficos da velocidade V do barco (no eixo vertical) em função do ângulo β feito entre a vela e a quilha (no eixo horizontal) para diferentes rumos. Indicam-se as posições da vela que proporcionam as velocidades máxima (barco mais claro) e mínima (barco mais escuro) em cada caso.

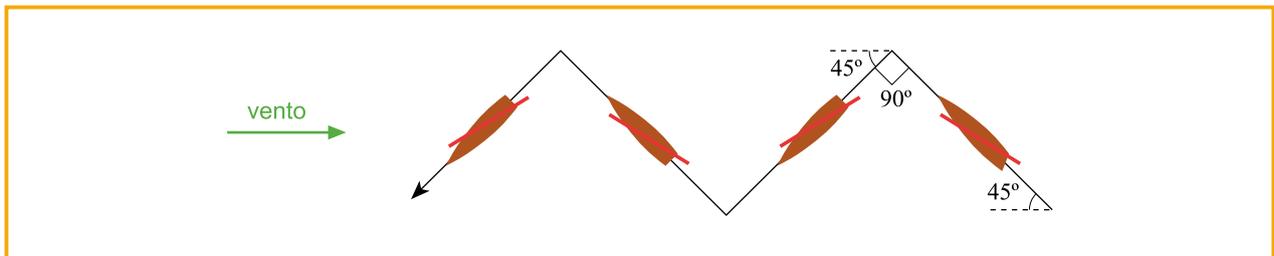


Fig. 12 - Pode-se deslocar um barco no sentido oposto ao do vento navegando a 45° do vento até um dado ponto, rodando o barco 90° e navegando a mesma distância a 45° do vento para o outro lado, voltando a rodar o barco e assim sucessivamente.

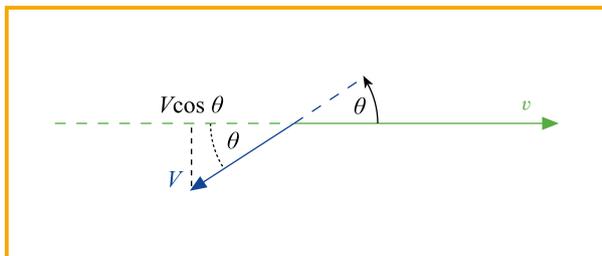


Fig. 13 - Projecção da velocidade do navio no sentido oposto ao do vento.

Nos limites $\sigma \rightarrow 0$ e $\sigma \rightarrow \infty$ obtém-se

$$\frac{d}{d\theta} \left(\sigma v \sin \frac{\theta}{2} \cos \theta \right) = 0 \Rightarrow \theta = \arccos \frac{2}{3} = \pm 48,2^\circ \quad (43)$$

$$\frac{d}{d\theta} \left(\frac{\sigma v}{2} |\sin \theta| \cos \theta \right) = 0 \Rightarrow \theta = \pm 45^\circ \quad (44)$$

respectivamente, onde escolhemos as soluções correspondentes aos máximos. Para valores intermédios de σ , o ângulo óptimo encontra-se entre estes dois limites, quer dizer, sempre próximo dos 45° , o que justifica o método de fazer bordos navegando sempre a 45° do vento e rodando o barco 90° sempre que se alterna o bordo, tal como indicado na Fig. 12.

Os rumos inferiores a 45° e não apenas o rumo 0° constituem a zona de não-navegabilidade no sentido em que não se deve navegar directamente nesses rumos mas sim fazer bordos para alcançá-los (Fig. 14). Há três motivos para isso:

- É sempre mais rápido fazer bordos do que seguir o rumo pretendido se $|\theta| < 45^\circ$, como acabámos de demonstrar.

- Na prática as velas não podem ser demasiado caçadas (alinhadas com o vento) porque começam a ondular, dissipando a energia que se pretende aproveitar.

- O abatimento (movimento lateral do barco) torna-se muito significativo para estes rumos, como vamos ver na secção seguinte.

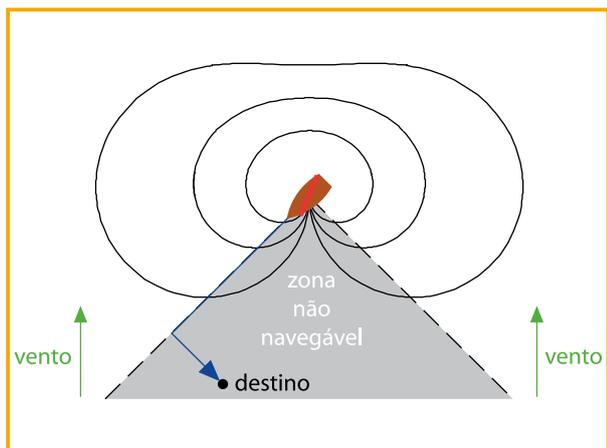


Fig. 14 - A maior componente da velocidade no sentido contrário ao vento atinge-se para rumos de cerca de $\pm 45^\circ$ para qualquer valor da constante σ . Todos os rumos inferiores, a sombreado nesta figura, não são navegáveis directamente. Para atingi-los devem seguir-se os bordos, como se exemplifica com a seta azul a seguir para alcançar o destino marcado.

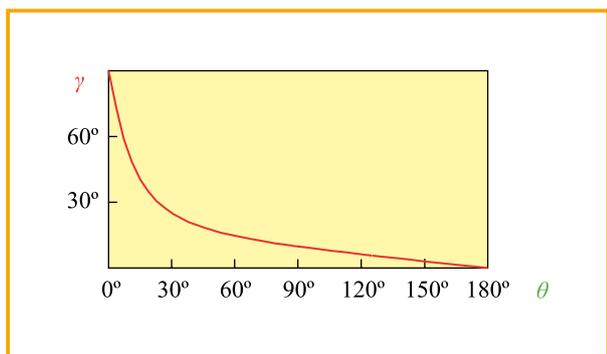


Fig. 15 - Gráfico do abatimento em função do rumo real para $\eta = 0,1$ e $\sigma = 1$.

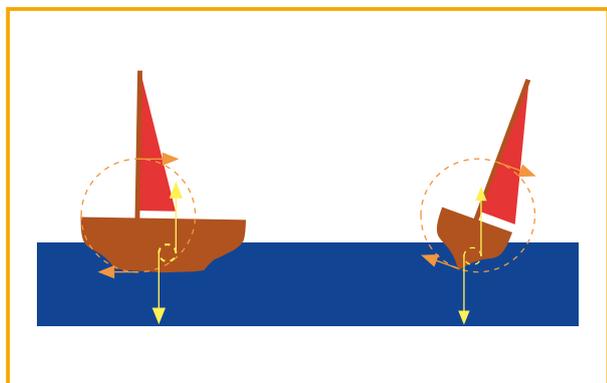


Fig. 16 - Binários força do vento-força do mar (cor-de-laranja) e peso-impulsão (amarelo). Na direcção longitudinal do navio (à esquerda) uma pequena inclinação produz o mesmo binário peso-impulsão que uma inclinação maior produz na direcção transversal (à direita), pelo que a inclinação na direcção paralela à quilha é insignificante.

ABATIMENTO

Na Fig. 15 apresentamos um gráfico do abatimento em função do rumo para $\eta = 0,1$, calculado a partir da equação (33), onde é visível que o abatimento é significativo na navegação à bolina. O aumento da área longitudinal do navio (por exemplo pelo aumento do tamanho do patilhão) permite reduzir o valor da constante η e assim reduzir o abatimento. Mas, por pequeno que seja o abatimento, ele torna-se sempre importante para rumos suficientemente pequenos porque quanto mais contra o vento se navega, maior é a componente da força do vento perpendicular ao casco que produz o abatimento (Fig. 7). Quando $\theta \rightarrow 0^\circ$, $\theta_{ap} \rightarrow 0^\circ$ por (8) e $\gamma \rightarrow 90^\circ$ por (33).

Embora a soma das forças aplicadas sobre a vela e sobre o casco do navio seja nula, os pontos de aplicação destas duas forças são distintos, e elas formam um binário com momento de forças de módulo

$$M = Fd \quad , \quad (45)$$

sendo F o módulo das forças e d a distância perpendicular à direcção das forças que separa os seus pontos de aplicação. Este binário inclina o barco e o ponto de aplicação da força de impulsão afasta-se da linha vertical que passa pelo centro de gravidade, passando esta força a formar outro binário com o peso do navio com momento de forças de sentido contrário ao primeiro (Fig. 16).



Fig. 17 - Veleiros da regata *America's Cup* a navegar com o vento à popa (esquerda) e à bolina (direita). Fotografias da Associated Press.

Enquanto a distância d é constante para o binário vento-mar (aproximadamente a altura do mastro), ela cresce com a inclinação do navio para o binário peso-impulsão, sendo proporcional às dimensões lineares do navio. O navio equilibra-se na posição inclinada para a qual os dois binários se compensam. Sendo o comprimento do navio muito maior do que a sua largura, a inclinação na direcção da quilha é quase nula mas não na direcção transversal à quilha. Por isso é que os barcos navegando à bolina, com forte componente da força do vento na direcção transversal à quilha, se inclinam. Na Fig. 17 vêem-se dois barcos a navegar com o vento à popa, com as velas perpendiculares

à quilha, e os mesmos dois barcos a navegar à bolina, com as velas quase paralelas à quilha e bastante inclinados.

CORRENTES MARINHAS

Navegando na presença duma corrente marinha com velocidade \vec{V}_{cor} a força exercida sobre o casco do navio depende da velocidade aparente do mar

$$\vec{V}_{\text{ap}} = \vec{V}_{\text{cor}} - \vec{V} \quad . \quad (46)$$

Então a análise feita nas secções anteriores pode ser repetida, desde que nas equações (12)-(13) as quantidades V e γ sejam substituídas por V_{ap} e γ_{ap} , sendo o abatimento aparente γ_{ap} definido com referência à velocidade relativa \vec{V}_{ap} .

Como as velocidades das correntes marinhas são frequentemente muito inferiores à velocidade do vento, a velocidade do navio não é muito afectada pela presença de correntes mas o abatimento pode tornar-se significativo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço os comentários do Engenheiro Luís Marques Paz, do velejador Zim Garoupa e do surfista João Brilhante. Este artigo é baseado numa palestra apresentada no encontro “Física 2005 Açores”, realizado na Universidade dos Açores, integrado nas actividades do Ano Internacional da Física 2005, e patrocinado pela Sociedade Portuguesa de Física.

REFERÊNCIAS

- [1] Lev Landau et Eugene Lifchitz, *Mécanique des fluides*, Éditions Mir, Moscou, 1971.
- [2] Frank White, *Mecânica dos Fluidos*, McGraw-Hill, Rio de Janeiro, 2002.
- [3] L. J. Clancy, *Aerodynamics*, Pitman Publishing, London, 1975.
- [4] Bryon Anderson, *The physics of sailing explained*, Sheridan House, New York, 2003.
- [5] Pierre Bouguer, *Solutions des principaux problèmes de la manoeuvre des vaisseaux*, Académie Royale des Sciences, Paris, 1754.

Visite o nosso "site"

<http://spf.pt>

e faça-se sócio da Sociedade Portuguesa de Física

Ludwig Boltzmann, cujo centenário de morte se celebrou em 2006, foi não apenas um pensador original como também um cientista de múltiplos interesses. Além da sua obra pioneira em mecânica estatística, os seus trabalhos em electromagnetismo e as suas palestras sobre aeronáutica foram fundamentais para a aceitação da teoria de Maxwell na Europa, assim como para a formação da opinião pública em ciência e tecnologia na transição do século XIX para o século XX.

SÍLVIO RENATO DAHMEN

Instituto de Física da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul
91570-051 Porto Alegre RS
Brasil

Institut für Physik der Universität Würzburg
D-97074 Würzburg
Alemanha

silvio.dahmen@physik.uni-wuerzburg.de

LUDWIG BOLTZMANN

VIDA E OBRA

Em Setembro de 1906 encerrava-se, de forma trágica, a vida daquele que é considerado um dos maiores expoentes da Física do século XIX: Ludwig Boltzmann (1844-1906). O seu suicídio, fruto de um profundo estado depressivo que, segundo alguns dos seus biógrafos, teria sido causado pelos constantes ataques e incompreensão dos seus pares, parece não condizer com uma vida académica precoce e brilhante: com apenas 25 anos Boltzmann já havia sido nomeado para a cátedra de Física Matemática em Graz, vindo a ocupar posteriormente cátedras noutras distintas universidades, como Leipzig, Munique e Viena. Aclamado como físico e admirado como professor, mas incompreendido pela sua originalidade, Boltzmann teve uma vida cujas contradições reflectem de certo modo as grandes mudanças políticas e sociais da época em que viveu.

Se hoje, passado um século da sua morte, ainda nos lembramos de Ludwig Boltzmann acima de tudo como um dos criadores da mecânica estatística, a sua obra em física foi tão vasta e multifacetada quão multifacetados foram os seus interesses. De facto, esta universalidade, característica dos grandes físicos, teve em Boltzmann um de seus expoentes máximos. Ao longo de 41 anos de actividade como professor e pesquisador Boltzmann publicou 139 artigos sobre os mais diversos assuntos: trabalhos experimentais em electromagnetismo e acústica, teoremas sobre séries de Fourier, além de importantes contribuições para a mecânica, óptica e teoria da elasticidade. Foram porém as suas contribuições seminais para a termodinâmica e para a teoria cinética e o volume desta sua obra – 57% da totalidade dos seus artigos foram publicados nesta área – que fizeram dele o mais profícuo de entre os fundadores da mecânica estatística. Os seus trabalhos, não raro longos tratados de mais de cem páginas, ainda hoje são objecto de importantes estudos. A esta portentosa obra científica jun-

ZMANN:

taram-se artigos populares de cunho filosófico, histórico, assim como livros, elegias e resenhas.

Analisar Boltzmann, apesar de ser uma tarefa gratificante, constitui uma empreitada cercada de desafios em função do volume, da abrangência e da necessária contextualização histórica da sua vasta obra. Restringir-nos-emos assim a alguns aspectos que nos parecem mais relevantes por permitirem uma visão geral sobre a vida e a obra de tão importante cientista.

ESBOÇO BIOGRÁFICO

Ludwig Eduard Boltzmann nasceu em Viena em 29 de Fevereiro de 1844, na noite de terça-feira gorda para quarta-feira de cinzas. Este facto, como ele jocosamente gostava de lembrar, seria a razão pela qual o seu estado de espírito estava sujeito a súbitas mudanças, da mais efusiva alegria à mais profunda tristeza. O seu pai, Ludwig Georg, cujos antepassados se haviam mudado das regiões de Berlim e Frankfurt-am-Oder para Viena, era um funcionário fiscal.

A mãe Katharina, de baptismo Pauernfeind, provinha de uma família de pequenos comerciantes de Salzburgo. Boltzmann cresceu em Wels e Linz e, até à sua entrada no liceu em 1854, teve aulas sob a responsabilidade de tutores privados. Não apenas excelente aluno, Boltzmann era também excelente pianista, tendo sido estudante do ainda jovem compositor Anton Brueckner (1824-1896). A profunda paixão pela obra de Ludwig van Beethoven (1770-1827) só se comparava à sua admiração pelo poeta Friedrich Schiller (1759-1805), em quem constantemente buscou inspiração nos seus escritos populares. Em 1863, ano de conclusão da sua *Matura*, Boltzmann iniciou

estudos em matemática e física na Universidade de Viena, um período auspicioso dadas as reformas inovadoras que as universidades do Império então experimentavam. Em Viena encontrava-se o ainda jovem Joseph Stefan (1835-1893), que viria mais tarde a ser seu orientador de doutoramento, bem como Andreas Freiherr von Ettingshausen (1796-1878), um dos pioneiros das ciências exactas na Áustria. Também Christian Doppler (1803-1853), falecido alguns anos antes, aí deixara a sua profunda marca.



Fig. 1 - Ludwig Boltzmann numa gravura de August Steinberger para o frontispício da colectânea dos seus trabalhos.

Seis semestres após o seu ingresso na universidade, mais precisamente no dia 19 de Dezembro de 1866, Boltzmann recebeu o título de Doutor em Filosofia. Ainda estudante Boltzmann publicou dois artigos científicos e após o doutoramento concluiu os estudos em Física e Matemática ao completar um bem sucedido estágio prático no *Akademisches Gymnasium* de Viena no ano escolar de 1867/1868. Em 1869 foi nomeado para a cátedra de *Ordinarius* em Física Matemática na Universidade de Graz, cargo no qual permaneceu até 1873. A nomeação de Boltzmann para esta cátedra tem uma história interessante: com a abertura

da Faculdade de Medicina em Graz no ano de 1863, as autoridades universitárias viram-se diante da necessidade de melhorar consideravelmente a oferta de disciplinas em Ciências Naturais não apenas em quantidade mas principalmente em qualidade. A Física estava então representada por apenas um professor cuja capacidade face às novas exigências deixava muito a desejar. Foi assim criada uma vaga de *Extraordinarius* que, por questões políticas, foi mascarada sob a designação de Física Matemática. Ernst Mach (1838-1916), então *Ordinarius* do Instituto de Matemática, conseguiu que esta vaga fosse elevada à categoria de *Ordinarius*, vindo a ocupá-la até 1867. Quando trocou Graz por Praga um ano depois, a cadeira ficou novamente vaga e, ao ocupá-la em 1869, Boltzmann foi incumbido, entre outras coisas, de renovar os laboratórios do Instituto. Começava assim o seu longo envolvimento com a Física Experimental.

Os anos posteriores de Boltzmann foram marcados por uma produção científica crescente, de qualidade, bem como por várias mudanças de domicílio, muitas vezes ditadas por questões financeiras. Entre 1873 e 1876 Boltzmann foi *Ordinarius* de Matemática em Viena, para então retornar a Graz, onde ficou 14 anos na cátedra de Física Geral e Experimental. Foi o maior período que Boltzmann passou numa única universidade e, segundo as suas próprias palavras, os anos mais felizes da sua vida. No ano da sua mudança para Graz, 1876, Boltzmann casou-se com Henriette von Eigentler. Desta união nasceram três filhas e dois filhos. A esposa de Boltzmann, a primeira mulher a cursar a Licenciatura em Física Matemática em Graz numa época em que o acesso de mulheres à universidade não era permitido na Áustria, teve um efectivo apoio conjugal. Ao feliz período em Graz seguiram-se as cátedras de Física Teórica em Munique (1890-1894), Viena (1894-1900), Leipzig (1900-1902) e novamente Viena (1902-1906).

Durante a sua carreira científica Boltzmann viajou muito pelo estrangeiro. Muito importantes foram as visitas ao Instituto dirigido por Hermann Helmholtz (1821-1894) em Berlim. Foi aí que Boltzmann iniciou o seu envolvimento experimental com o Electromagnetismo (o contacto teórico já ocorrera com a sua tese de doutoramento). A sua atitude tipicamente “austríaca”, de bem com a vida, parece não ter gerado boas impressões na rígida capital prussiana, motivo pelo qual ele viria a renunciar à oferta de uma cátedra naquela cidade em favor de Munique.

Os últimos anos de Boltzmann foram marcados por crescentes problemas de saúde, entre eles a perda progressiva da visão e crises depressivas. Durante uma estadia de repouso na costa do Adriático, em Duino, Boltzmann suicidou-se no dia 6 de Setembro, um dia antes de regressar a Viena.



Fig. 2 - Caricaturas de Boltzmann (1904) feitas por K. Przibram, seu aluno e futuro genro.

A OBRA DE BOLTZMANN EM FÍSICA

Uma parcela significativa dos trabalhos de Boltzmann em Física foi voltada para a aplicação de conceitos mecânicos ao movimento de partículas microscópicas como um meio de compreender as propriedades macroscópicas da matéria. Esta sua predilecção por modelos mecânicos, que inclusive o aproximou de Maxwell, foi a espinha dorsal do seu *modus operandi* e colocou-o posteriormente em rota de colisão com grandes cientistas da sua época. A aplicação de ideias da mecânica na termodinâmica não teve a sua origem em Boltzmann, mas ele foi talvez quem mais contribuiu para completar o programa mecânico-atomístico no século XIX. Rudolf Clausius (1822-1888) demonstrara em 1857 que a energia térmica de um gás era a energia cinética das suas moléculas – por outras palavras, a Primeira Lei da Termodinâmica não era mais do que uma lei mecânica de conservação de energia aplicada às partículas do gás. A partir de 1859 James Clerk Maxwell (1831-1879) desenvolveu uma teoria de processos de transporte em gases através da introdução de um novo e importante elemento: uma lei de distribuição *estatística* de velocidades de moléculas. Porém, se Maxwell e Clausius conseguiram explicar muitas das propriedades dos gases ao remeter uma parte da Termodinâmica para os fundamentos da Mecânica, o que dizer da Segunda Lei? Como explicar a evolução temporal irreversível da maioria dos processos naturais, a chamada *flecha do tempo*, a partir de leis mecânicas reversíveis temporalmente? A Segunda Lei era assim um corpo estranho no caminho da fundamentação mecânica da Termodinâmica. Foi através da busca da solução deste paradoxo que Boltzmann nos presenteou com aquele que é, nas palavras de Erwin Schrödinger (1887-1961), o seu maior legado à Física: mostrar que o que nos parece impossível é, na realidade, apenas improvável. Nenhuma lei física é violada se estilhaços de um copo

que caiu ao chão se juntarem novamente. Nunca observamos tal evento pelo simples facto de a sua probabilidade ser inimaginavelmente pequena. Boltzmann mostrou de maneira inquestionável como o conceito de probabilidade é fundamental para a descrição da Natureza.

