



Gazeta de

Física

Sociedade Portuguesa de Física

O CENTENÁRIO DO QUANTUM DE LUZ

Eduardo Lage

AS ANOMALIAS DA ÁGUA A BAIXA TEMPERATURA

José Teixeira

“FORMAÇÃO DE PROFESSORES É ABSOLUTAMENTE ESSENCIAL”

Entrevista a João Lopes dos Santos,
coordenador do projecto Faraday



GAZETA DE FÍSICA VOL. 28 FASC. 1, 2005

DIRECTOR Carlos Fiolhais
DIRECTORAS ADJUNTAS Constança Providência e Lucília Brito
EDITORA Paula Almeida

CORRESPONDENTES Paulo Crawford (Lisboa),
Joaquim Santos (Coimbra) e João Pedro Araújo (Porto)

COLABORAM AINDA NESTE NÚMERO
Ana Margarida Raposo, Carlos Pessoa, Eduardo Lage,
Guilherme de Almeida, Helena Caldeira, Ileana Maria
Greca, José Teixeira, Margarida Conde, Sandra Costa, Teresa
Lobato.

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

DESIGN
MediaPrimer - Tecnologias e Sistemas Multimédia Lda
Rua Simões de Castro, 132, 1º Esq.
3000-387 Coimbra
E-mail info@mediaprimer.pt

PRÉ-IMPRESSÃO E IMPRESSÃO
Carvalho & Simões, Artes Gráficas, Lda
Estrada da Beira 479 / Anexo
3030-173 Coimbra

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

ISSN 0396-3561
REGISTO DGCS nº 107280 de 13.05.80
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

APOIO:
Ministério da Educação - Sistema de Incentivos à
Qualidade da Educação



ÍNDICE

ARTIGOS

O CENTENÁRIO DO QUANTUM DE LUZ 4
Eduardo Lage

AS ANOMALIAS DA ÁGUA A BAIXA TEMPERATURA 10
José Teixeira

ENTREVISTA

FORMAÇÃO DE PROFESSORES É ABSOLUTAMENTE ESSENCIAL 18
Entrevista a João Lopes dos Santos

NOTÍCIAS

FÍSICA NO MUNDO 22
FÍSICA EM PORTUGAL 26

SECÇÕES

ENSINO DA FÍSICA 30
LIVROS E MULTIMÉDIA 38
CARTAS DOS LEITORES 42
2005 - ANO INTERNACIONAL DA FÍSICA 43

ANNUS MIRABILIS

Em Dezembro de 2000, no 3.º Congresso Mundial das Sociedades de Física, a Sociedade Europeia de Física (EPS) iniciou diligências para declarar 2005 como Ano Mundial da Física. Dois anos mais tarde, em Outubro de 2002, a União Internacional de Física Pura e Aplicada (IUPAP) decidiu apoiar essa iniciativa. Em Outubro de 2003, a 32.ª Conferência Geral da UNESCO acolheu a decisão da IUPAP, proclamando 2005 como **Ano Internacional da Física**, decisão ratificada a 10 de Junho de 2004, na 58.ª Assembleia Geral da ONU. Escolhido para coincidir com o centenário do *annus mirabilis* de Albert Einstein, o Ano Internacional da Física vai inspirar e entusiasmar uma nova geração de cientistas e mostrar ao público a importância e a beleza da Física.

A Sociedade Portuguesa de Física, em sintonia com outras instituições, tem um vasto programa de actividades para o ano 2005 destinadas a promover a Física. De algumas delas lhe damos conta na secção "2005 Ano Internacional da Física".

Recomendamos também os artigos desta edição, o primeiro dos quais da autoria de **EDUARDO LAGE**, visa precisamente assinalar o centenário do *quantum* de luz. Num outro, o físico português **JOSÉ TEIXEIRA**, radicado em França há longos anos, fala-nos das anomalias da água a baixa temperatura.

Uma entrevista com **JOÃO LOPES DOS SANTOS** sobre o projecto "Faraday", que está a coordenar no Porto numa parceria entre a Universidade e algumas escolas secundárias, completa a primeira parte desta Gazeta.

Na secção Física em Portugal, o destaque vai para uma entrevista com **FRANCISCO NATÁRIO**, vencedor do Prémio Mário Silva, no quadro dos Prémios Público/Gradiva 2003/2004, com um trabalho que aplica a relatividade restrita e geral ao sistema GPS. É feita referência também a outros físicos portugueses distinguidos com prémios internacionais e nacionais.

Na secção Ensino da Física, **TERESA LOBATO**, **HELENA CALDEIRA** e **ILEANA MARÍA GRECA** debruçam-se sobre a "Mecânica Quântica no Secundário" e **MARGARIDA CONDE** fala-nos sobre o Labvídeo, uma nova aplicação para o ensino da Física. Destaque ainda para a carta de uma jovem de 17 anos que expõe a sua paixão pela Física e alerta para a enorme dificuldade que encontra na própria escola em poder estudar a sua disciplina favorita.

Boa leitura!

Quando em 1905, um jovem funcionário da Repartição de Patentes de Berna, na Suíça, publicou cinco artigos na prestigiada revista científica "Annalen der Physik", as suas ideias alteraram profundamente a Física. O primeiro trabalho foi, precisamente, sobre o *quantum* de luz.

EDUARDO LAGE

Departamento de Física da Faculdade de Ciências
da Universidade do Porto

Rua do Campo Alegre, 687

4169-007 Porto

eslage@fc.up.pt

O CENTENÁRIO DO QUANTUM DE LUZ

Em 1905, um jovem técnico, funcionário de segunda classe da Repartição de Patentes de Berna (Suíça), publicou cinco artigos na prestigiada revista "Annalen der Physik". Não eram os primeiros artigos escritos por Albert Einstein, nascido a 14 de Março de 1879, mas as ideias expostas nas publicações de 1905 iriam alterar profundamente a Física. Por ordem cronológica de recepção na revista, os trabalhos versam os seguintes temas:

17 de Março - O *quantum* de luz.

11 de Maio - Movimento browniano.

30 de Junho - Relatividade restrita.

27 de Novembro - Segundo artigo sobre relatividade restrita (dedução da famosa equação $E=mc^2$).

19 de Dezembro - Segundo artigo sobre movimento browniano.

Se se acrescentar que, em 30 de Abril desse mesmo ano, Albert Einstein ainda submeteu a sua tese de doutoramento sobre viscosidade de uma solução diluída de micropartículas e sua relação com o coeficiente de difusão¹, temos de aceitar como inteiramente adequada a designação de *annus mirabilis* dada a 1905. O centenário celebra-se agora em todo o mundo, justificando a declaração, pela UNESCO e pela ONU, de 2005 como Ano Internacional/Mundial da Física.

Irei, aqui, considerar com algum pormenor o primeiro dos artigos citados - não por ser o primeiro, nem tão pouco por ele ter servido para justificar o Prémio Nobel de 1921, mas porque revela claramente o génio do seu autor. Perceber-se-á por que razão Albert Einstein considerou esse o único trabalho verdadeiramente revolucionário que fez em toda a sua vida.



Einstein em 1905

O artigo [1], com o título "Sobre um ponto de vista heurístico relativo à geração e conversão da luz", tem apenas 17 páginas, das quais 9 tratam de questões de termodinâmica e mecânica estatística e menos de 3 do efeito fotoelétrico (estas são talvez hoje a sua parte mais conhecida). Não irei tratar o artigo [2] em pormenor, antes me concentrarei nos seus aspectos mais relevantes, usando notações matemáticas actualizadas.

PRELIMINARES

Em Outubro de 1900, Max Planck propôs uma expressão matemática que se ajustava bem aos resultados experimentais obtidos para a radiação do corpo negro[3]. O problema, formulado por Kirchoff em 1859, consiste em caracterizar a radiação electromagnética em equilíbrio térmico (a uma certa temperatura absoluta) com matéria que a absorve completamente e, por isso, também a emite completamente. Designando por $u_\nu d\nu$ a energia, por unidade de volume, contida nas ondas electromagnéticas com frequências no intervalo $(\nu, \nu+d\nu)$, a fórmula proposta por Planck é:

$$u_\nu = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{\beta h\nu} - 1}, \quad (1)$$

onde c é a velocidade da luz no vazio, $\beta = 1/kT$, com k a constante de Boltzmann, T a temperatura absoluta e h uma constante ajustável, que passou a ser conhecida por constante de Planck. Esta fórmula reproduzia exactamente o limite de Wien ($\beta h\nu \gg 1$):

$$u_\nu = \frac{8\pi h}{c^3} \nu^3 e^{-\beta h\nu} \quad (2)$$

e também parecia ajustar-se correctamente aos desvios a este limite observados experimentalmente para mais baixas frequências.