Em 1866 Boltzmann publicou o seu primeiro artigo na área, cujo título “Acerca do significado mecânico da segunda lei da teoria do calor” deixa claro o objectivo do seu autor. Ele marca o início de um programa que levaria Boltzmann a generalizar em 1868 o trabalho de Maxwell sobre a distribuição de velocidades para o caso geral de partículas em interacção e o manteria ocupado ao longo da sua frutífera carreira. Entre 1868 e 1871 Boltzmann publicou uma série de trabalhos onde não apenas fez sua a técnica desenvolvida por Maxwell como a estendeu consideravelmente. Mas mais do que isso, foi nestes trabalhos que Boltzmann generalizou o teorema da equipartição da energia e , do ponto de vista dos desenvolvimentos futuros, lançou as sementes daquela que viria a ser uma importante área de pesquisa até aos nossos dias: a hipótese ergódica. O cerne da questão está na interpretação da função de distribuição de velocidades $f(\vec{r}, \vec{v}, t)$ que, segundo Maxwell, representava uma densidade de probabilidade, ou seja, $f(\vec{r}, \vec{v}, t)dV$ representava o número de moléculas num elemento de volume $dV = dx dy dz$ em torno do ponto $P(\vec{r})$, cujas velocidades se encontram entre \vec{v} e $\vec{v} + d\vec{v}$ num dado instante t . Para Boltzmann a função $f(\vec{r}, \vec{v}, t)$ pode ser interpretada não apenas deste modo, como também ser vista como a fracção de tempo, de um intervalo suficientemente longo, durante o qual a velocidade de uma molécula qualquer se mantém dentro de certos limites. A equivalência destas diferentes interpretações é uma questão não só pouco trivial, e Boltzmann sabia disto, como também fundamental para a validade da Mecânica Estatística como ciência, embora nem todos partilhem deste ponto de vista. De entre estes trabalhos, o de 1872, fruto de um longo processo de maturação, marca o grande passo da sua carreira, sendo considerado por muitos historiadores o seu mais importante trabalho: a dedução da Segunda Lei a partir das propriedades de uma equação hoje conhecida por *equação de Boltzmann*. A dedução em si é conhecida por *teorema H*¹. Se este trabalho é realmente o mais importante dentro da sua obra é algo questionável. Porém, não restam dúvidas de que o título “Estudos adicionais acerca do equilíbrio termodinâmico entre moléculas de um gás” do longo tratado de mais de cem páginas não faz jus à importância dos seus resultados.

A motivação de Boltzmann era estudar a natureza do equilíbrio termodinâmico e provar a unicidade da distribuição de Maxwell para descrever estados de equilíbrio. Maxwell já mostrara que a sua distribuição era estacionária, ou seja, que não se alterava em função de eventuais colisões entre partículas, mas para Boltzmann tal não bastava,

pois era necessário também provar que, qualquer que fosse o estado inicial do gás, ele tenderia sempre para uma distribuição de Maxwell. A solução de Boltzmann para esta questão veio na forma de duas equações. A primeira, a *equação de Boltzmann*, diz respeito à variação temporal da distribuição de velocidades e pode ser escrita como:

$$\frac{\partial f(x, t)}{\partial t} = \int_0^{\infty} \int_0^{x+x'} \left[\frac{f(x, t) f(x+x'-\chi, t)}{\sqrt{x} \sqrt{x+x'-\chi}} - \frac{f(x, t) f(x', t)}{\sqrt{x} \sqrt{x'}} \right] \sqrt{xx'} \Psi(x, x', \chi) dx d\chi.$$

onde x representa a energia cinética (Boltzmann, ao contrário de Maxwell, preferiu usar a energia cinética $x = \frac{1}{2}mv^2$ como variável, motivo pelo qual as raízes quadradas surgem na expressão acima). A interpretação física desta equação é simples: a variação da densidade f para uma dada energia x , é dada pelo acréscimo de partículas que antes da colisão tinham energia x' e após a mesma passaram a ter uma energia x menos aquelas partículas que tinham energia x e pela colisão passaram a ter uma energia diferente, ou seja, a equação acima nada mais é do que uma equação mestre. As raízes quadradas surgem pela escolha de Boltzmann em usar energias, quando hoje usamos velocidades, e a função Ψ leva em conta o tipo de interacção entre partículas. Se substituirmos nesta expressão a função f pela distribuição de Maxwell $f_M(x, t) \sim \sqrt{x} \exp(-ax)$ veremos que $\partial f_M / \partial t = 0$. Para Boltzmann, fora apenas isto que Maxwell conseguira provar e nada mais. Era necessário mostrar que, qualquer que fosse a distribuição inicial, esta evoluiria após um tempo suficientemente longo para a distribuição estacionária $f_M(x, t)$. Para tanto ele introduziu a grandeza

$$E = \int_0^{\infty} f(x, t) \ln \left[\frac{f(x, t)}{\sqrt{x}} - 1 \right] dx$$

e mostrou que, na eventualidade de $f(x, t)$ satisfazer a equação de Boltzmann, então

$$\frac{dE}{dt} \leq 0,$$

aplicando-se a igualdade apenas quando $f(x, t) = f_M(x, t)$. Verificou-se que esta grandeza, mais tarde por ele chamada H , era nada mais nada menos do que o simétrico da entropia de Clausius a menos de um factor multiplicativo e de uma constante aditiva.

De fundamental importância para o desenvolvimento da Mecânica Estatística foram as críticas dirigidas aos trabalhos de Boltzmann, em particular o *Umkehrwand* (objecção da reversibilidade) de Johann Loschmidt (1821-1895) e o *Wiederkehrwand* (objecção do retorno) de Ernst Zermelo (1871-1953). Estas e outras críticas que a elas se somaram foram importantes na medida em que permitiram a Boltzmann não apenas rever posições, buscando esclarecer pontos de seu trabalho, como também aprofundar questões de cunho mais metodológico, lançando as bases da Mecânica Estatística tal como hoje a conhecemos. O *Umkehrwand* de 1876 diz que se, por algum motivo, as velocidades das partículas de um gás mudassem de sinal num dado instante $t=\tau$, elas percorriam trajectórias inversas, atingindo em $t=2\tau$ o mesmo estado em que se encontravam no instante inicial $t=0$. Se a entropia aumentasse no primeiro caso, a reversibilidade implicaria uma evolução na qual a entropia diminuiria. Para Boltzmann este argumento era apenas um belo sofisma, pois a sua inaplicabilidade advinha do facto de o número de moléculas, mesmo num pequeno volume de um gás, ser tão espantosamente grande que uma inversão de todas as velocidades só poderia ocorrer com uma probabilidade infinitamente pequena. Com esta réplica, Boltzmann asseverou de maneira clara o carácter probabilístico da Segunda Lei, pois, segundo ele, a objecção de Loschmidt tornava clara a íntima relação entre probabilidades e a Segunda Lei.

Na sua resposta a Loschmidt, Boltzmann deduziu aquela que é sua equação mais famosa: $S=k_B \ln W$. Para mostrar que a entropia de um estado era uma medida da sua probabilidade de ocorrência e, portanto, o seu aumento poderia ser entendido como a evolução de um sistema de estados de menor probabilidade para aqueles de maior probabilidade, Boltzmann recorreu a uma técnica por ele já utilizada em 1872: a discretização do espectro de energias. Utilizando assim resultados da análise combinatória e da probabilidade, Boltzmann calculou o número de maneiras de distribuir um conjunto finito mas grande de partículas entre níveis, tal que a energia total fosse constante. A maximização da probabilidade assim calculada leva à equação mencionada acima. Ao aplicá-la a um gás não interaccionante Boltzmann chegou novamente à entropia de Clausius.

O *Wiederkehrwand* de 1896 baseava-se no teorema da recorrência de Poincaré, segundo o qual todo o sistema mecânico sob a acção de forças conservativas e cujas posições e velocidades sejam limitadas, obrigatoriamente passará, em algum instante t , num ponto do espaço de fase tão próximo quanto se queira do ponto em que se encontrava em $t=0$. Portanto, segundo Zermelo, a teoria cinética seria assim incapaz de explicar o fenómeno da irreversibilidade pois, nalgum momento, as condições

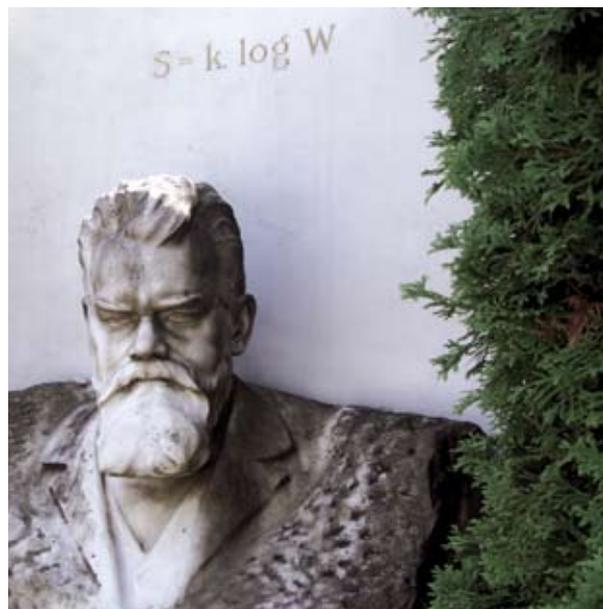


Fig. 3 - Lápide do túmulo de Boltzmann no Zentralfriedhof em Viena com a sua famosa equação.

iniciais do sistema retornariam, contradizendo a Segunda Lei. A resposta de Boltzmann foi irónica e directa: embora o teorema de Poincaré fosse correcto, não se poderia concluir que a teoria cinética estivesse incorreta sem antes se calcular o tempo necessário para uma recorrência. Para um pequeno volume de gás, da ordem de alguns centímetros cúbicos, este tempo é muitas ordens de grandeza superior à idade do universo e embora H possa aumentar, a probabilidade de que isto ocorra é infinitamente pequena. Utilizar Poincaré para concluir que a teoria cinética não é válida seria o equivalente à falácia de concluir que um dado é viciado apenas pelo facto de a probabilidade de lançar mil “uns” seguidos é muito pequena.

Se, do ponto de vista da metodologia e dos fundamentos, Boltzmann fez tão importantes contribuições, cabe aqui a pergunta sobre o motivo pelo qual a Mecânica Estatística nos é apresentada na formulação de Josiah Willard Gibbs (1839-1903). Boltzmann foi quem introduziu a ideia de *ensembles* (por ele chamados *Monoden*) num trabalho pouco citado de 1884. Gibbs, por quem Boltzmann tinha uma grande admiração, merece sem dúvida ser colocado ao lado deste como um dos criadores da Mecânica Estatística. Embora o grande historiador Martin J. Klein tenha afirmado que foi Boltzmann e não Gibbs ou Maxwell quem mostrou precisamente como a Segunda Lei está relacionada com a probabilidade, criando assim a Mecânica Estatística, a sistematização desta foi, em grande parte, obra de Gibbs. Mas as razões históricas da “preferência” por Gibbs e não Boltzmann estão bem documentadas e estão intimamente relacionadas com as disputas atomísticas do século XIX tão ao estilo do próprio Boltzmann. Embora considerado um professor brilhante, Boltzmann

era um escritor difícil. Esta dificuldade estava relacionada mais com a extensão dos seus trabalhos e com o facto de Boltzmann mudar muitas vezes o seu ponto de vista sem deixar isso claro para os seus leitores do que com o seu impecável alemão. Os seus artigos representavam um verdadeiro *tour-de-force* para a maioria de seus contemporâneos, inclusive Maxwell, que certa vez se manifestou a este respeito. Gibbs, por outro lado, era considerado um grande estilista, cujo trabalho, na sua formulação abstracta, evitava qualquer hipótese atomística da matéria ou “construtos” mecânicos. O atomismo de Boltzmann, juntamente com a sua predilecção por analogias mecânicas, que o aproximam de Maxwell, eram vistos como desprovidos de significado físico por alguns dos mais influentes físicos da época como Wilhelm Ostwald (1853-1932), Georg Helm (1851-1923) e Ernst Mach (1838-1916). Embora Boltzmann fosse ele próprio uma grande autoridade, estes nomes suscitavam respeito e a sua batalha parece ter sido a de um só homem, como o prefácio das suas *Aulas acerca da Teoria do Gás* deixa transparecer:

“Seria na minha opinião um infortúnio para a ciência caso a teoria dos gases fosse simplesmente esquecida em função da atitude litigiosa que contra ela hoje predomina... quão impotente uma única pessoa é contra a corrente vigente bem o sei. E ainda, naquilo que estiver ao alcance das minhas forças, faço aqui a minha contribuição retomando os aspectos mais difíceis e polémicos da teoria dos gases para que um dia, ao retornarem a ela, não seja necessário descobrir tudo novamente.”

No final, a história colocou-se ao lado de Boltzmann.

BOLTZMANN, O ELECTROMAGNETISMO E A TECNOLOGIA

Menos exploradas na literatura boltzmanniana foram as suas importantes contribuições para a verificação experimental da Teoria de Maxwell e a divulgação da mesma na Áustria e na Alemanha. Boltzmann era um grande admirador da obra do físico escocês: não apenas se doutorou com uma tese sobre Electromagnetismo como também leccionou a teoria maxwelliana nas universidades por onde passou, chegando a publicar um livro sobre o assunto. Foi também pelo estudo da obra de Maxwell em Electromagnetismo que Boltzmann tomou conhecimento dos trabalhos daquele cientista em Teoria Cinética.

Entre 1873 e 1874 Boltzmann publicou quase exclusivamente trabalhos experimentais sobre Electromagnetismo. Como a teoria de Maxwell afirmava que a luz era uma onda electromagnética, esperava-se que as propriedades ópticas dos meios pudessem ser explicadas com base nas suas propriedades eléctricas. Em particular, Maxwell

previra uma relação entre a constante dieléctrica ϵ e o índice de refração n na forma $\epsilon \sim n^2$. Boltzmann realizou uma série de experiências em cristais de enxofre e em gases para verificar a validade dessa relação. No enxofre a luz propaga-se com diferentes velocidades ao longo dos diferentes eixos ordenados, o que implica que os índices de refração dependam da direcção de propagação da luz. O caso dos gases representava um grande desafio experimental, dado que as respectivas constantes dieléctricas eram muito próximas da unidade, exigindo uma precisão nas medidas para além da terceira casa decimal. Boltzmann, numa demonstração de grande habilidade como físico experimental, desenvolveu técnicas e realizou as experiências com êxito, mostrando que os resultados obtidos eram, tendo em conta os erros experimentais, os previstos pela teoria maxwelliana. Apesar do seu importantíssimo trabalho em Electromagnetismo, Boltzmann comparava-o ao de um trabalhador braçal, cuja função era apenas a de retocar alguns pormenores no grande edifício construído por Maxwell. Talvez o seu mais significativo resultado nesta área, uma “*verdadeira pérola da Física Teórica*” nas palavras de Lorentz, tenha sido a dedução teórica da dependência da intensidade de radiação electromagnética com a temperatura, a chamada Lei de Stefan. Em 1879 Stefan havia estabelecido, a partir de resultados experimentais que a relação entre a densidade da energia de radiação térmica ρ_E e a temperatura T de um corpo negro tinha a forma $\rho_E \sim T^4$. Boltzmann deduziu a lei de Stefan a partir de argumentos puramente teóricos, partindo da hipótese de que a radiação exercia pressão sobre as paredes do recipiente que a continha. Desde então esta lei passou a ser conhecida como Lei de Stefan-Boltzmann.

Um outro capítulo interessante na vida de Boltzmann, em particular no que diz respeito à sua actuação como divulgador da ciência, revela-nos a admiração que ele tinha por novas tecnologias, em particular a aviação. Boltzmann viveu numa época de grandes pioneiros desta área. A sua palestra “*Acerca das Viagens Aéreas*”, apresentada por ocasião do 66º Encontro da Sociedade Alemã de Médicos e Cientistas Naturais em Viena, em 1894, é um contundente libelo em defesa desta actividade então pouco considerada pelas autoridades de seu país. Uma grande parcela da comunidade científica via nestes estudos apenas tentativas amadoras, carentes de uma fundamentação teórica mais sólida. Embora pioneiros como Otto Lilienthal (1844-1896) em Berlim, Wilhelm Kress (1836-1913) em Viena e Octave Chanute (1832-1910) nos EUA fossem engenheiros de sólida formação, um relatório de Helmholtz publicado em 1874, seis anos após o seu trabalho como presidente de uma comissão cujo objectivo era avaliar a possibilidade da construção de aparelhos voadores, manifestava uma posição relativamente pessimista sobre tal empreitada. Embora este relatório se referisse, a bem da verdade, apenas à inviabilidade de balões como meio

eficiente de transporte de passageiros e cargas, ele passou a ser visto como um documento de valor científico sobre qualquer tipo de transporte aéreo e recebeu grande atenção por parte da comunidade acadêmica da época. Boltzmann, ciente da sua envergadura como físico aclamado e do efeito que uma palestra sua em tão prestigiado evento teria sobre a opinião pública, defendeu de uma maneira apaixonada investimentos na área, sem porém deixar de apontar aquilo que considerava ideias errôneas nos trabalhos destes engenheiros, uma atitude que demonstra, sem sombra de dúvida, uma atitude de grande integridade ética para com a ciência, integridade esta que foi um dos marcos da sua carreira como cientista e homem público.

CONCLUSÃO

Não obstante Ludwig Boltzmann estar colocado junto a Maxwell e a Gibbs no panteão dos fundadores da Mecânica Estatística, os seus trabalhos experimentais em Electromagnetismo e sua decidida defesa dos avanços tecnológicos fazem dele um dos mais influentes físicos do século XIX. As suas muitas palestras de cunho científico, filosófico e histórico tornam-no um dos primeiros divulgadores da ciência. Como grande polemista, também se envolveu em grandes questões científicas da sua época: o atomismo e a teoria da evolução de Charles Darwin (1809-1882), para ele o maior cientista do seu século. A incompreensão relativamente à sua obra foi fruto de sua atitude combativa e desafiadora dos cânones da sua época.

BIBLIOGRAFIA

1. L. E Boltzmann, *Wissenschaftliche Abhandlungen*, F. Hasenöhr (Ed.), J. Barth, Leipzig 1909 (obras coligadas em três volumes).
2. L.E. Boltzmann, *Populäre Schriften*, Ambrosius Barth, Leipzig, 1905 (*Escritos Populares*. Tradução e Notas de A. A. Passos Videira, Ed. Unisinos, Novo Hamburgo, 2005. Esta tradução não inclui todos os textos da obra original).
3. E. Broda, *Ludwig Boltzmann: Mensch, Physiker, Philosoph*, Franz Deuticke, Viena, 1983.
4. C. Cercignani, *Ludwig Boltzmann: the man who loved atoms*, Oxford University Press, Oxford, 1998.
5. S. R. Dahmen, *A obra de Ludwig Boltzmann em Física*, Revista Brasileira de Ensino de Física **28**, 3 (2006).
6. M.J. Klein, “The development of Boltzmann's Statistical Ideas”, em *The Boltzmann Equation: Theory and Application*, E.G.D. Cohen e G. Uhlenbeck (Eds.), Springer, Viena, 1973.

NOTAS

- ¹ Na verdade, ao contrário do que muitos pensam, o H do teorema não se refere à oitava letra do alfabeto latino mas sim à maiúscula da letra grega η .