Em Dezembro de 1900, Planck apresentou uma dedução da sua expressão. Para isso, admitiu que a radiação é absorvida e emitida por osciladores harmónicos unidimensionais (de frequência natural ν e fraco amortecimento), obtendo, a partir das equações básicas da mecânica e do electromagnetismo, uma relação entre a densidade de energia electromagnética e a energia média (E_ν) do oscilador:

$$u_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} E_\nu \quad (3)$$

Usando a Eq. (1), Planck deduziu:

$$E_\nu = \frac{h\nu}{e^{\beta h\nu} - 1} \quad (4)$$

e, por simples recurso ao formalismo da termodinâmica

$$\frac{ds_\nu}{dE_\nu} = \frac{1}{T},$$

obteve a entropia por oscilador:

$$s_\nu = k \left[\left(1 + \frac{E_\nu}{h\nu} \right) \log \left(1 + \frac{E_\nu}{h\nu} \right) - \frac{E_\nu}{h\nu} \log \frac{E_\nu}{h\nu} \right]. \quad (5)$$

A justificação encontrada por Planck para esta fórmula assenta em duas hipóteses, totalmente alheias à física clássica:

1ª - Se se considerarem N osciladores iguais, a energia total NE_ν distribui-se pelos osciladores em "elementos" (*quanta*), como lhes chamou Planck, de grandeza $h\nu$.

2ª - Os $Q_\nu = \frac{NE_\nu}{h\nu}$ "elementos" de energia não são, apenas, iguais como indistinguíveis, o que determina que o número de maneiras de os distribuir pelos N osciladores é:

$$W_N = \frac{(N-1+Q_\nu)!}{(N-1)!Q_\nu!} \quad (6)$$

conhecida hoje por distribuição de Planck.

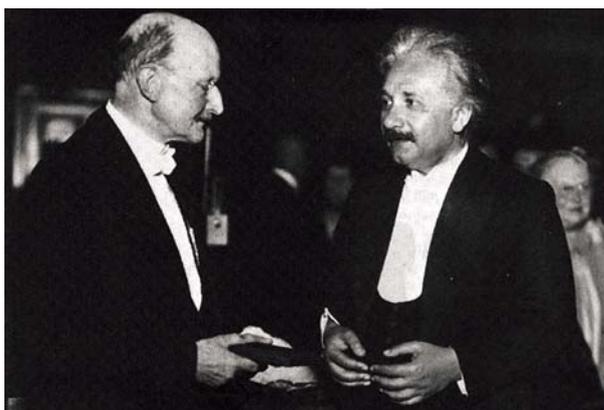
Usando a conhecida expressão de Boltzmann para a entropia:

$$Ns_\nu = k \log W_N \quad (7)$$

e admitindo $N \gg 1$, $Q_\nu \gg 1$ (o que permite utilizar a fórmula de Stirling), facilmente se reproduz a Eq. (5).

A explicação de Planck foi encarada, na época, como uma curiosidade, uma forma hábil de resolver o problema da radiação do corpo negro, mas que não deveria ser levada muito a sério. A comunidade dos físicos de então considerava que as hipóteses de Planck escondiam a complexidade da interacção radiação - matéria e que uma teoria mais bem fundamentada não só justificaria (ou, mesmo, eliminaria) aquelas hipóteses como permitiria deduzir o valor da constante h . Só o jovem Einstein considerou seriamente a proposta de Planck.

O QUANTUM DE LUZ



Max Planck e Albert Einstein

No seu artigo de Março de 1905, Albert Einstein começa por notar que a mecânica estatística clássica dá uma resposta bem definida para a energia média de um oscilador ($E_v = kT$) pelo que a previsão clássica para a Eq. (3) seria:

$$u_v = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT. \quad (8)$$

Aparentemente, Einstein desconhecia que este resultado havia sido obtido (sem o factor 8) por Rayleigh, em 1900. A correcção do factor 8 foi feita por James Jeans, em Junho de 1905, isto é, após o trabalho de Einstein, sendo um pouco irónico que a Eq. (8) tivesse passado a designar-se por limite de Rayleigh-Jeans.