**SEGREDOS
DA LUZ
E DA MATÉRIA**
UMA EXPOSIÇÃO INTERACTIVA
DE CIÊNCIA

**A DIVERSIDADE
DA VIDA**
300 ANOS DE LINEU
EXPOSIÇÃO TEMPORÁRIA
SETEMBRO DE 2007
A FEVEREIRO DE 2008

ATELIERS PEDAGÓGICOS
VISITAS GUIADAS

HORÁRIO
TERÇA A DOMINGO
10:00 H - 18:00 H

MUSEU DA CIÊNCIA
LABORATÓRIO QUÍMICO
LARGO MARQUÊS DE POMBAL
3000 - 272 COIMBRA
T: +351 239 85 43 50
F: +351 239 85 43 59
GERAL@MUSEUDACIENCIA.PT
WWW.MUSEUDACIENCIA.PT

MUSEU DA CIÊNCIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Claude Cohen-Tannoudji nasceu em Constantine, na Argélia Francesa. Em 1953 foi para Paris onde, em 1962, fez o doutoramento na École Normale Supérieure sob a orientação dos Professores Kastler e Brossel. Entre 1964 e 1972 foi professor na Universidade de Paris e é, desde 1973, professor no Collège de France. Fez toda a sua carreira de investigação no Laboratório Kastler-Brossel onde dirige o grupo de átomos frios.

Entre muitas distinções, recebeu o prémio Ampère da Académie des Sciences, a Thomas Young Medal and Prize do Institute of Physics, o Lilienfeld Prize da American Physical Society, o Charles Townes Award da Optical Society of America e o Quantum Electronics Prize da European Physical Society. É membro da Académie des Sciences e “Foreign Associate” da United States National Academy of Sciences e da American Academy of Arts and Sciences. É autor de vários livros entre os quais se destaca *Mécanique Quantique*, escrito em co-autoria com Bernard Diu e Franck Laloë.

Em 1997, partilhou o prémio Nobel da Física com William D. Phillips e Steven Chu, pela manipulação e arrefecimento dos átomos, com a luz produzida por lasers.

Cohen-Tannoudji esteve em Lisboa, em Setembro de 2006, a convite do Centro de Física Teórica e Computacional da Universidade de Lisboa, onde proferiu uma palestra intitulada “Ultracold Atoms and molecules: Achievements and Perspectives”. Foi nessa ocasião que falei com ele.

Entrevista de

PATRÍCIA F. N. FAÍSCA

Centro de Física Teórica e Computacional
da Universidade de Lisboa

Av. Prof. Gama Pinto, 2

1649-003 Lisboa

patnev@cii.fc.ul.pt

Entrevista a Claude Cohen-Tannoudji

“A CIÊNCIA É UMA AVENTURA EXCITANTE!”

Em 1953, quando entrou para a École Normale Supérieure, qual era a sua ideia: fazer a “agrégation” em física ou em matemática?

Inicialmente foi pela matemática que me senti atraído e por isso estava a pensar em estudar matemática. Mas nessa altura conheci professores de física excepcionais - o Alfred Kastler, por exemplo -, que me fizeram mudar de ideias e estudar física.

Mas então foi a física propriamente dita que o atraiu, ou foram os seus professores de física?

Foi principalmente a personalidade dos professores. O Alfred Kastler era uma figura excepcional. Era uma espécie de poeta da física. Ensinava física atómica com imensa imaginação e fantasia e, na realidade, foi a personalidade dele que me atraiu para a física.

Em 1955 entrou para o grupo de Alfred Kastler onde realizou investigação, grande parte da qual baseada em trabalho experimental, para obter o “diploma”. O seu contacto inicial com a experimentação influenciou muito a sua carreira como físico?



Sim, sem dúvida. A maioria dos alunos do grupo do Alfred Kastler e do Jean Brossel faziam teoria e experiência. No meu caso particular, o trabalho foi só experimental. Quando se fazem experiências, desenvolve-se uma visão concreta daquilo que se está a estudar e adquire-se uma ideia das ordens de grandeza relevantes. Depois, quando se usam modelos para explicar as observações, o ponto de partida é um conhecimento muito concreto dos fenómenos. Acho importante para qualquer físico um treino experimental, ou um contacto próximo com os aspectos experimentais, que lhe dê a noção do que é uma experiência, das limitações do trabalho experimental, das ordens de grandeza no fenómeno em estudo e dos parâmetros físicos importantes. É uma parte crucial do treino de qualquer físico.

Foi nessa altura que começou a ser cientista?

Sim, certamente. Quando somos alunos temos uma espécie de visão idealista do que é a ciência. Lemos livros e tentamos aprender teoremas e coisas do género. Mas, quando estamos no laboratório, somos confrontados com dificuldades, tentamos interpretar o que observamos, temos que discutir com os colegas e procurar falhas nas experiências. Penso que trabalhar no laboratório é essencial

para desenvolver uma abordagem científica que consiste em observar, tentar perceber, criar um modelo e verificá-lo.

Actualmente ainda faz experiências no seu trabalho de investigação?

Não, agora já não, mas no início da minha carreira eu próprio fiz experiências, ou colaborei nelas. Isso aconteceu, não só para o “diploma” e durante o doutoramento, mas também quando comecei a orientar alunos. Hoje em dia viajo tanto que não tenho tempo para estar pessoalmente envolvido nas experiências. Apenas acompanho o que se passa.

Como é que avalia o trabalho computacional na sua área de investigação e em geral na física?

Eu sou de uma geração que não está muito familiarizada com os computadores. E devo dizer que no meu trabalho científico nunca tive que usar um computador para desenvolver um modelo, testá-lo ou fazer sequer um cálculo. Apenas uso computadores para escrever manuscritos e para preparar apresentações. Não recorro ao computador para fazer simulações e coisas desse género. Os meus colaboradores mais jovens, esses sim, estão muito mais

à vontade com o trabalho computacional. É claro que, por um lado, acho o trabalho computacional importante, mas por outro lado, penso que pode ser perigoso cair na tentação de recorrer imediatamente ao computador para encontrar a solução de um problema. Penso que é melhor fazer modelos muito simplificados, para os quais seja possível obter resultados analíticos, e só depois de entendermos o fundamental é que devemos usar o computador para descobrir os parâmetros mais importantes. Penso que o trabalho computacional é muito importante, mas pode ser perigoso se nos restringirmos a ele. Uma boa combinação consiste em tentar encontrar modelos qualitativos, que nos dão uma ideia do que se passa, e só depois usar o computador para encontrar, com o auxílio de modelos mais quantitativos, os parâmetros relevantes. Existe o perigo de o trabalho computacional nos impedir de ver o modelo mais simples por não ser necessário simplificar a situação. Fazemos os nossos cálculos e quando obtemos um resultado não temos uma ideia qualitativa sobre o que acontece na realidade, sobre o que é essencial, não sabemos o significado real do nosso resultado.

Considera que a atribuição do prémio Nobel, pelo desenvolvimento de métodos para arrefecer e confinar átomos com luz laser, foi o pico da sua carreira?

Penso que se dá demasiada importância ao prémio Nobel. Existem muitos cientistas que o podiam ter ganhado. Não devemos estar obcecados com ele. Conheço pessoas que vivem obcecadas com a ideia de ganhar o Nobel e acho isso mau e perigoso. Claro que ganhar o Nobel é uma enorme motivação, não só para a pessoa que o recebe e para os seus colegas, como também para todas as outras pessoas que trabalham nesse campo; mas não é tudo. Penso que, geralmente, embora nem sempre, o prémio surge numa altura que não coincide com o pico da nossa produtividade científica: reporta-se a um trabalho feito há já algum tempo - eu, por exemplo, tinha 64 anos

quando o recebi. A coisa mais emocionante quando se faz investigação é ter ideias novas e treinar e ensinar alunos. A produtividade máxima não é aos 64 anos, é aos 35-40 anos. O prémio Nobel pode coincidir com o pico da nossa produtividade, mas na maioria dos casos isso não acontece. Algumas pessoas recebem o prémio Nobel muito jovens e isso pode "matá-los": existe demasiada pressão por parte dos média e, quando se é muito jovem, pode perder-se a noção da realidade.

Podem explicar-nos os mecanismos físicos envolvidos no arrefecimento de átomos neutros? Qual é a diferença entre o mecanismo de arrefecimento Doppler, proposto em 1975 por Hansch e Schawlow, e os mecanismos de arrefecimento Sisyphus e sub-recuo propostos pelo seu grupo nos anos 1980?

A questão fundamental é como usar a luz para mudar as propriedades dos átomos. Quando um fóton é absorvido por um átomo, este sofre um "recuo" que altera a sua velocidade. Num feixe laser, este efeito pode ser repetido muitas vezes de modo a obter grandes variações de velocidade, como se o átomo fosse "travado" por uma força de enorme intensidade. O efeito Doppler faz com que a frequência da luz "vista" por um átomo se aproxime ou se afaste da frequência de ressonância, conforme a velocidade a que o átomo se desloca. Assim, dependendo da sua velocidade, os átomos absorvem mais ou menos fótons e a força que actua sobre eles é maior ou menor. Esta diferença é crucial para arrefecer, ou seja, travar, os átomos de grande velocidade (Fig. 1).

O mecanismo de arrefecimento por efeito Sisyphus, que permite atingir temperaturas muito mais baixas, é completamente diferente. Combina o que eu chamaria um efeito dissipativo, absorção e emissão de luz, com um efeito reactivo, uma separação, devida à luz, dos subníveis do estado fundamental. Modulando espacialmente a polarização da luz, podem criar-se situações em que um átomo sobe a

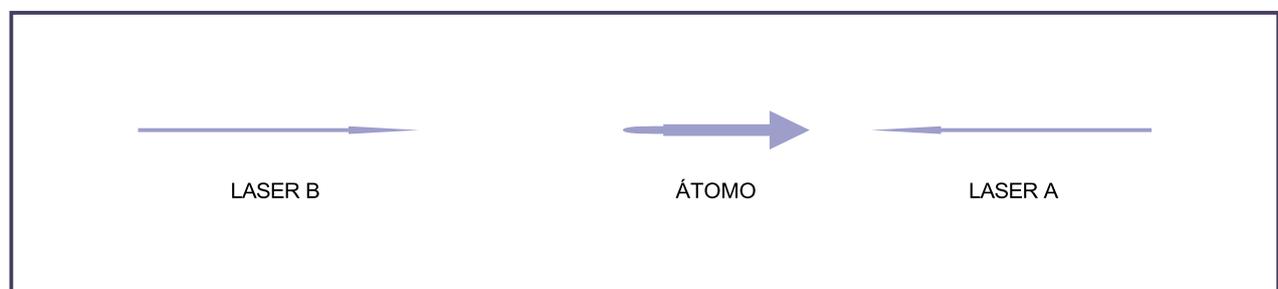


Fig. 1 - Consideremos um átomo que se desloca sujeito a duas ondas laser de frequência ligeiramente inferior à frequência de ressonância e que se propagam em sentidos opostos. Devido ao efeito Doppler, se o átomo se deslocar, por exemplo, da esquerda para a direita, a frequência do feixe **A** aproxima-se da frequência de ressonância, e a de **B** afasta-se ainda mais. Se a velocidade do átomo tiver o sentido contrário, é a frequência de **B** a que se aproxima da ressonância, e a de **A** a que se afasta. O resultado global dos múltiplos recuos é sempre o equivalente a uma força que se opõe à velocidade do átomo.

encosta de um potencial e é colocado de novo no fundo quando chega ao topo, e assim sucessivamente. O limite inferior por arrefecimento Sisyphus é mais baixo do que o limite inferior por arrefecimento Doppler, o que o torna mais eficiente. Mas é claro que ambos os efeitos são importantes, porque se começa com arrefecimento Doppler, continua-se com arrefecimento Sisyphus, e pode-se ir ainda mais longe por sub-recuo, um mecanismo que não está limitado pela velocidade de recuo do átomo. O arrefecimento por evaporação é uma outra forma de arrefecimento que permite atingir temperaturas extremamente baixas.

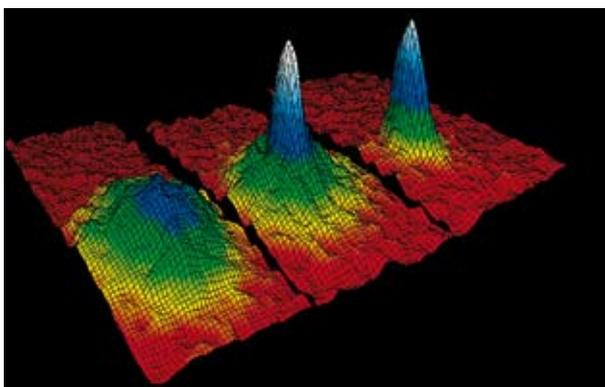


Fig. 2 - Condensado de Bose-Einstein.

O que é atraente neste campo é a existência de muitos mecanismos possíveis, que podem ser bastante diferentes, e têm limites de arrefecimento diferentes. Ao combiná-los podemos atingir temperaturas cada vez mais baixas.

Qual foi a sua reacção ao feito de Eric Cornell e seus colaboradores quando, em 1995, conseguiram criar o primeiro condensado de Bose-Einstein de um gás diluído?

Fiquei muito impressionado, porque foi como conseguir o Santo Graal da física atômica. Além disso, o trabalho era de uma qualidade excelente. Este é um campo no qual os cientistas têm tido surpresas sobre surpresas, e todas elas boas. Nós tínhamos muitos sonhos que se tornaram realidade. A condensação de Bose-Einstein (BEC) era um sonho e conseguimos observá-la. O mesmo se passa com os computadores quânticos. As pessoas têm vindo a sonhar com eles e esperamos que um dia se tornem reais.

A teoria BEC de Einstein foi durante muito tempo considerada irrealista porque lidava com gases perfeitos. À baixa temperatura à qual a BEC estava prevista a maioria dos átomos estão no estado sólido ou líquido e, portanto, muito longe de um gás perfeito. Hoje em dia sabemos arrefecer gases muito diluídos até temperaturas muito baixas. A essas temperaturas, o comprimento de onda de de Broglie dos átomos é maior do que a distância média entre eles (uma

condição necessária para a BEC). Como essa distância média é maior do que o alcance das interações entre pares de átomos (uma situação que se verifica para um gás diluído), as colisões de três corpos, que são necessárias primeiro para a formação de moléculas e depois para a formação de líquidos e sólidos, tornam-se muito raras e o sistema pode permanecer no estado gasoso por um período de tempo suficientemente longo para haver BEC.

O arrefecimento criogénico permite-nos atingir temperaturas da ordem do kelvin e milikelvin. Mas a escala dos micro e dos nano-kelvin parecia inatingível. Os novos métodos por arrefecimento laser e por evaporação abriram-nos a possibilidade de atingir esta gama de temperaturas, e nesta gama a BEC, tal como previra Einstein, deixa de ser um sonho... Às vezes, quando se atingem novas ordens de grandeza em física, cenários que pareciam pura especulação tornam-se reais.

Quais são na sua opinião as aplicações mais interessantes do arrefecimento por laser?

Para além da BEC, há experiências de alta resolução nas quais se consegue aumentar por várias ordens de grandeza a precisão das medidas. Espectroscopia de alta resolução, relógios atômicos e interferometria, e ainda outras situações relacionadas com a natureza ondulatória dos átomos e nas quais estes se comportam como ondas numa larga gama de parâmetros. O BEC permitiu estudar um novo estado da matéria, e o arrefecimento por laser é importante no campo da informação quântica, onde surgiram várias ideias baseadas na utilização de átomos arrefecidos por laser. A transição de Mott superfluido-isolador é também muito promissora neste aspecto.

Quais são os seus actuais interesses de investigação?

No meu grupo estamos a trabalhar em BEC, mas eu apenas sigo o que vamos fazendo sem estar envolvido numa experiência específica. O meu interesse principal é a mecânica quântica macroscópica.

Na sua autobiografia Nobel diz, a certa altura, que o seu pai lhe ensinou o que considera serem as características mais importantes da tradição judaica: estudar, aprender e partilhar o conhecimento com os outros. Como avalia a importância que a sua actividade pedagógica tem tido?

Tem sido essencial. Penso que precisamos de uma compreensão total daquilo que ensinamos. De facto, a melhor maneira para aprender uma coisa é ter de a ensinar. Eu tive imensa sorte em estar no Collège de France, porque aí temos que ensinar assuntos diferentes todos os anos. Claro que é muito difícil, mas ao mesmo tempo obriga-nos a ler imenso. Hoje em dia publica-se tanto que apenas lemos

o sumário de muitos trabalhos e damos-lhe uma vista de olhos rápida. Ensinar um certo assunto abordado num artigo obriga-nos a lê-lo em pormenor, e a perceber as ideias novas aí desenvolvidas. Ensinar algum assunto obriga-nos também a adoptar uma perspectiva abrangente, que é importante para desenvolvermos as nossas próprias ideias. De facto, decidi começar a fazer experiências de arrefecimento e “trapping” por causa daquilo que ensinei no Collège. Dei durante quatro anos aulas sobre arrefecimento de iões e átomos. Ao estudar os pormenores dos mecanismos, consegui desenvolver novas ideias e decidi trabalhar nesta área. Por isso, ensinar é essencial, e não imagino a investigação sem ensino, assim como não imagino o ensino sem a investigação. Se ensinarmos sem fazer investigação tornamo-nos obsoletos muito rapidamente.

Disse que Kastler era um poeta da física, que tinha imensas ideias elegantes, enquanto Brossel era um experimentalista notável que tinha um conhecimento profundo dos processos físicos. Concorde com Peter Medawar quando ele diz que a maior parte dos cientistas podiam com facilidade ter sido outra coisa qualquer?

Sim, certamente. Eu penso que a ciência é uma forma de cultura e que se pode fazer ciência com estilos muito diferentes. Podemos, tal como um poeta, enfatizar a elegância e a beleza de uma ideia ou de uma experiência. É uma questão que tem a ver com a nossa personalidade. O Alfred Kastler e o Jean Brossel tinham personalidades diferentes mas complementares. Tinham imensas ideias elegantes e bonitas. Mas também é muito importante, especialmente em mecânica quântica, onde as imagens podem ser enganadoras, que essas imagens sejam consistentes com a teoria, e isso não é nada fácil. O problema

da criatividade é imaginar situações novas, e ao mesmo tempo manter o rigor por forma a não nos perdermos em ideias sem sentido. É um equilíbrio delicado.

O livro de mecânica quântica que escreveu com Bernard Diu e Franck Laloë tem tido um enorme sucesso ao longo de trinta anos - eu diria mesmo, um sucesso sem igual entre os livros publicados em francês. Houve da parte dos autores a previsão deste sucesso? De que forma procuraram escrever um manual de mecânica quântica que fosse diferente dos outros?

Não, francamente não previmos este sucesso. De facto, a primeira crítica que tivemos do editor foi negativa, já que considerou o livro como demasiado detalhado. Nessa altura nós ensinávamos mecânica quântica, mas decidimos que não iríamos dividir o livro em três partes e escrever cada uma delas separadamente. Escrevemos cada capítulo após muitas discussões e muitas correcções. Levou-nos muito tempo, mas essa interacção foi muito importante para clarificar conceitos. Como estávamos a ensinar mecânica quântica, sabíamos quais eram as dificuldades dos alunos, e tentámos responder em antecipação às suas dúvidas. A estrutura que adoptámos, em capítulos e complementos, deu-nos a possibilidade de separar o núcleo duro dos assuntos complementares, com vários níveis de dificuldade que se podem estudar, caso se queira, ou deixar de lado numa primeira leitura. Isto deu ao livro uma certa flexibilidade, e é provavelmente por isso que ele é apreciado por públicos muito diferentes que nele conseguem encontrar o que procuram. Pode ser ajustado às necessidades de cada um. É um livro “self-service”! Foi uma boa ideia tê-lo feito assim, mas no início não nos apercebemos disso.