Esta previsão está, contudo, em desacordo com a experiência e esse desacordo é tanto mais pronunciado quanto maior for a frequência ou menor for a temperatura, isto é, quanto mais próximo estivermos do limite de Wien. Haveria, pois, que entender-se este limite. Para isso, Einstein vai considerá-lo um dado experimental da radiação térmica e procura caracterizar o campo de radiação sem qualquer recurso a osciladores materiais. Repete, em parte, o raciocínio de Planck - usa a Eq. (3) e deduz a entropia (S_v), para radiações de frequência no intervalo $(\nu, \nu + d\nu)$ encerradas num volume V :

$$S_v = k \frac{U_v}{h\nu} \left[1 + \log \left(\frac{8\pi h\nu^3 V d\nu}{U_v} \right) \right], \quad (9)$$

onde $U_v = \int V u_\nu d\nu$ é a energia electromagnética contida no volume V .

Suponhamos agora - propõe-nos Einstein - que este volume está isolado e dividido em dois sub-volumes V_1 e V_2 , separados por uma janela apenas transparente para radiações de frequência em $(\nu, \nu + d\nu)$. Então, radiação e, portanto, energia, com esta frequência está continuamente a ser trocada entre os dois sub-volumes; isto é, há flutuações de energia em cada sub-volume. Qual é a probabilidade $P(U_v^{(1)})$ de se observar a energia $U_v^{(1)}$ no sub-volume V_1 ? Segundo a mecânica estatística, essa probabilidade é dada por:

$$P(U_v^{(1)}) \propto e^{(S_v^{(1)}(U_v^{(1)}) + S_v^{(2)}(U_v^{(2)})) / k}$$

onde os índices se referem a cada um dos sub-volumes. Usando, a Eq. (9) e lembrando que $U_v^{(1)} + U_v^{(2)}$ é constante, uma vez que o volume total $V_1 + V_2$ está isolado, obtém-se:

$$P(U_v^{(1)}) \propto \left(\frac{V_1}{U_v^{(1)}} \right)^{\frac{U_v^{(1)}}{h\nu}} \left(\frac{V_2}{U_v^{(2)}} \right)^{\frac{U_v^{(2)}}{h\nu}} \quad (10)$$

É aqui que surge o génio de Einstein - ele faz uma pergunta simples: onde já se viu uma expressão semelhante? A resposta é surpreendente: compare-se a Eq. (10) com a probabilidade de encontrar N_1 partículas, no volume V_1 , de um gás perfeito (com $N = N_1 + N_2$ partículas), encerrado no mesmo volume V :

$$P(N_1) = \binom{N}{N_1} \left(\frac{V_1}{V} \right)^{N_1} \left(\frac{V_2}{V} \right)^{N_2} \propto \binom{N}{N_1} \left(\frac{V_1}{N_1} \right)^{N_1} \left(\frac{V_2}{N_2} \right)^{N_2} \quad (11)$$

onde a última expressão é obtida com a fórmula de Stirling.

Einstein é, assim, conduzido à hipótese do *quantum* de luz: "a radiação monocromática, no limite de Wien, comporta-se, no equilíbrio termodinâmico, como se fosse constituída por quanta de energia, mutuamente independentes, de valor $h\nu$ ". Estava encontrada uma explicação para a primeira hipótese de Planck.

À luz dos desenvolvimentos posteriores, a hipótese de Einstein é de uma audácia extraordinária - hoje, sabemos que os *quanta* de luz são bósons e, por isso, não podem ser considerados "mutuamente independentes"; não se conservam (ao contrário das partículas de um gás perfeito); e são indistinguíveis (ao contrário do que exprime a Eq. (11)).

Contudo, no limite de Wien, o gás de *quanta* é tão rarefeito que a correcta estatística dos *quanta* degenera na estatística clássica (veja-se que a Eq. (6), no limite $Q_v \ll N$ dá a distribuição binomial), podendo os *quanta* ser considerados distinguíveis, e a sua não conservação é irrelevante para processos de equilíbrio.