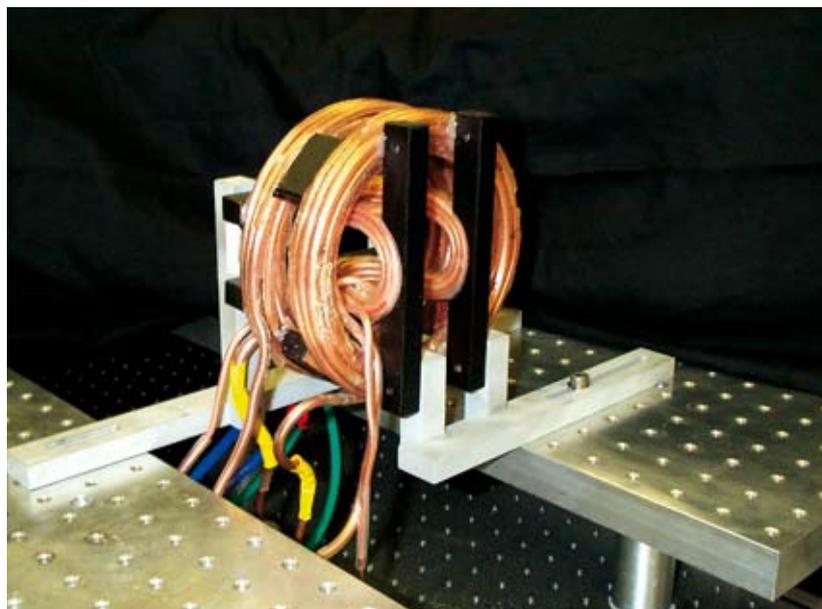


Fig. 3 - Ratoeira magnética.

O vosso livro teve um papel importante ao integrar vários tópicos da mecânica quântica nos programas da formação pré-graduada. Também foi importante na preparação de várias gerações de físicos e químicos. Acha adequados os currículos de física adoptados actualmente, ou existem tópicos que deviam ser introduzidos?

Tenho dificuldade em responder a essa pergunta porque deixei a universidade em 1973. Tenho estado no Collège onde ensinamos aquilo que queremos e por isso não tenho seguido a evolução do ensino da física nas últimas décadas. Penso que é importante manter uma visão moderna da física, bem como uma abordagem baseada nas experiências. Ao mesmo tempo, não devemos sobrecarregar os alunos com muitas matérias. É claro que, ao nível do ensino secundário, devemos tornar a física mais atraente mostrando a sua importância na vida do dia-a-dia: nos computadores, nos telemóveis, rádios, CD, DVD, etc. É importante ter a noção de que em qualquer objecto tecnológico existem efeitos quânticos. Também gostaria de enfatizar a importância de experiências pedagógicas do tipo “mãos na massa” que estão a ser testadas em vários países. Na escola primária, os miúdos mais novos, que são muito curiosos, devem explorar certas situações - com jogos ou pela observação de fenómenos simples e usando equipamento barato - que os levem a desenvolver uma abordagem científica e a fazer perguntas: “Por que é que isto funciona assim?”, “Como poderei ver que esta ideia é boa?” Penso que apresentar a ciência tal como ela é, como um jogo ou como uma história policial, e não como algo dogmático, é muito importante. Também acho que é importante ensinar história da ciência, mostrar como as coisas têm sido descobertas ou inventadas, e como o conhecimento tem progredido. É importante ter esta perspectiva histórica quando se tenta melhorar a educação.

O que acha de levar a ciência ao grande público?

Tal como a arte, a música e a poesia, a ciência e a aventura científica fazem parte da cultura. É crucial criar nas pessoas uma atitude crítica por forma a evitar que aceitem ideias falsas e sigam caminhos errados. As pessoas devem ser treinadas para examinar cada situação de uma forma crítica e não caírem em disparates como a astrologia e o misticismo. A ciência também nos ensina como é importante discutir com os outros. Para testarmos a nossa hipótese temos que admitir o erro, e o desenvolvimento da nossa capacidade de diálogo é uma protecção contra a intolerância e o fundamentalismo. Por isso, é preciso levar a ciência ao público para proteger a sociedade do racismo e de outros desvios. Claro que existem cientistas loucos e racistas, mas de uma maneira geral os bons cientistas são contra o fanatismo e o fundamentalismo e compreendem claramente os valores da tolerância e do diálogo.

É membro do comité executivo do *International Human Rights Network of Academies and Scholarly Societies*. Os cientistas, em especial os laureados com o Prémio Nobel, têm uma responsabilidade especial em assuntos de ordem ética?

Há que ter cautela. É evidente que devemos protestar contra qualquer violação dos direitos humanos e ter sempre em mente considerações de ordem ética. No entanto, o facto de termos ganho o Nobel não significa que possamos ter ideias sobre qualquer problema. Como laureado Nobel tento tomar posições apenas em assuntos que sejam do meu domínio, ou seja, ciência e educação. É claro que como cidadão posso ter as minhas próprias opiniões sobre questões que dizem respeito à sociedade ou assuntos filosóficos, mas não quero expressá-las na condição de vencedor do Nobel. Isso não seria justo. É por isso que neste comité nós apoiamos cientistas, na maioria dos casos perseguidos e encarcerados, e algumas vezes condenados à morte, por regimes extremistas. Assinamos cartas que podem ajudá-los porque o governo que os condenou sabe, a partir desse momento, que o caso se torna do domínio público. Em alguns casos temos tido sucesso em ajudar a libertar estas pessoas, mas nem sempre é assim.

Que mensagem devia ser transmitida aos mais novos por forma a aumentar o interesse das novas gerações pela física?

Penso que seria bom mostrar que a ciência não é aborrecida; é uma aventura excitante. Conseguir isto depende essencialmente da habilidade dos professores para atrair intelectualmente os alunos para a ciência. Infelizmente os média e a televisão são demasiado passivos. Os miúdos passam muito tempo em frente da TV e aceitam o que vêm de uma forma passiva. Quando eu era criança discutia com os meus pais e amigos o que acontecia no mundo. Tínhamos mais tempo para ler e para discutir com as outras pessoas. Hoje em dia existem muitas coisas que nos podem distrair. Seria importante desenvolver desde muito cedo a capacidade de reflexão.

Se pudesse regressar aos anos 50 optaria por voltar a estudar física?

A pergunta é abstracta e não sei a resposta. É óbvio que existem hoje grandes desafios na biologia; saber como funciona o cérebro, o que é a memória, a emoção e a consciência são questões fascinantes. Existem vários problemas “grandes”... Mas na física também há coisas excitantes! Mais uma vez acho que é uma questão de personalidades: temos que ter professores e colegas que sejam capazes de nos transmitir entusiasmo. O importante é que nos dediquemos com entusiasmo a um assunto em vez de aprendermos de uma forma passiva. Para progredir em ciência é necessário combinar conhecimentos de muitos campos diferentes. Seria um erro se toda a gente escolhesse a biologia porque precisamos também de muitas outras contribuições.

A rainha das supernovas

Astrónomos descobrem o primeiro planeta habitável

H-7: Descoberto hidrogénio mais pesado!

Memória de Marconi

FÍSICA NO MUNDO

A RAINHA DAS SUPERNOVAS

Com o auxílio do telescópio espacial de raios X Chandra e de telescópios terrestres, foi detectada a explosão estelar mais brilhante alguma vez registada. Esta explosão poderá ser um novo tipo de supernova há muito procurado. A descoberta indica que explosões violentas de estrelas com uma massa muito grande foram acontecimentos relativamente comuns no Universo jovem e que uma explosão semelhante poderá ocorrer a qualquer momento na nossa galáxia.

Segundo a equipa responsável pela descoberta, esta explosão foi verdadeiramente monstruosa, cem vezes mais energética do que uma supernova típica. Isto significa que a estrela que explodiu poderá ter possuído o limite superior de massa para estes corpos, cerca de 150 vezes a massa Sol, algo nunca antes observado.

Algumas notícias foram adaptadas das Physics News do American Institute of Physics.

A *Gazeta* agradece aos seus leitores sugestões de notícias do mundo da Física. gazeta@teor.fis.uc.pt

Os astrónomos acreditam que muitas das estrelas de primeira geração possuíam massas desta grandeza. A supernova agora descoberta poderá pois proporcionar uma “visão” rara do modo como as primeiras estrelas morreram. Não existem precedentes da morte de uma estrela de massa tão elevada.

A descoberta desta supernova, designada por SN 2006gy, mostra que a morte de estrelas de massa muito elevada é bastante diferente das previsões teóricas. Os astrónomos excluíram a explicação mais provável para o fenómeno observado. Ela era que uma anã branca, com uma massa ligeiramente superior à do Sol tivesse explodido num ambiente denso e rico em hidrogénio. Contudo, se tal fosse o caso, a SN 2006gy deveria ter sido mil vezes mais brilhante no comprimento de onda dos raios X do que foi detectado pelo Chandra. Este facto revela então que a SN 2006gy foi, de facto, originada pela morte de uma estrela de massa extremamente elevada.

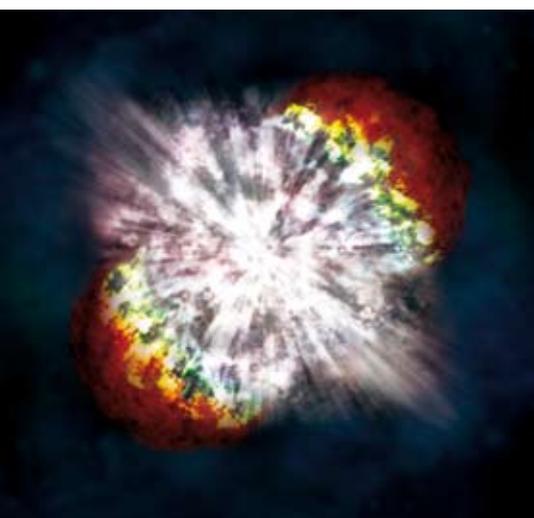


Ilustração artística da SN 2006gy
<http://www.oal.ul.pt/astronovas/estrelas>

Aparentemente, a estrela que deu origem à SN 2006gy expeliu uma grande quantidade de massa antes de explodir. Esta grande perda de

massa é semelhante à observada na Eta Carinae, uma estrela de grande massa da nossa galáxia. Isto leva a suspeitar que a Eta Carinae pode estar prestes a explodir. Embora a SN 2006gy seja intrinsecamente a supernova mais brilhante alguma vez detectada, encontra-se a cerca de 240 milhões de anos-luz da Terra, na galáxia NGC 1260.

Embora não se tenha a certeza de que a Eta Carinae esteja prestes a explodir, os astrónomos tencionam mantê-la “debaixo de olho”. Caso esta explodisse, o fenómeno poderia ser o maior espectáculo celeste na história da civilização.

Geralmente as supernovas ocorrem quando estrelas de massa elevada consomem todo o seu combustível e colapsam por acção da sua própria gravidade. No caso da SN 2006gy, o processo terá sido bastante diferente. Em certas condições, o núcleo de uma estrela de massa elevada produz uma tal quantidade de radiação gama que parte dessa radiação é convertida em pares de partícula e anti-partícula. Tal resulta na diminuição da pressão no núcleo da estrela, o que causa o seu colapso súbito por acção da enorme força de gravidade. Após este colapso violento, ocorrem reacções termonucleares descontroladas e a estrela acaba por explodir, espalhando os seus restos pelo espaço.

Os dados agora obtidos, para o caso da SN 2006gy, sugerem que as primeiras estrelas podem ter originado, frequentemente, supernovas espectaculares, ao invés de colapsarem por completo para um buraco negro como previsto antes. Assim, as supernovas teriam “poluído” a galáxia com grandes quantidades de novos elementos enquanto, no caso de um buraco negro, estes elementos teriam ficado “fechados” para sempre neste objecto.

ASTRÓNOMOS DESCOBREM O PRIMEIRO PLANETA HABITÁVEL

Astrónomos europeus anunciaram a descoberta do primeiro planeta extra-solar que aparenta ser semelhante à Terra, podendo mesmo conter água líquida à sua superfície.

Xavier Bonfils, investigador do Centro de Astronomia e Astrofísica da Universidade de Lisboa/Observatório Astronómico de Lisboa - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (CAAUL/OAL-FCUL) integra a equipa responsável pela descoberta.

Utilizando o telescópio de 3,6 m do Observatório Europeu do Sul, a equipa de cientistas descobriu uma super-Terra com aproximadamente 5 vezes a massa da Terra em órbita em torno de uma estrela anã vermelha. Esta estrela, catalogada como Gliese 581 (Gl 581), tem cerca de um terço da massa do Sol e “aloja” no seu sistema planetário, para além do pequeno planeta agora descoberto, um planeta com massa equivalente à de Neptuno, orbitando próximo da estrela, e um terceiro planeta com quase oito vezes a massa da Terra, mas no limite exterior da “região habitável” da estrela.

A super-Terra agora descoberta, para além de ser o menor planeta extra-solar, ou exoplaneta, encontrado até hoje, tem a particularidade de se localizar na “zona habitável” da estrela.

Embora seja necessário recolher e tratar mais dados sobre este planeta extra-solar, estima-se que a sua temperatura superficial se poderá situar entre os 0 e os 40 graus Celsius, o que possibilita a existência de água líquida e, conseqüentemente, abre possibilidades para existência de vida.

Comunicado do ESO sobre a descoberta: http://www.oal.ul.pt/index.php?link=hab_planet

H-7: DESCOBERTO HIDROGÉNIO MAIS PESADO!

Numa experiência realizada no GANIL, em França, foi observado e caracterizado o isótopo mais pesado do hidrogénio, H-7, cujo núcleo contém um único próton e seis neutrões. Todos os outros isótopos mais leves são já conhecidos: H-1 (hidrogénio comum), H-2 (deutério), H-3 (trítio) e H-4, H-5 e H-6. Tal como estes três isótopos pesados, também o H-7 não é bem um núcleo, entendido como um sistema ligado ao qual, em geral, é necessário fornecer energia para libertar um nucleão. O isótopo pesado H-7 é o que se designa por uma ressonância: um estado com um pequeno tempo de vida e que exige energia para forçar o neutrão adicional a manter-se ligado aos restantes nucleões.

A experiência que permite a identificação de H-7 usa um feixe de iões de hélio-8 (projectéis igualmente muito raros) para bombardear núcleos de carbono-12 presentes em gás butano. Registam-se algumas (raras) reacções em que o He-8 (hélio-8) cede um próton ao C-12 (carbono-12) produzindo H-7 e N-13 (azoto-13). O H-7 desaparece quase de imediato originando H-3 e libertando 4 neutrões; o N-13 é detectado e analisado no detector MAYA (designação inspirada na Abelha Maya!), um dispositivo do tipo câmara de bolhas. É a partir desta análise de dados referente ao N-13 que se tiram conclusões sobre a fugaz existência do H-7, cujo tempo de vida é da ordem de 10^{-21} segundos!

Segundo um investigador do GANIL, Manuel Caamaño Fresco, o estudo do isótopo H-7 é importante para a compreensão da matéria nuclear exótica. De facto, o H-7 poderá assumir, durante o seu breve tempo de vida, uma estrutura consistindo num “caroço” de H-3 e dois grupos de dois neutrões ou, em alternativa, uma “gota exterior” de quatro neutrões.

MEMÓRIA DE MARCONI

Completaram-se no dia 21 de Julho passado 70 anos sobre a morte, no ano de 1937, do físico e inventor italiano Guglielmo Marconi (nascido em Bolonha em 24 de Abril de 1874), Prémio Nobel da Física em 1909. A ele se deve a generalização e a comercialização da telegrafia sem fios (TSF), embora a descoberta das ondas de rádio se deva ao alemão Heinrich Hertz e a primeira patente sobre a TSF se deva ao físico norte-americano de origem croata Nikola Tesla.



A Fundação Portugal Telecom em conjunto com um grupo de história contemporânea da Universidade Nova de Lisboa preparou na Internet o “Sítio Marconi” com muitas informações interessantes sobre o cientista e empresário italiano:

<http://fundacao.telecom.pt/Default.aspx?tabid=246>

Ao contrário de Einstein, que passou em Portugal despercebido em 1925 (já depois do seu prémio Nobel de 1921), Marconi foi recebido em Portugal com todas as honras e por três vezes: em 1912, em 1920 e em 1929. Da primeira vez celebrou um contrato com o governo português, que não viria a ser cumprido da parte deste. Da segunda vez, veio a Sintra, a bordo do seu iate-laboratório, e foi recebido pelo Ministro da Marinha. Da terceira vez visitou a Companhia Portuguesa Rádio

Marconi, que tinha sido fundada em 1925 (e que foi incorporada na Portugal Telecom em 1995).

Na visita de 1912 foi recebido pelo Presidente da República Bernardino Machado, ele próprio um cientista.

Sobre a visita de 1920, transcreve-se deste sítio (<http://www.historia-energia.com/>) a notícia da Ilustração Portuguesa (nº 741, -5-1920, pp 311-312):

“Marconi, o sabio ilustre que todo o mundo admira, chegou a Lisboa, onde veio pela primeira vez, a bordo do esplendido “yacht Electra”. Acompanhavam-no sua esposa e filha e foi recebido com as honras que o prestígio do seu nome tem direito. Marconi é o descobridor da telegrafia sem fios e é por isso um dos nomes que a humanidade deve escrever em letras d’oiro. Quantas vidas salvas, que inenarráveis serviços o seu invento tem prestado? Pois o sabio Ilustre veio até Portugal e visitou Cintra a bela, tão bela que lord Byron que tudo achava detestavel não teve malquerenças para ela. O sr. ministro da Marinha ofereceu-lhe no hotel Costa um almoço e o sr. ministro de Italia um banquete no Avenida Palace. Marconi achou delicioso o nosso paiz e a bordo do seu “yacht” saíu o nosso porto com destino a Gibraltar, d’onde seguirá para Sevilha.”

Energia das ondas e das marés

Escola de Física 2007 no Porto

Prémio "Física na Escola"

Noite Europeia dos Investigadores 2007

Em busca da matéria negra

Exposição "O Sol do Pintor"

Investigadores portugueses na missão GAIA

Carlos Varandas no ITER

FÍSICA EM PORTUGAL

ENERGIA DAS ONDAS E DAS MARÉS

Realizou-se no Porto, na Fundação Eng. António de Almeida de 11 a 13 de Setembro, a 7ª Conferência Europeia sobre Energia das Ondas e das Marés (European Wave and Tidal Energy Conference), cuja organização foi coordenada pelo Instituto Superior Técnico, uma das instituições pioneiras nestas tecnologias.

Esta Conferência foi a maior de sempre sobre este tema realizada até hoje, tendo recebido mais de uma centena de comunicações e 300 participantes de trinta países europeus e de outros continentes.

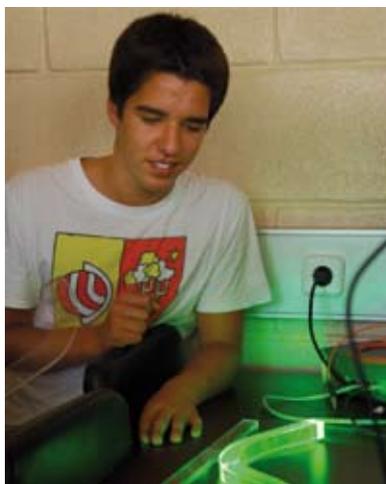
A realização da Conferência em Portugal relaciona-se com o importante papel que o nosso país tem tido no aproveitamento da energia das ondas: a construção da central da ilha do Pico, nos Açores, foi um marco a nível mundial.

O interesse de Portugal pelo desenvolvimento de projectos nesta área tem vindo a aumentar, destacando-se o projecto Okeanos, o primeiro parque de energia das ondas a nível mundial, localizado ao largo da Póvoa do Varzim e cuja entrada em funcionamento foi anunciada para o final do mês de Setembro. Também na região norte está em fase avançada o projecto de instalação de uma central de energia das ondas no novo quebra-mar em construção na Foz do Douro.

Algumas notícias foram adaptadas do sítio <http://www.cienciahoje.pt>, a quem se agradece.

A *Gazeta* agradece o envio de notícias para esta secção.
gazeta@teor.fis.uc.pt

ESCOLA DE FÍSICA 2007 NO PORTO



Decorreu durante a primeira semana de Setembro a 3ª Escola de Verão de Física organizada pelo Departamento de Física da Universidade do Porto e destinada a alunos do ensino secundário. Esta iniciativa, lançada no Ano Internacional da Física, tem vindo a despertar um interesse crescente junto dos estudantes, tendo contado este ano com a participação de 97 alunos dos 10º e 11º anos.

O programa da Escola de Verão incluiu cursos sobre temas avançados de Física (relatividade, mecânica quântica), palestras sobre temas actuais em Física, visitas aos laboratórios e contactos com os investigadores, bem como trabalhos de projecto em pequenos grupos de alunos. A par do enriquecimento teórico proporcionado pelos cursos e palestras, os estudantes têm oportunidade de estudar um problema físico discutindo os seus aspectos teóricos, experimentais e computacionais. Os trabalhos de projecto (sobre temas de óptica, matéria condensada, astrofísica, física médica, etc.) culminaram com a elaboração de uma apresentação para todos os grupos.

PRÉMIO “FÍSICA NA ESCOLA”

Renato Dias Penêda foi este ano o aluno galardoado com o prémio “Física na Escola”, destinado a alunos do 12º ano da Escola Secundária Carolina Michaëlis no Porto que revelem o melhor desempenho evidenciado através das classificações na disciplina de Física.

Este prémio foi instituído por Regina Gouveia, professora da referida escola, que destinou para este fim parte do prémio Rómulo de Carvalho, com o qual foi galardoada pela SPF em 2005.

O prémio foi atribuído pela primeira vez no ano lectivo 2005-2006, tendo distinguido o estudante Alexandre José Monteiro Rodrigues, que prosseguiu os seus estudos em Engenharia Informática. O premiado deste ano pretende continuar a sua formação na área da astronomia.

NOITE EUROPEIA DOS INVESTIGADORES 2007

O Europarque e o Visionarium em Santa Maria da Feira foram o cenário da “Noite Europeia dos Investigadores – Génios à Solta” que decorreu durante 12 horas sem interrupção no passado dia 28 de Setembro das duas da tarde às duas da manhã.

Destinada a crianças, jovens, estudantes, famílias e público em geral, esta iniciativa tem como objectivos principais aproximar a ciência ao cidadão comum, fomentar o desenvolvimento da cultura científica na Europa e promover o interesse pela carreira da investigação. Para isso procura promover-se um conjunto de actividades, através das quais investigadores e cientistas partilhem, de uma forma simples e divertida, as suas experiências e conhecimentos com o público, cativem para a ciência e sensibilizem para o impacto desta no dia a dia.

A “Noite Europeia dos Investigadores 2007” está inserida numa iniciativa lançada em 2005 – “Investigadores na Europa” – com o apoio da Comissão Europeia. O enorme êxito obtido na primeira edição deste evento contribuiu para que em todos os países se sintonizassem, uma vez mais, nesta data os esforços para divulgar a ciência junto de largos milhares de pessoas.

EM BUSCA DA MATÉRIA NEGRA

Investigadores do Grupo de Instrumentação Atómica e Nuclear (GIAN) do Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, cujo coordenador é Joaquim dos Santos, participam num projecto internacional de pesquisa avançada de matéria negra do Universo - a Experiência XENON, que pretende medir directamente a fracção de matéria negra no Universo.

A teoria indica que cerca de 96 % da matéria e energia que existe no Universo não emite ou reflecte radiação suficiente para ser observada, sendo por isso genericamente designada por matéria negra. Prevê-se que, se existirem, as WIMP (do inglês *weakly interacting massive particles*), um tipo de partículas de matéria negra, a Terra, provenientes das zonas mais periféricas da nossa galáxia, podendo ser observadas em condições muito especiais.

O grupo de investigadores da Universidade de Coimbra, liderado por José Matias Lopes (docente do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra), integra uma equipa que envolve a colaboração com grupos de outras instituições: norte-americanas (Universidades de Columbia, Brown, Yale, Rice, Case Western e Laboratório Nacional de Lawrence Livermore), alemãs (Universidade de Aachen) e italianas (Lab. de Gran Sasso).

Os primeiros resultados da experiência XENON, que decorre numa mina a 1300 metros de profundidade no Laboratório Nacional de Gran Sasso em Itália recentemente apresentados e objecto de notícia na revista *Nature* mostra possibilidade de medir as WIMP.

Atingir uma cada vez melhor capacidade de detecção das WIMP é o objectivo principal do trabalho desta colaboração internacional. Neste momento já se conseguiu uma sensibilidade que é seis vezes superior à melhor até então obtida. Espera-se que o sistema de medida da experiência atinja uma sensibilidade ainda melhor de modo a contribuir para o avanço do conhecimento cosmológico.

<http://www.astro.columbia.edu/~lxe/XENON/2004/11/collaboration.html>,

<http://www.nature.com/news/2007/070416/full/070416-5.html>,

EXPOSIÇÃO “O SOL DO PINTOR”



Num encontro entre a arte e a ciência, o espaço do Museu de Física da Universidade de Coimbra acolheu durante vários meses a exposição “O Sol do Pintor. Olhares Transversais”. As pinturas e gravuras do Museu Nacional de Machado de Castro e os aparelhos do Museu de Física que foram objecto de exposição ofereceram aos visitantes um cenário propício à emoção e à reflexão.

A luz (todos os tipos de luz!), a manipulação das cores na paleta do pintor, o jogo entre a luz e os materiais, a fotografia e a pintura, a óptica e a perspectiva foram abordados na exposição. Ao longo de mais de seis

meses foram certamente muitos os olhares que esta exposição suscitou.

O projecto, organizado pelo Museu de Física e pelo Museu Nacional de Machado de Castro, contou com a colaboração do Exploratório Infante D. Henrique – Centro de Ciência Viva de Coimbra e teve o apoio da Agência Nacional Ciência Viva e da Fundação Calouste Gulbenkian.

INVESTIGADORES PORTUGUESES NA MISSÃO GAIA

Uma equipa de investigadores portugueses, coordenada por André Moutinho de Almeida da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, integra a colaboração internacional responsável pela missão GAIA, um projecto da Agência Espacial Europeia (ESA), o qual tem como objectivo principal a elaboração do mais rigoroso mapa tridimensional da Via Láctea.

A sonda espacial GAIA deverá ser lançada para o espaço em 2011 e permitirá, para além do mapeamento da nossa galáxia, a observação de inúmeros “objectos” devido à profundidade das observações. De acordo com André Moutinho poderão ser observados *“por dia uma centena de objectos no nosso sistema solar, entre os quais asteróides que têm especial importância porque podem embater contra a Terra, mas também matéria escura que possa existir no universo e centenas de planetas extra-solares”*.

A participação de Portugal no projecto resulta da cooperação entre instituições de investigação e empresas que, através de vários grupos de trabalho envolvidos no processamento de dados da missão, procura corresponder aos desafios lançados pelas missões científicas da ESA.

CARLOS VARANDAS NO ITER

O físico Carlos Varandas do Instituto Superior Técnico foi nomeado recentemente presidente da administração do consórcio europeu para o projecto ITER, o reactor de fusão internacional.

Em declarações à Agência Lusa, Carlos Varandas disse estar contente com esta nomeação destacando a importância que terá para Portugal, “trazendo prestígio e algumas vantagens em termos de contratos”. Portugal, através do Centro de Fusão Nuclear – Laboratório Associado, participa activamente no acordo ITER através de um contrato de associação.

O ITER, sediado em França, será a maior experiência mundial de fusão e visa demonstrar científica e tecnicamente a viabilidade da energia de fusão e testar a operação das tecnologias necessárias para a operação de um reactor de fusão nuclear, agregando EUA, China, Índia, Japão, Coreia e Rússia num projecto orçado em mais de 12 mil milhões de euros.

O ELECTROMAGNETISMO NOS MANUAIS DE FÍSICA LICEAIS ENTRE 1855 E 1974

Analisamos a forma como o electromagnetismo foi apresentado nos manuais de física do ensino liceal em Portugal entre 1855 e 1974. A actualidade científica é uma preocupação, mais nítida durante o século XIX e princípios do século XX, reflectindo a influência dos manuais franceses que foram muito usados até 1918. Neste período era frequente os manuais escolares referirem descobertas e aplicações recentes que não constavam dos programas. No século XIX verifica-se uma grande uniformidade na apresentação do electromagnetismo, marcado pelo *Traité Élémentaire de Physique* de Ganot. Alguns livros portugueses revelam influências desta obra, ao inserirem figuras muito semelhantes ou iguais, bem como no estilo de apresentação. Frequentemente os livros expunham a teoria sem qualquer formalismo matemático, com a descrição dos aparelhos e, de seguida, as aplicações. No século XX surgiram estilos mais variados.

CARLOS SARAIVA

Escola EB 2-3 de Vila Franca das Naves
6420-707 Vila Franca das Naves
carlos.saraiva1@gmail.com

ISABEL MALAQUIAS

Departamento de Física - Universidade de Aveiro
3810-193 Aveiro
imalaquias@fis.ua.pt

MANUEL ALMEIDA VALENTE

Departamento de Física - Universidade de Aveiro
3810-193 Aveiro
mav@fis.ua.pt

A Gazeta agradece o envio de contribuições para esta secção
gazeta@teor.fis.uc.pt

ENSINO DA FÍSICA

O ELECTROMAGNETISMO NOS MANUAIS DE FÍSICA LICEAIS ENTRE 1855 E 1974

O manual escolar é um dos recursos educativos mais utilizados [1]. Em Portugal, num estudo com 521 professores de física e química, 92,5% referiram o manual como uma das fontes mais usadas [2]. A análise dos manuais permite compreender a forma como os conteúdos foram sendo apresentados e oferecer elementos sobre os processos de aquisição de saberes. O manual como documento histórico tem recebido pouca atenção verificando-se que não há estudos neste domínio em Portugal. Reflectimos aqui sobre o modo como o electromagnetismo foi apresentado nos manuais adoptados no ensino liceal entre 1855 e 1974 [3].

Instrumentos e procedimentos da pesquisa

A legislação, jornais, revistas e outras publicações são fontes de informação importante sobre os primórdios do ensino da física em Portugal, fornecendo informações sobre programas, indicações metodológicas e manuais escolares utilizados. Analisámos as reformas do ensino secundário, os programas e os temas leccionados em electromagnetismo.

Em 1854, Rodrigo da Fonseca criou, nos liceus de Coimbra e Porto, a cadeira de princípios de Física, Química e Introdução à História Natural dos Três Reinos. A disciplina de Física foi leccionada pela primeira vez em Portugal no Liceu Nacional de Coimbra em 1855. O nosso estudo estende-se até ao ano de 1974 por ser esta uma data de alterações profundas e, além disso, ser necessário um certo distanciamento histórico.

Investigámos 15 manuais escolares (Tabela 1) do último ano do secundário porque era aí que havia um maior

Manuais do século XIX

Do programa de 1856 constava apenas o “telégrafo e noções simples de magnetismo”. O livro *Princípios Elementares de Física e Química* dedica uma página ao electromagnetismo e à telegrafia eléctrica: pouco mais diz que o princípio de funcionamento se baseia em electroímans, sem apresentar figuras.

O *Traité Élémentaire de Physique* foi o primeiro livro francês a ser adoptado no ensino secundário português. Este livro descreve pormenorizadamente os fenómenos físicos, discutindo o funcionamento de galvanómetros, o modo de os graduar, as interacções entre correntes, as interacções entre ímanes e correntes, as interacções entre solenóides e entre solenóides e ímanes e os relógios eléctricos. Dedicar 11 páginas à telegrafia eléctrica incluindo o código Morse e os vários modelos de telégrafos. A primeira central telegráfica em Portugal foi inaugurada em 1854. O facto de este assunto ter aparecido nos manuais praticamente ao mesmo tempo demonstra a sua actualidade. Este manual apresenta a indução electromagnética, que não fazia parte do programa, referindo praticamente todos os trabalhos importantes da época. Apresentava a experiência de Dominique Arago (1824) que observara um fenómeno conhecido por “magnetismo de rotação”. Ao imprimir movimento de rotação a um disco de cobre, Arago verificou a rotação da agulha magnética colocada por cima (Fig. 1).

Este autor faz ainda referência às máquinas eléctricas, ao funcionamento e aplicações da bobina de Ruhmkorff

aprofundamento do electromagnetismo. A metodologia seguida consistiu numa análise do texto e das figuras [4]. Começámos por uma leitura global de todos os manuais, seguida de uma análise aprofundada dos conteúdos de electromagnetismo. Para a análise comparativa e evolutiva considerámos os seguintes parâmetros: modo de apresentação (figuras, esquemas, gráficos, tipo de actividades propostas, matematização, etc.); modo de escrita; a concordância entre o programa e os conteúdos. As imagens e esquemas e a sua relação com o texto podem indicar o modo como o aluno é introduzido no mundo da física. A comparação entre os conteúdos programados e apresentados pode indicar a importância do manual na divulgação de novas ideias e aplicações. A proximidade temporal das descobertas científicas indica a actualidade dos assuntos abordados.

Título	Autor, Editor e Data
<i>Princípios Elementares de Física e Química</i>	Mathias de Carvalho de Vasconcelos; Imprensa da Universidade, Coimbra, 1855
<i>Traité Élémentaire de Physique</i>	A. Ganot, Chez L'auteur, 7ª Ed., Paris, 1857
<i>Manuel de Physique</i>	J. Laanglebert, Jules Delain et Fils, 13ª Ed., Paris, 1865
<i>Curso de Física Elementar</i>	Joaquim Rodrigues Guedes, Nacional, Lisboa, 1859
<i>Princípios de Física</i>	Adriano Augusto de Pina Vidal, Academia Real das Ciências, Lisboa, 1874
<i>Noções de Física Moderna</i>	Francisco da Fonseca Benevides, Tipografia Castro Irmão, 2ª Ed., Lisboa, 1874
<i>Tratado de Física Elementar</i>	Adriano Augusto de Pina Vidal, Tipografia da Academia Real das Ciências, Lisboa, 1882
<i>Tratado de Física Elementar</i>	Francisco Ribeiro Nobre, Tipografia de José da Silva Mendonça, Porto, 1895
<i>Traité de Physique</i>	E. Drincourt, Librairie Armand Colin, 4ª Ed., Paris, 1900
<i>Cours Élémentaire de Physique</i>	M. Chassigny, Librairie Hachette, 5ª Ed., Paris, 1907
<i>Elementos de Física Geral</i>	Álvaro R. Machado, Livraria Cruz, 4ª Ed., Braga, 1924
<i>Curso de Física Elementar</i>	António Pereira Forjaz, Livraria Sá da Costa, Lisboa, 1937
<i>Curso Elementar de Física</i>	F. Zamith, N. Prudente, Livraria Simões Lopes, Porto, 1937
<i>Compêndio de Física</i>	Álvaro R. Machado, Editora Educação Nacional, Porto, 1940
<i>Curso de Física</i>	José Augusto Teixeira, Porto Editora, Porto, 1960

Tabela I - Lista dos livros analisados.

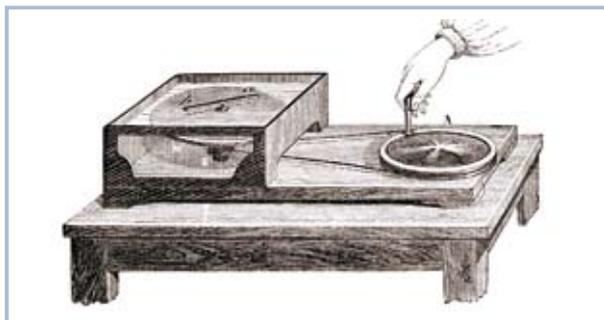


Fig. 1 - Experiência de Arago.

(1851), à experiência de Foucault sobre correntes induzidas (1855) e à auto-indução. Apresenta a explicação do modo como Faraday (1845) verificou a rotação do plano de polarização da luz quando sujeito a um campo magnético, bem como as investigações que levaram à descoberta das substâncias diamagnéticas (Fig. 2).

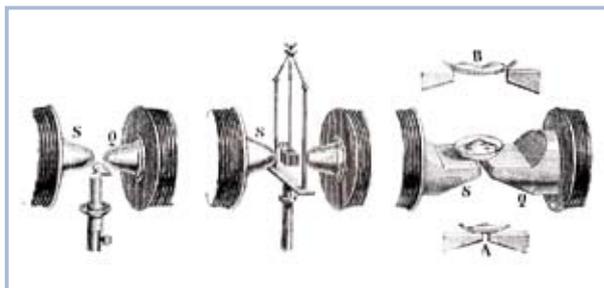


Fig. 2 - Experiências sobre diamagnetismo.

Indica praticamente todos os trabalhos importantes e actuais em relação à indução electromagnética, embora advirta que a explicação desta matéria era motivo de controvérsia. Inclui figuras de aparelhos utilizados para demonstrações.

No século XIX verifica-se uma grande uniformidade no estilo, marcado pelo livro de Ganot. Este livro foi adoptado no ensino secundário em França, Portugal, Espanha, Estados Unidos, Brasil e Itália e traduzido para espanhol, inglês, italiano e russo. A importância e influência desta obra são marcantes. Por exemplo, no livro *Noções de Física Moderna*, as figuras da experiência de Oersted, do electroímã, da bobina de Ruhmkorff (Fig. 3) e da máquina de Clarke são iguais às do Ganot. Nos *Princípios de Física*, a figura da bobina de Ruhmkorff e do tubo de Geissler também são iguais. O *Tratado de Física Elementar* (1895) apresenta as mesmas figuras do Ganot e os conteúdos seguem a mesma ordem, sendo alguns parágrafos uma mera tradução.

O *Manuel de Physique* explica a indução electromagnética, que não constava do programa, apresenta a bobina

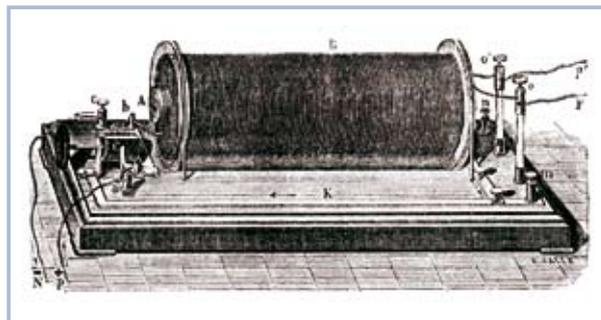


Fig. 3 - Bobina de Ruhmkorff.

de Ruhmkorff e as suas aplicações e discute as correntes de indução, usando dois modelos de máquinas eléctricas. Apresentam-se ainda aparelhos que serviam para demonstrações experimentais. O *Curso de Física Elementar* é uma tradução, com ligeiras adaptações, do *Manuel de Physique*.

O *Princípios de Física* explicava: como demonstrar a indução electromagnética pelas correntes e pelos ímãs; o princípio de funcionamento da bobina de Ruhmkorff; as experiências em tubos de vidro com gases rarefeitos; e uma máquina eléctrica em que “a indução é produzida pelos ímãs”. O *Tratado de Física Elementar* (1882) abordava o telefone e o microfone, temas então recentes. No ano da edição deste manual foi inaugurada a primeira rede telefónica em Portugal (Lisboa) com 22 assinantes.

Só no programa de 1880 aparece o tópico “Bobina de Ruhmkorff; experiências mais notáveis e principais aplicações d’este aparelho”, embora todos os manuais o apresentassem e referissem as suas aplicações em pormenor. Certos autores dedicavam um espaço maior à bobina de Ruhmkorff do que aos restantes temas de indução. Das quatro páginas sobre indução electromagnética no *Manuel de Physique* duas são para a bobina de Ruhmkorff e suas aplicações. O *Princípios de Física* dedica três páginas à indução electromagnética, das quais duas para a bobina de Ruhmkorff e a sua aplicação aos tubos de descarga. Com o tempo, o destaque dado à referida bobina foi diminuindo, mas as suas aplicações não deixaram de ser referidas, por exemplo no trabalho de Hertz, no desenvolvimento da telegrafia sem fios (TSF), no estudo dos raios catódicos e na descoberta dos raios X.

O livro *Noções de Física Moderna* explica a indução electromagnética por acção de “correntes voltaicas” e “por meio de magnetes e da terra”, apresenta a auto-indução, descreve a constituição e funcionamento da bobina de Ruhmkorff e a sua aplicação aos tubos de descarga. Trata a máquina de Clarke, aborda a máquina de Negretti e Zambra, usada em medicina para provocar choques eléctricos, e refere as máquinas de Gramme e de Siemens e Halske.

No século XIX era frequente os manuais referirem descobertas e aplicações recentes. A descarga em tubos (Fig. 4), contendo gases rarefeitos, é uma das aplicações referidas em quase todos os manuais, sem que o fenómeno seja justificado. Era apresentado como um efeito espectacular e lúdico. Ganot escreve: “*On voit une belle traînée lumineuse*” ou “*La figure représente une déviation remarquable que subit la lumière électrique quand on approche la main de l’oeuf*”; e “*La théorie des phénomènes de la stratification de la lumière électrique dans les vapeurs et de la coloration, n’est pas connue*”. O *Manuel de Physique* refere o fenómeno como um “*spectacle magique*”. Nos *Princípios de Física* o fenómeno que “*ainda não recebeu explicação*” é designado por “*estratificação da luz electrica*” com o qual se fazem “*lindas experiencias*”. No *Tratado de Física Elementar* lê-se: “*certos tubos de Geissler são formados de partes diversas que permitem obter efeitos luminosos de grande belleza*”.