Mas Einstein não fica por aqui e avança com um projecto extraordinário, que designou por princípio heurístico: "*Se radiação monocromática, de fraca densidade, se comporta, no que respeita à dependência da entropia no volume, como um meio discreto consistindo de quanta de energia $h\nu$, então tal sugere que se investigue se as leis de geração e conservação da luz são, também, definidas como se a luz consistisse de quanta de energia deste tipo*". Quer dizer, a hipótese dos *quanta* de luz que, como se viu, foi sugerida pelo comportamento da radiação electromagnética livre, é estendida, deste modo, à interacção luz-matéria!

O EFEITO FOTOELÉCTRICO

O efeito fotoeléctrico consiste na emissão de electrões por metais expostos a radiação electromagnética. A primeira observação do fenómeno parece ser devida a Heinrich Hertz (1887), o que não é surpreendente dado o seu interesse na detecção de ondas electromagnéticas geradas por descargas eléctricas; W. Hallwachs (1883) mostrou que metais irradiados por luz ultravioleta adquirem carga eléctrica positiva; J. J. Thomson (1899) reconheceu que o efeito consiste na emissão de electrões; P. Lennard (1902) efectuou a descoberta fundamental - a energia do electrão não depende da intensidade da luz e aumenta com a frequência da radiação.

No seu artigo de Março de 1905, Einstein, usando o princípio heurístico, propõe uma explicação simples para o efeito fotoeléctrico: "*um quantum de luz dá toda a sua energia a um único electrão, sendo a energia transferida totalmente independente da presença de outros quanta*", o que justifica ser o efeito independente da intensidade da luz, tal como é observado. Faz também notar que um electrão, ejectado do interior do metal, sofrerá, em geral, uma perda de energia antes de atingir a superfície.

Designando por W essa energia mínima necessária para arrancar um electrão do metal (W é conhecida por função trabalho), Einstein propôs que a máxima energia do electrão ejectado seria:

$$E_{\max} = h\nu - W \quad (12)$$

Embora esta equação seja muito simples, as suas previsões são muito fortes:

1ª - E_{\max} deve variar linearmente com a frequência da radiação.

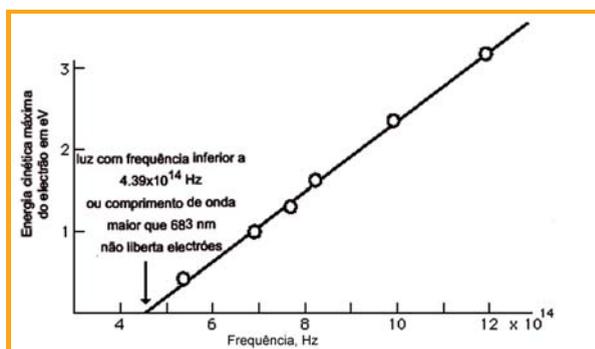
2ª - O declive da recta (E_{\max}, ν) é uma constante universal, independente da natureza do metal.

3ª - O valor desse declive é a constante de Planck.

Em 1912, A. L. Hughes verificou a relação linear, mas o declive parecia depender do metal usado. Contudo, em 1916, A. Millikan, após vários anos de trabalho sobre este problema, concluiu que a Eq. (12) é muito bem satisfeita, obtendo a constante de Planck com um erro de 0,5%.

No artigo de 1905, Einstein apresenta outras aplicações do princípio heurístico:

- a frequência da luz na fotoluminescência não pode exceder a frequência da luz incidente (conhecida experimentalmente por regra de Stark);
- na fotoionização, a energia do electrão emitido não pode exceder $h\nu$, onde ν é a frequência da luz incidente.



Dados de Millikan, 1916: a independência da curva, da intensidade da luz incidente, implicava que a interacção ocorria como se uma partícula desse toda a sua energia ao electrão, e o ejectasse com aquela energia menos a energia necessária para escapar da superfície.

Em 1906, Einstein discutiu o efeito fotoeléctrico inverso (efeito Volta) - electrões acelerados por uma diferença de potencial V chocam com um metal, originando emissão de radiação. O princípio heurístico prevê que a máxima frequência da radiação é dada por $h\nu = eV$ previsão confirmada por W. Duane e F. Hunt (1915), que obtiveram um valor de h em excelente acordo com a constante de Planck.