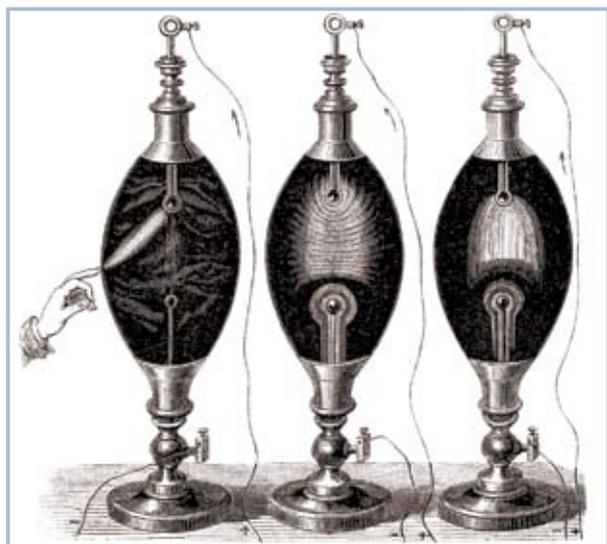


Fig. 4 - Tubos de descarga.

Manuais do século XX

O *Traité de Physique* inclui conteúdos bastante actuais, que não constavam do programa em vigor, como os raios catódicos, os raios X e a TSF. Apresenta uma figura de um tubo de Crookes usado para produzir raios X e uma radiografia de uma mão e indica algumas propriedades destes raios (Fig. 5). Os raios X (Wilhelm Roentgen, 1895) apareceram no programa em 1905. Na parte final do livro, em suplemento, aborda-se a TSF, um tema recente, e que aparece pela primeira vez num manual do ensino liceal. O tópico TSF só aparece no programa em 1905. Descreve-se o funcionamento do detector de Branly (1890) e explica-se o modo como Marconi, usando esse detector, fez as experiências de emissão e detecção de ondas electromagnéticas que deram início à TSF. Com a introdução da

TSF deixa de ser dado tanto destaque ao telégrafo eléctrico. O trabalho de Hertz, que demonstrou experimentalmente a existência de ondas electromagnéticas, previstas por Maxwell, apareceu pela primeira vez no *Traité de Physique*, não associado à teoria de Maxwell, mas ao desenvolvimento da TSF. Este manual é o primeiro a incluir expressões matemáticas, por exemplo da lei de Laplace e da força electromotriz induzida. Surge neste manual a primeira referência aos raios catódicos que só fizeram parte do programa em 1905.

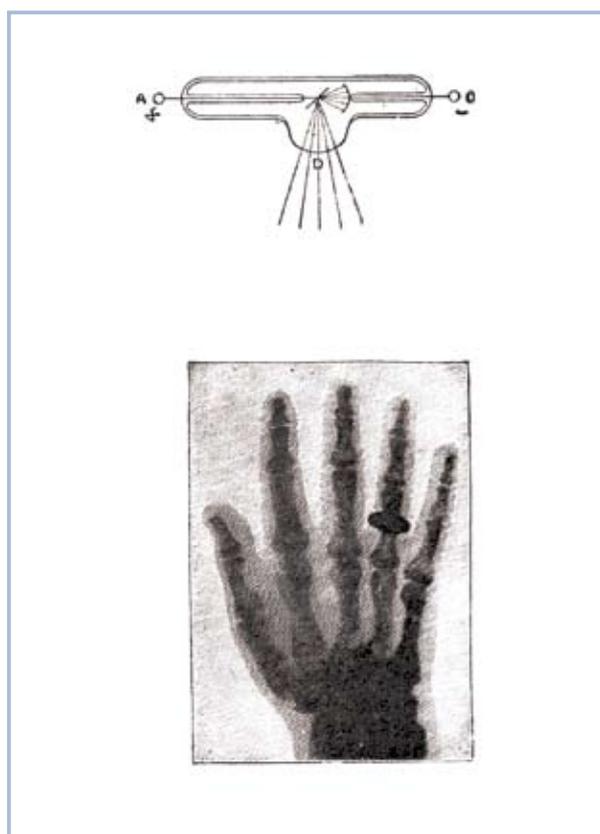


Fig. 5 - Tubo de Crookes e raios X.

No *Cours Élémentaire de Physique* é referida a experiência de Perrin, que demonstrou o desvio destes raios por acção de campos eléctricos e magnéticos, concluindo que os raios catódicos eram partículas com carga negativa. Os fenómenos da indução electromagnética são explicados com base na variação de fluxo. Abordam-se assuntos que não constavam do programa, como a histerese magnética, a corrente alternada, as correntes trifásicas e a radioactividade. É o primeiro livro a fazer uma abordagem, muito simples ao trabalho de Maxwell, como pode ler-se: “*La découverte de Hertz a apporté à la théorie de Maxwell une vérification expérimentale depuis longtemps attendue. On a pu constater, en effect, dans les ondes électriques, la plupart des propriétés des ondes lumineuses: réflexion sur des surfaces*

metálicas, réfraction à travers des prismes ou des lentilles (...)” e “les ondes électriques se propagent avec la même vitesse que les ondes lumineuses : les unes et les autres se transmettent dans le même milieu, l'éther, et elles ne diffèrent que par la période de leurs vibrations respectives.”

O detector de Branly foi apresentado nos manuais como uma aplicação prática na área da TSF.

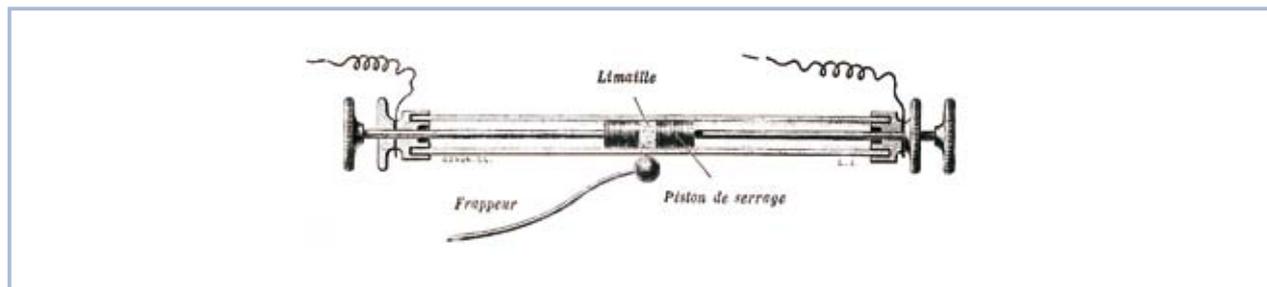


Fig. 6 - Detector de Branly.

A constituição e princípio de funcionamento dos galvanómetros são abordados em praticamente todos os manuais. No entanto, durante o século XIX, este instrumento é tratado de um modo muito simples, referindo-se sempre os galvanómetros como aparelhos usados para detectar a passagem da corrente eléctrica. O *Traité de Physique* e o *Cours Elémentaire de Physique* apresentam a ponte de Wheatstone, usada para medir a resistência eléctrica e explicam o modo de medir a força electromotriz de uma pilha.

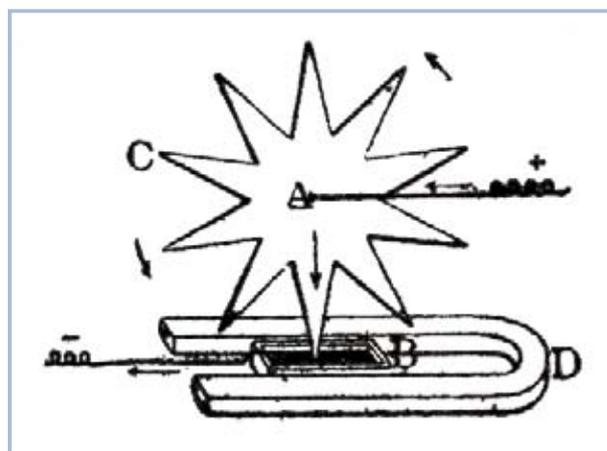


Fig. 7 - Roda de Barlow.

A tendência dos manuais apresentarem os fenómenos de forma descritiva é visível na abordagem das interacções magnéticas. Dedicar-se normalmente um espaço considerável a este fenómeno, subdividido em várias categorias. Era frequente haver referência às interacções: entre correntes

paralelas, entre correntes angulares, entre solenóides, entre ímanes e solenóides, entre correntes e ímanes, entre correntes e solenóides, entre a Terra e as correntes eléctricas, e entre a Terra e os solenóides, sendo indicado equipamento necessário para as visualizar. No quadro da interacção de uma corrente eléctrica com um íman, aparece nos manuais franceses do século XX e nos livros de A. R. Machado, o dispositivo vulgarmente conhecido

por roda de Barlow (Fig. 7). Nos manuais posteriores já não aparece este dispositivo. Os manuais apresentam as interacções, mas não as relacionam com as características vectoriais da força magnética exercida sobre uma corrente por um campo magnético. Esta situação verifica-se ainda nos manuais *Elementos de Física Geral* e *Compêndio de Física*.

O primeiro livro português a apresentar fórmulas matemáticas é o *Elementos de Física Geral*. As imagens deste livro tinham pouca qualidade e os conteúdos não sofreram alterações significativas nas reedições. Na edição de 1924 o autor refere que os raios X “não se difractam” e que “não está bem averiguada ainda a natureza destas radiações”. Na verdade, em 1912, Max von Laue obteve a difracção dos raios X, permitindo o modelo de Bohr (1913) explicar a produção e natureza destes raios. Nos *Elementos de Física Geral* não é feita qualquer referência à relação carga/massa do feixe de raios catódicos (J. J. Thomson, 1897). Diz apenas “Modernamente supõe-se que os raios catódicos são constituídos por partículas tenuíssimas, resultantes da desagregação dos átomos no momento da descarga e que transportam cargas eléctricas negativas” e também que “os corpúsculos que parecem assim constituir a matéria da electricidade chamam-se *electrontes*”. A primeira designação para electrões no ensino secundário português apareceu com o nome de “electrontes” nos livros de Álvaro Machado. Os manuais, quando apresentam figuras do desvio dos raios catódicos não o relacionam com as características vectoriais da força de Lorentz e não há qualquer justificação em relação ao sentido e direcção do desvio observado, o que indica pouca conceptualização na abordagem deste tema. A natureza dos raios catódicos e o conceito de carga eléctrica apareceram relativamente tarde nos manuais escolares.

Note-se a evolução das ilustrações. Inicialmente, como nos *Princípios Elementares de Física e Química* e no *Curso de Física Elementar*, as ilustrações surgem no final do livro. Este procedimento estava relacionado com a dificuldade em inserir texto e imagem na mesma folha. O avanço da técnica, particularmente da litografia, veio permitir reproduzir as imagens com maior facilidade. Daí que se utilizassem, em muitos manuais, as mesmas imagens do *Traité Élémentaire de Physique*. Este procedimento foi muito comum no século XIX, tendo sido usado não só nos manuais, mas também nos catálogos de instrumentos que circulavam pela Europa e América.

Nos manuais mais recentes, apresenta-se o fenómeno da descarga em tubos com gases rarefeitos, o que se compreende, já que está ligado às descobertas dos raios X, dos raios catódicos e da espectroscopia. A emissão da luz neles observada serve para analisar os espectros de gases. A descarga em gases rarefeitos era apresentada sem explicação (razão da observação de diferentes cores, modo como eram produzidos, natureza dos raios catódicos e dos raios X), destinando-se apenas a mostrar aplicações práticas das bobinas de indução.

Com a reforma de 1936, apareceram dois livros que tiveram ampla utilização: o *Curso Elementar de Física* e o *Curso de Física Elementar*. São muito semelhantes no tratamento que propõem do electromagnetismo e os seus conteúdos igualam os do programa. Contrariamente ao que já era habitual noutros manuais, não recorrem a qualquer formalismo matemático, sendo a apresentação das matérias feita de modo elementar e descritivo. Não apresentam assuntos com actualidade científica, verificando-se que há assuntos tratados em manuais anteriores, como por exemplo a corrente alternada, que não o são nestes manuais. O manual de A.P. Forjaz refere que “*o feixe catódico é desviado por um íman. Transporta electricidade negativa (como o demonstrou Perrin)*” e, ao apresentar a descarga eléctrica em tubos com gases rarefeitos, usa a palavra electrão. O *Curso Elementar de Física* refere apenas que os raios catódicos se propagam rectilinearmente.

Entre 1900 e 1918 os manuais apresentam fórmulas matemáticas, as ilustrações deixam de ser figuras de objectos e começam a aparecer também esquemas, mas a descrição dos equipamentos ainda é privilegiada. De 1919 a 1953, os livros de Álvaro Machado são muito utilizados no ensino secundário. Durante este período a quantificação é menos evidente, as ilustrações dos manuais são praticamente reduzidas a esquemas (Fig. 8), dominando a descrição.

Entre 1937 e 1940, utilizaram-se manuais em que a apresentação do electromagnetismo era feita de modo muito elementar e sem qualquer formalismo matemático.

No período 1954-1974, as várias edições do livro único *Curso de Física* são praticamente iguais. O programa mantém-se também praticamente inalterado neste período. O livro segue o programa, não apresenta quaisquer assuntos novos e os conteúdos voltam a ser apresentados com formalismo matemático. Estes manuais não apresentam assuntos com actualidade científica, pois, durante duas décadas, foram usados sem qualquer alteração significativa. O *Curso de Física* apresenta experiências em que se ilustra o desvio dos raios catódicos por acção dos campos eléctrico e magnético. Para este autor, o “*sentido do desvio leva à conclusão de que esta electricidade é negativa. Esta conclusão ficou estabelecida em 1895 com a experiência do fisico Jean Perrin*”. Ao explicar a natureza dos raios catódicos diz que “*os raios catódicos são correntes de electrões*”.

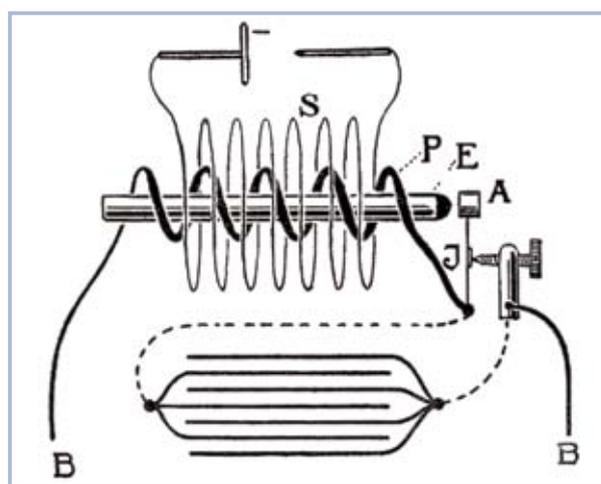


Fig. 8 - Esquema da bobina de Ruhmkorff.

Embora o trabalho de Thomson tenha sido realizado dois anos depois do trabalho de Perrin, os manuais não fazem qualquer referência à relação carga/massa do electrão, apresentando porém o trabalho de Perrin com algum destaque. Também não é feita qualquer referência ao valor da carga do electrão (Robert Millikan, 1909).

Conclusões

O electromagnetismo aparece no primeiro programa oficial em 1856 e a indução electromagnética em 1880. Tradicionalmente o electromagnetismo e a indução electromagnética são aprofundados no último ano do ensino liceal. Entre 1855 e 1918 adoptaram-se manuais de autores franceses. Estes abordavam assuntos actuais e incluíam conteúdos que não constavam dos programas e que, só décadas depois, fizeram parte dos manuais elaborados por autores nacionais.

Durante o século XIX e princípios do século XX, existiu uma grande proximidade entre a descoberta/aplicação prática dos conceitos físicos e a sua inserção nos manuais, sobretudo nos de origem francesa. O *Traité Élémentaire de Physique* apresenta a bobina de Ruhmkorff (1851) e as correntes de Foucault (1855). O *Traité de Physique* introduz a TSF (1897), o detector de Branly (1890) e os raios X (1895). O *Cours Élémentaire de Physique* apresenta o trabalho de Perrin (1895) que provava que os raios catódicos eram partículas carregadas negativamente. A TSF era já abordada mesmo antes de fazer parte do programa (1905). Os raios X apareceram no programa em 1905, embora os manuais usados abordassem já este tema.

A primeira referência ao trabalho de Maxwell surge relativamente tarde, já depois do trabalho de Hertz. O *Cours Élémentaire de Physique* é o primeiro a fazê-lo, dando mais destaque a Hertz do que a Maxwell, o que significa que estava mais direccionado para as aplicações práticas.

Desde a adopção do *Traité Élémentaire de Physique* até aos livros de José Teixeira, a bobina de Ruhmkorff aparece com algum relevo nos manuais escolares como gerador de alta tensão para provocar descargas eléctricas em tubos de vidro.

Até 1900, os manuais descreviam os fenómenos sem qualquer formalismo matemático, que apareceu, nos livros franceses adoptados em Portugal, no início do século XX. A abordagem do electromagnetismo caracterizou-se pela pouca utilização de grandezas vectoriais.

Entre 1855 e 1954 não são propostas quaisquer actividades (leitura, exercícios, problemas, etc.). Apenas o *Curso de Física* (1954-1974) apresenta alguns exercícios e leituras suplementares, verificando-se ainda, neste livro, uma diminuição da descrição em favor dos conceitos e respectiva quantificação.

O equipamento laboratorial serviu sempre para ilustrar a teoria. Frequentemente, os autores apresentavam a teoria e depois indicavam o aparelho/equipamento necessário para a demonstração.

Destaca-se, no campo da imagem/ilustração, a evolução no que respeita ao desenho do equipamento. Durante o século XIX eram frequentes figuras de objectos reais. A partir de 1900 começam a aparecer gráficos e esquemas, tendência que vai aumentar nos anos seguintes. A utilização da imagem/ilustração a preto e branco é uma constante, com excepção do *Curso de Física* que apresenta uma folha a cores com espectros.

Podemos afirmar que os manuais contribuíram para a divulgação e aprendizagem da indução electromagnética uma vez que este tema apareceu em manuais, sobretudo franceses, muitas décadas antes de fazer parte do programa.

Embora a investigação realizada não tenha permitido tirar conclusões sobre o impacto dos manuais na aprendizagem, salienta-se a diferença em termos de perspectivação da Física e das suas aplicações quotidianas, que se encontra em manuais mais antigos relativamente aos mais recentes.

REFERÊNCIAS

- [1] Yore, L., "Secondary Science Teachers' Attitudes Towards and Beliefs About Science Reading and Science Textbooks", *Journal of Research in Science Teaching*, **28**, nº 1, (1991), 55-72.
- [2] Cachapuz, A., Malaquias, I., Martins, I., Thomaz, M. e Vasconcelos, N., *O Ensino Aprendizagem da Física e Química: Resultados Globais de um Questionário a Professores*, Universidade de Aveiro (1989).
- [3] Saraiva, C., *Evolução histórica da abordagem do electromagnetismo e indução electromagnética nos livros de texto para o ensino secundário*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2003.
- [4] Stockmayer, S., and Treagust, D., "A Historical Analysis of Electric Currents in Textbooks: A Century of Influence on Physics Education", *Science & Education*, **3**, (1994), 131-154.

A Secção "Olimpíadas de Física" é dirigida por José António Paixão, Manuel Fiolhais e Fernando Nogueira do Departamento de Física da Universidade de Coimbra, 3004-516 Coimbra

OLIMPÍADAS DE FÍSICA

OLIMPÍADAS REGIONAIS

Decorreu no dia 12 de Maio de 2007, nos Departamentos de Física das Universidades do Porto, Coimbra e Nova de Lisboa, a etapa regional das Olimpíadas de Física. Participaram nesta etapa cerca de 600 alunos de aproximadamente 200 escolas de todo o país, nos escalões A (9º ano) e B (11º ano).

Durante a realização das provas os professores acompanhantes tiveram a oportunidade de assistir a conferências: "A Relatividade", pelo Doutor João Lopes dos Santos no Departamento de Física da Universidade do Porto, "Matéria negra", na Universidade de Coimbra, pelo Doutor José Pinto da Cunha do Departamento de Física da FCTUC e "Física da Música", pelo Doutor Fernando Parente (FCT/UNL) e "Física dos Supercondutores", pelo Doutor Gregoire Bonfait (FCT/UNL) na Universidade Nova de Lisboa.

Da parte da tarde, enquanto decorria a correcção das provas, realizaram-se várias actividades. No Porto a palestra "A Física dos Brinquedos", pelo Doutor Paulo Simeão Carvalho, para professores e alunos do escalão B e pelo Doutor Adriano Sampaio, destinada aos alunos do escalão A. Em Coimbra, foram organizadas visitas à sala Experimental, ao Museu de Física, ao Museu da Ciência, ao supercomputador Milipeia e ao Paço das Escolas da Universidade de Coimbra.

A SPF agradece à Texas Instruments, à Nestlé, ao BPI e às Universidades de Porto, Coimbra e Nova de Lisboa os patrocínios concedidos ao evento.

Os vencedores do escalão A foram os seguintes:

DELEGAÇÃO NORTE

Medalha de Ouro

- Cláudia Rafaela Pinto, João Casimiro Ferreira, Pedro Filipe Marques, Esc. Básica 2,3 Egas Moniz (Guimarães)

Medalha de Prata

- João Filipe Martins, Luísa Maria Ribeiro, Luís Paulo de Almeida, Esc. Secundária António Sérgio (Vila Nova de Gaia)

Medalha de Bronze:

- António Carlos Costa, João Pedro Cunha Ribeiro, Rogério Martins Costa, Esc. Básica 2,3 Dr. Flávio Gonçalves (Póvoa de Varzim)

DELEGAÇÃO CENTRO

Medalha de Ouro

- Alexandru Miron, Liu Qi, Nelson Pereira, da Esc. Básica 2, 3 de Cantanhede

Medalha de Prata

- Rafael Francisco, Luís Roseta, Lucas Lopes, do Colégio de N^a Sr^a. da Apresentação (Calvão, Vagos)

Medalha de Bronze

- André Gouveia, Francisco Almeida, Mário Marques, da Esc. Básica 2,3 Prof. Mendes Ferrão (Coja)

DELEGAÇÃO SUL E ILHAS

Medalha de Ouro

- Alexandra Castelo, Bianca Rosca, Diogo Domingues, Esc. Básica 2,3 de Mafra

Medalha de Prata

- Bruno Schmitt Balthazar, Frederico José Bonito, Mariana Palminha Gabriel E.S. Manuel da Fonseca (Santiago do Cacém)

Medalha de Bronze

- José Maria Caetano, Filipe de Oliveira Pinheiro, Celso Filipe Gaspar, Esc. Integrada de Vila das Capelas (São Miguel, Açores)

Os vencedores do escalão B foram:

DELEGAÇÃO NORTE

Medalha de Ouro

- Axel João Oliveira Ferreira, Esc. Secundária Fernão de Magalhães (Chaves)

Medalha de Prata

- José Miguel Ferreira Ribeiro, Esc. Secundária Carlos Amarante (Braga)

Medalha de Bronze

- Rui Filipe Serra Maia, Esc. Secundária da Trofa

Menções Honrosas

- Diogo Bernardo Almeida, Colégio Luso-Francês (Porto)
- Henrique Coutada Miranda, Esc. Secundária Alcaides Faria (Barcelos)
- Igor M. Vasilevsky, Esc. Secundária Carlos Amarante (Braga)
- João Filipe Martins, Esc. Secundária de Rio Tinto
- José Alberto Gouveia, Esc. Secundária Almeida Garrett (Porto)
- Pedro Miguel Pinto, Esc. Secundária de Rio Tinto
- Pedro José Louçano C. Pires, Esc. Secundária Aurélia de Sousa (Porto)

DELEGAÇÃO CENTRO

Medalha de Ouro

- Diana Inês Lopes Amaro, Esc. Secundária Nuno Álvares (Castelo Branco)

Medalha de Prata

- Tomás Fidelis Silva Nogueira, Esc. Secundária José Estêvão (Aveiro)

Medalha de Bronze

- José Pedro Figueiral Oliva Soares Alves, Esc. Secundária Alves Martins (Viseu)

Menções Honrosas

- Nuno Pais, Esc. Secundária Alves Martins (Viseu)
- Duarte Nuno Fernandes Garcia Lima, Esc. Secundária/3 Dr. Joaquim Dias Rebelo (Moimenta da Beira)
- David Tavares Teixeira da Silva, Esc. Básica 2,3/S de Oliveira de Frades
- Pedro Tiago Gomes Pinto, Esc. Secundária/3 Júlio Dinis (Ovar)
- Cátia Margarida Dias Ferrinho, Esc. Secundária/3 Quinta das Palmeiras (Covilhã)
- Ricardo Miguel Fonseca Gomes de Campos, Esc. Secundária Dr. Joaquim de Carvalho (Figueira da Foz)
- Miguel Afonso Ferreira Martins Gomes, Colégio da Rainha Santa Isabel (Coimbra)

DELEGAÇÃO SUL E ILHAS

Medalha de Ouro

- Inês Viegas, Esc. Secundária de Loulé

Medalha de Prata

- Catarina de Oliveira Pinho, Esc. Secundária de Ferreira Dias, Cacém

Medalha de Bronze

- Joana Chagas, Esc. Secundária de Loulé

Menções Honrosas

- João Carlos Seródio, Externato Frei Luís de Sousa (Almada)
- João Pedro da Silva, Esc. Secundária de Ferreira Dias (Cacém)
- Ricardo Joel Pereira, Esc. Secundária Gil Vicente (Lisboa)
- José Manuel Rodrigues, Esc. Secundária Prof. Reynaldo Santos (Vila Franca de Xira)
- Simão Fernandes Correia, Esc. Secundária Gabriel Pereira (Évora)
- José Augusto Assunção, Colégio Militar (Lisboa)
- Diana Filipe Melancia, Externato Frei Luís de Sousa (Almada)



Alunos do escalão A durante a realização da prova experimental (Dep. de Física, FCTUC).

OLIMPÍADAS NACIONAIS

Este ano as Olimpíadas Nacionais de Física foram organizadas pela Delegação Centro e pela Delegação Sul e Ilhas da SPF e decorreram no Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, nos dias 22 e 23 de Junho. Participaram na etapa nacional todos os premiados da etapa regional, isto é, 27 alunos do escalão A, divididos em 9 equipas, e 30 alunos do escalão B.

Durante a realização das provas, os professores acompanhantes tiveram a oportunidade de assistir às palestras:

“Desenvolvimento de Pele Artificial”, pelo Doutor Jorge Carvalho Silva (FCT/UNL) e “Demonstração Experimental de Electromiografia e Dinamometria”, pela Doutora Valentina Vassilenko (FCT/UNL).

Os vencedores da etapa nacional ficaram pré-seleccionados para uma preparação a decorrer durante o próximo ano lectivo que os poderá levar a representar Portugal na Olimpíada Internacional de Física, IPhO'08 (Vietnam) ou na Olimpíada Ibero-Americana de Física, OIBF'08 (México).

Os vencedores do escalão A foram os seguintes:

Medalha de Ouro

- Cláudia Rafaela Fernandes Pinto, João Casimiro Gonçalves Ferreira, Pedro Filipe Lima Marques, Escola Básica 2, 3 Egas Moniz (Guimarães)

Medalha de Prata

- Bruno Schmitt Balthazar, Frederico José Patrício Bonito, Mariana Palminha Gabriel, Esc. Secundária Manuel da Fonseca (Santiago do Cacém)

Medalha de Bronze

- Rafael Neves Francisco, Luís António Jorge do Carmo Roseta, Lucas Rocha Lopes, Colégio de N^a Sr^a da Apresentação (Calvão, Vagos)

Os vencedores do escalão B foram:

Medalha de Ouro

- João Carlos Fernandes Seródio, Externato Frei Luís de Sousa (Almada)

Medalha de Prata

- Catarina de Oliveira Pinho, Esc. Secundária Ferreira Dias (Cacém)

Medalha de Bronze

- Diana Filipe dos Santos Loupa Melancia, Externato Frei Luís de Sousa (Almada)

Menções Honrosas

- José Miguel Ferreira Ribeiro, Esc. Secundária Carlos Amarante (Braga)
- Ricardo Miguel Fonseca Gomes de Campos, Esc. Secundária Dr. Joaquim de Carvalho (Figueira da Foz)
- José Pedro Soares Alves, Esc. Secundária Alves Martins (Viseu)
- José Alberto Gouveia, Esc. Secundária Almeida Garrett (Porto)
- Tomás Fidelis Nogueira, Esc. Secundária José Estêvão (Aveiro)
- Axel João Oliveira Ferreira, Esc. Secundária Fernão de Magalhães (Chaves)

- Henrique Coutada Miranda, Esc. Secundária Alcaides de Faria (Barcelos)

Foram ainda pré-seleccionados para a fase de preparação para as Olimpíadas Internacionais e Ibero-americanas de Física, os seguintes alunos:

Diana Inês Amaro, Esc. Secundária Nun'Álvares (C. Branco), Miguel Martins Gomes, Colégio Rainha Santa Isabel (Coimbra), Nuno Gonçalo Pais, Esc. Secundária Alves Martins (Viseu), Duarte Nuno Lima, Esc. Secundária c/3º ciclo Dr. Joaquim Dias Rebelo (Moimenta da Beira), Pedro Miguel Pinto, Esc. Secundária de Rio Tinto, Diogo Bernardo Almeida, Colégio Luso-Francês (Porto), Ricardo Joel Martins Pereira, Esc. Secundária Gil Vicente (Lisboa), Simão Fernandes Correia, Esc. Secundária Gabriel Pereira (Évora), Igor Vasilevsky, Esc. Secundária Carlos Amarante (Braga), João Pedro Capinha da Silva, Esc. Secundária Ferreira Dias (Cacém).



A boa disposição imperou durante a prova experimental!
(Dep. de Física, FCT-UNL)

A SPF agradece o apoio da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, da Fundação EDP, da Trífida, da Texas Instruments e do Hotel D. Manuel I na realização da etapa nacional das Olimpíadas de Física.

OLIMPÍADAS INTERNACIONAIS

Decorreram nos dias 9 e 10 de Fevereiro e 13 e 14 de Abril, no Departamento de Física da Universidade de Coimbra, duas sessões de preparação dos alunos pré-seleccionados para as Olimpíadas Internacionais. Este ano participaram 22 alunos, uma vez que aos 20 pré-seleccionados nas Olimpíadas Nacionais de 2006 se vieram a juntar dois alunos auto-propostos, ao abrigo do ponto III do Regulamento das Olimpíadas de Física. Nestas sessões de preparação, participaram também os professores acompanhantes designados pela escolas dos alunos. Agradecemos aos Professores do Departamento de Física Lucília Brito, Francisco Gil, Pedro Vieira Alberto a sua colaboração.

Este ano, uma boa parte da preparação foi feita à distância através do fórum olímpico "Quark!" (<http://algot.fis.uc.pt/quark>) onde se disponibilizaram problemas e soluções para treino. A 30 de Maio de 2007, o fórum atingiu a marca de 3000 mensagens colocadas, envolvendo quase uma centena de estudantes – o fórum contou também com a participação activa de ex-olímpicos e outros alunos interessados em Física. Agradecemos a todos os participantes no fórum o seu entusiasmo e colaboração.

As provas de selecção para as Olimpíadas Internacionais de Física decorreram no Departamento de Física da FCTUC no dia 4 de Maio e consistiram, à semelhança das provas internacionais, numa prova teórica e numa prova experimental, constituída por duas experiências.

Os enunciados e resoluções destas provas estão disponíveis em <http://olimpiadas.fis.uc.pt/apuramento/2007.shtml>

Os resultados foram os seguintes:

- 1º Raul João de Sousa Pereira, Esc. Secundária Almeida Garrett (Vila Nova de Gaia);
- 2º Pedro Soares Moniz da Ponte, Esc. Secundária Domingos Rebelo (Ponta Delgada);
- 3º Pedro Miguel Gregório Carrilho, Esc. Secundária Gabriel Pereira (Évora);
- 4º João Leitão Guerreiro, do Colégio Valsassina (Lisboa);
- 5º Ivo José Pinto de Macedo Timóteo, Esc. Secundária António Sérgio (Vila Nova de Gaia);
- 6º Tiago Raúl de Sousa Pereira, Esc. Secundária Almeida Garrett (Vila Nova de Gaia);
- 7º Nuno Emanuel Cabral Monteiro, Esc. Secundária Alves Martins (Viseu);
- 8º Manuel Jorge Monteiro Marques, Esc. Secundária Filipa de Vilhena (Porto);
- 9º João Pedro Ramos, do Colégio Luso-Francês (Porto);
- 10º *ex-aequo* - Nuno António Aguiar dos Santos, Esc. Sec. de Gondomar (Gondomar), Artur Duarte Ferreira de Araújo, Esc. Sec. Carlos Amarante (Braga), João Miguel Oliveira Alves, Esc. Sec. Herculano de Carvalho (Lisboa), Rui Miguel Raposo Pinto, Esc. Sec. Ferreira Dias (Cacém), João Carlos Pinto Barros, Esc. Sec. de Rio Tinto (Rio Tinto), Salomé Pereira de Matos, Instituto de Odivelas (Lisboa), André Guilherme Domingos de Oliveira, Esc. Sec. Prof. Herculano de Car-



Os alunos da pré-selecção Olímpica no dia em que foram divulgados os resultados da prova de selecção (5 de Maio de 2007).

valho (Lisboa), Miguel Gonçalves Tavares, Esc. Sec. Infanta D. Maria (Coimbra), Paulo David Rodrigues Santos, Esc. Sec. Emídio Navarro (Viseu), Miguel Filipe Ribeiro Pais, Esc. Sec. de Peniche (Peniche), Pedro Vaz Coke, Esc. Sec. da Maia (Maia), João Fidalgo Martins, da Esc. Sec. Filipa de Vilhena (Porto), André Ricardo Simões Bento, da Esc. Sec. Prof. Herculano de Carvalho (Lisboa).

Os cinco primeiros classificados ficaram apurados para representar Portugal na IPhO'07, Isfahan, Irão e os estudantes classificados do 6º ao 9º lugar ficaram apurados para a OIBF'07, Córdoba, Argentina.

A Ministra da Educação não respondeu ao convite que lhe foi dirigido para que Portugal participasse na IPhO'07, no Irão, e o Presidente da SPF não autorizou a deslocação. A representação nas Olimpíadas Internacionais tem carácter oficial e não pode ser feita à revelia quer do Governo quer da SPF e, por isso, a delegação portuguesa não se apresentou em Isfahan. É a primeira vez, desde 1993, que Portugal não está presente na IPhO. Refira-se que este boicote deixou Portugal numa posição isolada, pois estiveram presentes mais de setenta países, incluindo Espanha, França, Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos. Dadas estas circunstâncias, que se lastimam, os primeiros quatro classificados na prova de selecção irão participar na OIBF'07 e, aos cinco restantes, será proporcionado, como prémio de consolação, uma visita ao CERN, em Genebra, e ao ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), em Grenoble.

A Comissão Nacional das Olimpíadas agradece aos professores tutores que, generosamente, ajudaram os alunos na sua preparação ao longo do ano lectivo. Uma palavra especial de agradecimento também é devida a todos os correctores das provas das várias etapas, tarefa árdua e que só foi possível realizar com a ajuda de muitos voluntários.

A SPF agradece ao Ministério da Educação e ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior o apoio financeiro dado às Olimpíadas da Física.

LIVROS NOVOS

Registam-se os seguintes títulos novos sobre temas de Física, de ciência em geral ou de educação, publicados nos últimos meses:

Brian Fagan

O Longo Verão. Como o Clima Mudou a Civilização
Edições 70, 2007

Étienne Klein

O Tempo. De Galileu a Einstein
Caleidoscópio, 2007

James Lovelock

A Vingança de Gaia
Gradiva, 2007

José R. Croca e Rui N. Moreira

Diálogos Sobre Física Quântica. Dos Paradoxos à Não-Linearidade
Esfera do Caos, 2007

Mick O'Hare (Editor)

Porque É Que O Mar É Azul?
Casa das Letras, 2007

Olga Pombo

Unidade da Ciência
Programas, Figuras e Metáforas
Edições Duarte Reis, 2006

Raquel Gonçalves-Maia

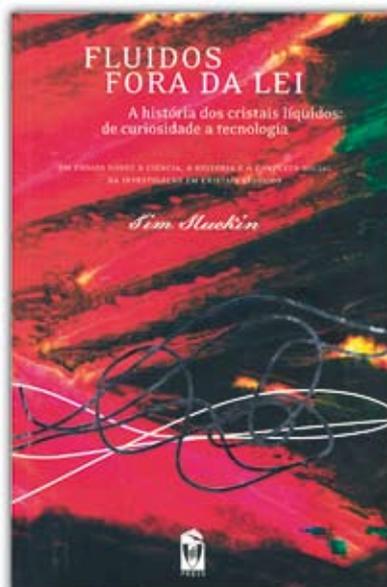
O Legado de Prometeu
Uma Viagem na História das Ciências
Escolar Editora, 2006

Stephen Hawking e Leonard Mlodinow

Brevíssima História do Tempo
Gradiva, 2007

Agradecemos aos editores o envio de novos livros de ciência e/ou educação, aos quais faremos a devida referência.

CRISTAIS LÍQUIDOS: DO COLESTEROL AOS ECRÃS DE TELEVISÃO



Tim Sluckin

Fluidos Fora da Lei.
A história dos cristais líquidos:
de curiosidade a tecnologia
IST Press, 2006

"Os cristais líquidos são belos e misteriosos; gosto deles pelas duas razões"
P. G. de Gennes (1932-2007),
Prémio Nobel da Física de 1991

A expressão do título "Cristais líquidos" parece uma contradição: em princípio, um cristal é um sólido e não um líquido. Sim, mas só em princípio. Acontece que muitas substâncias não se podem arrumar

dessa maneira simples. Não há só branco e preto, mas também cinzento. É o caso da chamada “matéria mole” (ou “fluidos complexos”), como os cristais líquidos, os polímeros e as soluções coloidais.

Os cristais líquidos, que são hoje comuns em mostradores de relógio ou de telemóvel e em ecrãs de computador ou de televisão, por um lado são líquidos, porque fluem à semelhança dos líquidos simples. Mas, por outro lado, são sólidos pois mostram padrões regulares de longo alcance. A sua dupla personalidade resulta do facto de as suas moléculas, com muitos átomos, terem formas não esféricas (muitas moléculas de cristais líquidos têm a forma de um bastão). Essas moléculas podem mudar de posição mantendo uma certa e determinada ordem, nomeadamente a orientação numa mesma direcção.

O leitor diria que há uma relação entre o colesterol e os modernos ecrãs de televisão? Com certeza que não. Mas o estudo científico dos cristais líquidos iniciou-se em 1888 com o trabalho de Friedrich Reinitzer, químico e botânico austríaco, na Universidade Alemã de Praga (então parte do Império Austro-Húngaro) sobre o colesterol da cenoura... Reinitzer observou que o benzoato de colesterilo (um composto de carbono, hidrogénio e oxigénio) tinha dois pontos de fusão. Aumentando a temperatura, passava primeiro de sólido a um líquido translúcido e só depois a um líquido transparente (poder-se-ia chamar ponto de clarificação ao segundo ponto de fusão!). Sabemos hoje que isso se deve à forma das moléculas, orientadas na fase translúcida, mas na época a ideia de moléculas e átomos não passava de uma mera hipótese...

Para entender tão intrigante fenómeno, Reinitzer pediu ajuda a um cristalógrafo, o alemão Otto Lehmann, em Aachen. Este, possuidor de um microscópio de

luz polarizada, conseguiu observar pequenos cristais na fase intermédia entre sólido e líquido. Em 1889 publicava um artigo no *Zeitschrift fuer Physikalische Chemie*, que tinha o título “Sobre os cristais líquidos” (o artigo pioneiro de Reinitzer, com o título “Contribuições para o Estudo do Colesterol”, tinha saído no ano anterior no *Monatsheft fuer Chemie* (Wien)). Iniciou-se então uma acesa controvérsia científica que havia de durar. A história dos cristais líquidos está tão cheia de peripécias que dá um romance!

Pois foi esse romance – intitulado *Fluidos Fora da Lei* – que em 2006 saiu na Imprensa do Instituto Superior Técnico (IST Press) da pena de um especialista em cristais líquidos, o físico-matemático da Universidade de Southampton, Inglaterra, Tim Sluckin. O livro é uma preciosidade a vários títulos: em primeiro lugar porque é uma excelente descrição, com muita sabedoria e humor, de ciência em acção; em segundo lugar porque tem uma óptima apresentação gráfica, com bom papel e óptimas imagens (só a lombada é que não resistiu ao uso); e, finalmente, porque está não só bem escrito como bem traduzido. O tradutor é Paulo Ivo Teixeira, físico que ensina no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, especialista em matéria mole e ex-estudante de doutoramento de Sluckin. A qualidade do seu trabalho está reconhecida pelo seu primeiro lugar no prestigiado prémio de tradução científica da União Latina e Fundação para a Ciência e Tecnologia, alcançado pela sua tradução do livro *Mais Rápido do que a Luz* do astrofísico João Magueijo.

Para o autor avaliar por si próprio o interesse e a qualidade do texto de Sluckin, traduzido por Teixeira, transcrevo dois parágrafos, da parte onde o autor, a propósito da repetição que ele próprio fez da experiência de Reinitzer, nos informa como se iniciou no fantástico mundo da química:

“Perdi a minha virgindade experimental aos 12 anos. Estava cheio de entusiasmo por ter sido o melhor da turma em Química, e por ter lido um livro acerca de Glenn T. Seaborg (1912-99), o famoso químico que, na Califórnia, primeiro isolara os elementos transurânicos. Os meus pais tinham-me dado um laboratório de química pelos meus anos, o qual iria permitir que os meus talentos desabrochassem. Infelizmente, não havia no laboratório nenhuma substância química interessante – por exemplo daquelas que mudam de cor, que cheiram mal ou que explodem. E ainda bem que assim era. Porque um outro rapaz do meu ano tinha misturado clorato de potássio e açúcar na arrecadação por trás da sua casa e ficado com um olho a menos (ou com um olho de vidro a mais, se quisermos ver as coisas pelo lado positivo).

Por isso, todos os sábados de manhã, deslocava-me religiosamente à droguaria Young’s, de Belvoir Street, em Leicester, para comprar ácidos e bases e permannato de potássio. Guardava todas estas substâncias no meu quarto em frascos velhos de tinta Quink, à espera do dia em que poderia utilizá-las em experiências construtivas. Infelizmente, esse dia nunca chegou. O que chegou foi uma série de buracos na parede da casa de banho – buracos que começaram por ser insignificantes, mas que foram crescendo até serem precisos talentos de dissimulação do mais alto nível para conseguir continuar a ignorá-los.”

Fica assim a perceber porque é que Sluckin enveredou pela Física-Matemática em vez da Química... Além da investigação pura e dura, tem-se interessado pela história da ciência, como este livro bem mostra. *Fluidos Fora da Lei* é o seu primeiro livro, pois só tinha coordenado uma antologia de artigos (a IST Press tem pois os direitos mundiais da obra, mostrando o alto serviço à ciência mundial que uma editora universitária portuguesa pode prestar).

As histórias da história dos cristais líquidos, contadas por Sluckin, são todas muito engraçadas. Por exemplo, Lehmann, em 1908, nos famosos *Annalen der Physik* (onde Einstein tinha publicado três anos antes os seus artigos fundadores da teoria da relatividade restrita), num artigo intitulado “Sobre a história dos cristais líquidos”, atacava um seu colega alemão, de seu nome Vorlaender, que lhe estava a disputar a prioridade que ele pretendia. Lehmann, numa tradução muito livre feita com ironia por Sluckin, escreveu: “*O sacana do Vorlaender não me está a fazer justiça! Fui eu quem inventou os cristais líquidos, não foi o Reinitzer! Está bem que a química tem a sua piada (...)* *O sacana!*” Reinitzer, bem-educado, ripostou que o fenómeno da dupla fusão remontava a 1855, que não tinha afinal sido ele...

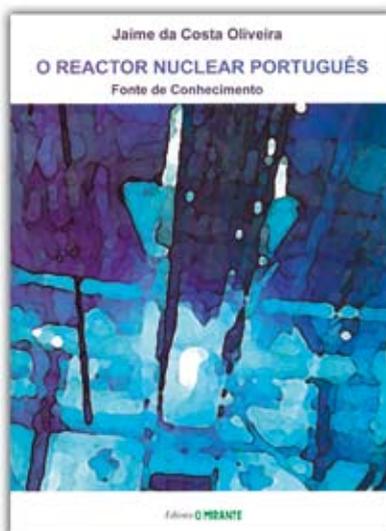
Começou, portanto, com uma disputa na língua alemã a ciência dos cristais líquidos... E a polémica continuou noutras línguas, com a entrada em cena dos franceses e, um pouco atrasados, dos ingleses e dos norte-americanos. As aplicações chegaram em força no século XX. A companhia inglesa Marconi registou logo em 1934 uma patente sobre a melhoria de válvulas de luz, que era premonitória das televisões de cristais líquidos. Contudo, os primeiros mostradores de cristais líquidos viáveis, baseados nas peculiares propriedades ópticas dos cristais líquidos, só se tornaram possíveis em 1963, graças ao norte-americano George Heilmeyer, um investigador da Radio Corporation of America. A história da prioridade das patentes nesta área é uma autêntica telenovela, que não fica atrás da disputa relativa à descoberta. O sucesso moderno dos cristais líquidos ficou a dever-se aos japoneses, em especial à Sharp Corporation.

O leitor que tenha em sua casa uma televisão de LCD (*Liquid Crystal Display*) e que não faça ideia da

história dos cristais líquidos tem agora uma oportunidade que não deve desperdiçar: só foram impressos 500 exemplares desta história e os seus possuidores devem, portanto, considerar-se uns privilegiados!

Carlos Fiolhais
tcarlos@teor.fis.uc.pt

O REACTOR NUCLEAR PORTUGUÊS



Jaime da Costa Oliveira
O Reactor Nuclear Português. Fonte de Conhecimento
Editora O Mirante, 2005

Recentemente, um processo levantado a Portugal pela Comissão Europeia por alegadamente o reactor nuclear português, que se situa no Instituto Tecnológico e Nuclear, em Sacavém, não obedecer a algumas normas europeias de segurança, nomeadamente por não haver o devido controlo de efluentes gasosos, veio colocar aquela instalação científica nos média. Logo o Director do Instituto e até o Presidente da Câmara de Loures (para evitar o alarme das populações, sempre sensíveis aos propalados perigos do nuclear) se apressaram a declarar que não havia qualquer razão para alarme, pois tudo se estava a passar de acordo com

as normas estipuladas a nível nacional e internacional. A questão, a haver, seria apenas burocrática.

Mas o reactor português de investigação bem poderia aparecer nos média por boas razões. Ele tem sido uma verdadeira escola de ciência e engenharia nuclear, desde que foi inaugurado em 25 de Abril de 1961, tendo dado origem não só a numerosas publicações científico-técnicas como, ainda mais importante, a formação de uma pleiade de recursos humanos especializados. O primeiro reactor nuclear experimental funcionou em 1942 debaixo das bancadas de um estádio de Chicago, nos EUA, e logo no ano seguinte entrava em funcionamento em Oak Ridge o primeiro reactor industrial. Na sequência do programa “Átomos para a Paz”, sob o impulso do presidente norte-americano Dwight Eisenhower, houve entre nós, em finais dos anos 50 e início dos anos 60, uma grande aposta na ciência e tecnologia nuclear (não esquecer que as minas de urânio da Urgeiriça existiam quase desde o início do século, além de, no final da Segunda Guerra Mundial, terem sido descobertos e explorados filões uraníferos em Moçambique). Discutiui-se, durante muito tempo, a instalação de uma central nuclear industrial em Portugal. Mas, com outro 25 de Abril, o de 1974, essa possibilidade haveria de fenecer.

Só nos tempos mais recentes o nuclear voltou à ribalta, tanto no mundo, onde a energia nuclear foi reavivada pelo facto de não contribuir para o efeito estufa devido à ausência de emissões de dióxido de carbono, quer a nível nacional, devido ao interesse de um grupo privado num grande investimento numa central nuclear. É sabido que o governo português adiou para a próxima legislatura, qualquer planeamento neste sentido. Pela minha parte, físico nuclear por formação (defendi uma tese de doutoramento contendo cálculos da cisão nuclear do urânio),

acho que não deve haver temas tabus e que é bom que o tema da energia nuclear esteja sobre a mesa como uma das opções possíveis no nosso futuro energético. O nuclear tornou-se entretanto, uma das tecnologias mais bem reguladas e mais seguras do mundo e a recente notícia sobre a segurança do reactor de Sacavém mostra que há a devida vigilância e que estão presentes todas as cautelas.



A história do reactor nuclear português ainda está por fazer, mas há para isso abundante documentação. Alguma dela foi recentemente reunida em livro por um investigador, licenciado em Ciências Físico-Químicas em Lisboa em 1961 e doutorado em Física Nuclear em Paris em 1969, que trabalhou longos anos no reactor. Chama-se Jaime da Costa Oliveira e já tinha publicado nas edições de *O Mirante* (um semanário regional de Santarém, cujo interesse por temas de ciência e tecnologia apraz registar) os livros *Energia Nuclear - Mitos e Realidades* (em parceria com o seu colega e amigo Eduardo Martinho) e *A Energia Nuclear em Portugal – uma esquiua da história*. Escreve sobre energia nuclear com evidente conhecimento de causa pois, além do mais, foi o coordenador da comissão de redacção do projecto de Livro Branco sobre centrais nucleares em Portugal, que trabalhou em 1976 e 1977 ao serviço do Ministério da Indústria e Tecnologia. Jaime Oliveira é também autor de um livro de 1977 na Sá da Costa sobre *A Energia Nuclear – bases para uma opção* e de outro de 1978 na Imprensa Nacional, em co-autoria, intitulado *Centrais Nucleares em Portugal (Projecto de Livro Branco)*.

O livro, intitulado *O Reactor Nuclear Português*, começa por uma história da “era atómica” no mundo para continuar com a chegada dessa era a Portugal. O início oficial do nuclear em Portugal remonta a 1954 com a criação da Junta de Energia Nuclear. O Laboratório de Física e Engenharia Nuclear (antecessor do actual Instituto Tecnológico e Nuclear, um Laboratório do Estado) começou a ser construído em Sacavém, no ano de 1957, tendo desde o início sido planeado para incluir um reactor de tipo piscina, cujo combustível é urânio altamente enriquecido (isto é, a 93 %; o combustível está actualmente a mudar para urânio enriquecido, isto é, a 20 %) e cujo meio moderador é a água, com uma potência máxima de um megawatt. Vários capítulos do livro fazem uma descrição pormenorizada do reactor, discutindo em particular as questões de segurança, que estiveram sempre presentes desde a instalação.

Um dos maiores interesses do livro reside na inclusão de depoimentos de alguns dos principais actores da actividade do reactor. O prefácio é de Júlio Galvão, colega do autor, e que esteve na génese do Serviço de Protecção contra Radiações do Laboratório de Sacavém. E vários testemunhos aparecem em apêndice, em resultado de entrevistas pessoais efectuadas pelo autor. Incluem-se aí, entre outros, depoimentos de António Comprido (que de investigador júnior no reactor chegou a Presidente da British Petroleum portuguesa), Eduardo Martinho (já referido, com uma carreira paralela à do autor), Frederico Carvalho (que se doutorou em Física em Karlsruhe e foi durante muitos anos responsável pelo Departamento de Física do Laboratório de Sacavém e, mais recentemente, presidente do Conselho Científico do Instituto), João Caraça (doutorado em Física Nuclear em Oxford e que hoje é director do Serviço de Ciência da Fundação Gulbenkian), José Moreira de Araújo

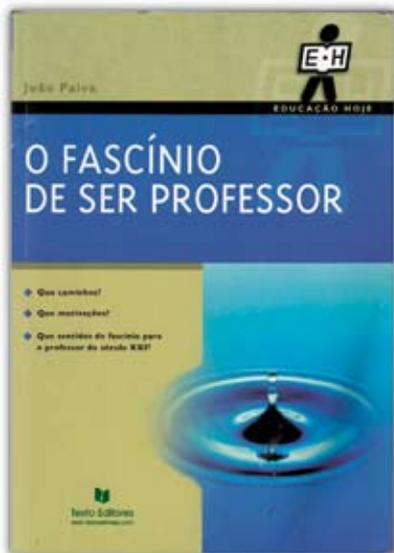
(doutorado em Física Nuclear em Manchester que fez uma longa carreira na Universidade do Porto), José Veiga Simão (doutorado em Física Nuclear em Cambridge, professor da Universidade de Coimbra, e que foi Ministro da Educação Nacional, Ministro da Indústria e Energia e Ministro da Defesa Nacional), Rui Namorado Rosa (doutorado em Física em Oxford e professor na Universidade de Évora, tendo-se especializado em questões de energia). Houve, como se vê, uma tentativa conseguida de formar pessoas de valor em física nuclear. Vários centros nacionais de investigação em física radicam aliás nesse esforço.

Neste volume ilustrado de 634 páginas vários anexos contêm documentação relevante desde discursos, relatórios, actas, planos, processos, memória descritiva e documentos de adjudicação, e, finalmente, uma exaustiva lista de publicações, separadas numa secção sobre utilização do reactor como fonte de estudo e noutra como fonte de radiação (principalmente de neutrões e de raios gama) para estudos em várias áreas. São listados os artigos que foram publicados no quadro das actividades do reactor, embora não haja uma discriminação dos artigos em revistas do *Science Citation Index*, em princípio com maior valor científico, nem seja exposto o respectivo impacte.

Eis, portanto, uma obra indispensável a quem pretenda fazer um estudo sobre uma importante infraestrutura de investigação portuguesa. Hoje existem cerca de 270 reactores de investigação em todo o mundo e Portugal, pese embora algumas indecisões no passado, bem pode orgulhar-se de ter um reactor com um registo impecável de funcionamento.

Carlos Fiolhais
tcarlos@teor.fis.uc.pt

O FASCÍNIO DE SER PROFESSOR



João Paiva
O Fascínio de ser Professor
Texto Editores, 2007

“O fascínio é o eixo que faz mover a escola e, assim, anima o mundo.”

É com esta frase que João Paiva termina o livro *O fascínio de ser professor* que acaba de ser editado pela Texto Editores.

Num conjunto de vinte secções, ilustradas de uma forma simultaneamente “ingénua” e esclarecedora, João Paiva apresenta sob a forma de uma dicotomia, não necessariamente um antagonismo, um conjunto de reflexões sobre vários temas que atravessam a função do professor em geral e do professor de química em particular.

Não se trata de um livro académico, adverte o autor que, numa linguagem simples, recorrendo muitas vezes a metáforas, aborda em particular algumas das tensões educativas que hoje, como ontem, se fazem sentir, porventura de forma diferente. E, embora reconheça que não possui receitas para resolver os complexos problemas da educação, vai deixando alertas extraordinariamente importantes, como por exemplo:

Nivelar por baixo, como se tem vindo a fazer na escola portuguesa é sempre um mau princípio...

Criem-se alternativas mas “deixar andar” não pode nunca ser o caminho, seja em nome de que sucesso for ...

Um ensino de ciências sem experimentação é como o ensino da literatura sem livros...

Pedagogicamente é tão frágil pensar sem fazer como fazer sem pensar...

Sou entusiasta do uso das TIC mas arrepio-me quando alguém tende a confundir tal apologia com o desprivilegio da experimentação...

A um professor fica sempre melhor perguntar que afirmar. Afirmar o que pode ser conquistado pelo aluno é tentação a combater...

A grande arma contra a indisciplina ainda é o diálogo...

Podem mudar todos os decretos-lei e oferecerem-se óptimas condições logísticas e infra-estruturais, mas faltando o entusiasmo dos professores, falta a alma da escola e a educação esmorecerá como plantas sem água...

Trata-se, pois, de um livro útil para qualquer professor e, direi mesmo, indispensável para aqueles que estão a iniciar a carreira, sejam ou não professores de Química.

Regina Gouveia
gouveias@vtel.pt

MAGNETISMO TERRESTRE



Regina Gouveia
Magnetismo Terrestre
Calendário de Letras, 2006

“... O título desta colectânea de poemas repassados de saudades de um tempo e de um lugar (que afinal é um universo) é a transposição alegórica de uma temática científica da área da Física, o que não surpreende porque a autora, docente de Física e Química, pode, com a maior naturalidade, emoldurar o seu estro em referentes científicos ainda que metafóricos, como é o caso presente e foi também o caso da obra anterior *Reflexões e Interferências*.”

“... A formação científica da autora transparece, como em António Gedeão, na obra poética. Assim, às vezes, notas de cariz científico surgem integradas no discurso poético sem quebras de ritmo nem significância, antes pelo contrário, como é, por exemplo o caso do final do poema *Ilusão* “No ocaso, o sol vermelho já se esconde, porém, já lá não está, é ilusão. Ainda o vemos devido à refração.” Outras vezes (poema *Big Bang*) noções científicas como a do *Big Bang*, ligado à expansão do Universo são contrapostas à vivência da autora, cujo Universo, clama, se contrai no tempo.”

“... Sem curar de fazer uma recensão completa da obra, no conjunto de grande nível e valor artístico – tarefa que competirá a quem for da arte da crítica literária - apraz-me salientar dois exemplos paradigmáticos: No poema *Sensações* a autora poetiza “o cheiro da sua casa da aldeia”, o que recorda Régio quando refere em uma das suas obras “os bons e maus cheiros” de uma velha casa. No poema *Entropia* a degradação da matéria viva (medronhos apodrecendo no chão) é usada como ilustração do 2º Princípio da Termodinâmica.

Já outros autores com formação científica de base poetaram glosando, por exemplo, temas de Física (Niels Bohr) e / ou de Química (António Gedeão / Rómulo de Carvalho). Mas, no caso da presente autora a poesia, ainda que insira aspectos da sua cultura científica encadeados no discurso poético, o lirismo dos temas e a forma como são tratados denunciam uma sensibilidade que só pode ser feminina.”

Extractos do prefácio da autoria de José Ferreira da Silva, Professor do Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

SÍTIO DO TRIMESTRE

DE RERUM NATURA [Sobre a Natureza das Coisas]

<http://dererummundi.blogspot.com/>



A blogosfera tem um novo portal de ciência

De Rerum Natura [Sobre a Natureza das Coisas] é o nome do único poema escrito pelo poeta latino Tito Lucrécio Caro, que viveu no século I a.C.

Desde o passado dia 7 de Março de 2007, é também o nome de um blogue de ciência, da autoria de Carlos Fiolhais (físico), Desidério Murcho (filósofo), Helena Damião (pedagoga), Jorge Buescu (matemático), Palmira F. Silva (química), Paulo Gama Mota e Sofia Araújo (biólogos).

De acordo com o próprio texto de apresentação, este portal pretende não só

discutir o que é a ciência (história e filosofia da ciência, cultura científica, aplicações da ciência, riscos, educação científica, arte e ciência, etc.)

mas também

partir da realidade do mundo para discutir o empreendimento humano da descoberta do mundo, que é a ciência, e as profundas implicações que essa descoberta tem para a nossa vida no mundo,

e, desta forma, tornar-se um ponto de encontro de cientistas, não cientistas, educadores, educandos e público em geral.

Neste momento, o blogue conta com mais 225 000 visitas, (mais de 1700 visitas por dia, em média nos últimos tempos) e alguns milhares de comentários aos textos ali publicados, mostrando que o portal está a atingir os seus objectivos.

Carlota Simões
carlota@mat.uc.pt

GAZETA DE FÍSICA

OS ESTUDANTES DE FÍSICA
TÉCNICO-FÍSICOS PORTUGUESES

GAZETA DE FÍSICA
Mais de 60 anos
ao serviço da Física!

VOL. I, FASC. 2
JANEIRO, 1947

FÍSICA

Gazeta de

Físic

Os cient
Banda De

Criptografia
Entrevista com



1999 • Publicação Trimestral • Julho/Agosto • 650\$00 / 3.25 Euros

Gazeta de

Física

Sociedade Portuguesa de Física

PRÓXIMOS NÚMEROS

UMA NOVA EQUIPA

DIRECÇÃO EDITORIAL

- Teresa Peña

EDITORES ADJUNTOS

- Carlos Herdeiro
- Filipe Moura
- Gonçalo Figueira
- Yasser Omar

UM NOVO FORMATO | NOVAS SECÇÕES

FÍSICA DIVERTIDA

Crónicas de Física na continuação dos livros com o mesmo nome.

VAMOS EXPERIMENTAR!

Um mundo cheio de experiências dirigidas ao público de palmo e meio!

FÍSICA SEM FRONTEIRAS

Física e interdisciplinaridade.

FÍSICA NA SOCIEDADE

Física na complexa evolução da sociedade humana.

INOVAÇÃO

Casos de sucesso de física, empreendedorismo e inovação tecnológica.

A GAZETA NO LABORATÓRIO

Experiências para realizar em casa ou no laboratório.

HISTÓRIAS E ESTÓRIAS

Curiosidades ou a pequena história da História da Física.

SALA DE PROFESSORES E DE ALUNOS

As boas práticas e os projectos nas escolas.

OUTRA NOVIDADE

Gazeta
em versão on-line!

E mais, muito mais...