Neste mesmo artigo [4], Einstein aplicou o princípio numa outra direcção, apresentando uma dedução alternativa da fórmula de Planck: "*Devemos considerar o seguinte teorema como a base da teoria da radiação de Planck: a energia de um oscilador (unidimensional) só pode tomar valores que são múltiplos inteiros de $h\nu$; na emissão e absorção, a energia de um oscilador salta por múltiplos de $h\nu$* ". É uma extraordinária antecipação do modelo atómico de Bohr (1913), e conduz, realmente, à fórmula de Planck: se um oscilador só pode ter energia $n h\nu$ (com $n=0,1,2,\dots$), então a sua energia média, em equilíbrio térmico, é:

$$E_v = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} nh\nu e^{-\beta nh\nu}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-\beta nh\nu}} = \frac{h\nu}{e^{\beta h\nu} - 1}$$

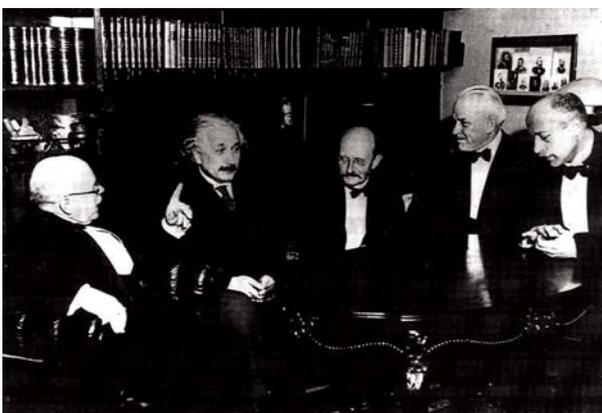
reproduzindo-se correctamente a Eq. (4).

REACÇÕES DA COMUNIDADE CIENTÍFICA

Poder-se-ia julgar que a hipótese do *quantum* de luz, pela sua simplicidade e pela verificação cada vez mais precisa e abrangente das suas consequências experimentais, ganharia fácil aceitação entre os físicos da época. A reacção foi, porém, muito diferente, como os comentários seguintes bem demonstram [5].

Laue (1906) - "*Para mim, pelo menos, qualquer artigo em que considerações probabilísticas são aplicadas ao vazio, parece-me muito duvidoso.*"

Planck, Nernst, Rubens e Wangel (1913), ao proporem Einstein para a Academia Prussiana, concluem na sua recomendação - "*Em suma, pode dizer-se que dificilmente se encontrará um, entre os grandes problemas em que a física moderna é tão rica, para o qual Einstein não tenha apresentado uma contribuição notável. Que ele, por vezes, possa ter errado o alvo, nas suas especulações, como, por exemplo, na sua hipótese dos quanta de luz, não pode ser erguido como um obstáculo à sua candidatura, porque não é possível apresentar ideias realmente novas, mesmo nas ciências mais exactas, sem, por vezes, se correr um risco.*"



Einstein com Nernst, Planck, Millikan e Laue em 1929

O próprio Einstein poderá ter contribuído, involuntariamente, para criar a ideia de que se trataria de uma hipótese provisória, sublinhando, mesmo, que "*não parece ser conciliável com as consequências experimentalmente verificadas da teoria ondulatória do campo electromagnético*" (Congresso Solvay, 1911). Mas o que para

Einstein era uma exigência de compreensão total, exprimindo cautelas nos seus escritos sobre a emergente teoria quântica, para outros parecia até um repúdio da ideia original. Assim se compreendem as seguintes afirmações:

Laue (1907), em carta a Einstein - "*Gostaria de lhe dizer como muito me agrada que tenha desistido da sua teoria dos quanta de luz.*"

Sommerfeld (1912) - "*Einstein extraiu as consequências mais extraordinárias da descoberta de Planck (do quantum da acção) e transferiu as propriedades quânticas dos fenómenos de absorção e emissão para a estrutura da energia da luz no espaço sem, julgo, manter hoje o seu ponto de vista original em toda a sua audacidade.*"

Millikan (1913) - "*Einstein desistiu, julgo, dos quanta de luz há cerca de dois anos*"; e, mais tarde (1916) - "*Apesar do sucesso aparentemente completo da equação de Einstein para o efeito fotoeléctrico, a teoria física que a originou é de tal modo intolerável que até o próprio Einstein, julgo, não mais a aceita.*"

Porquê tanta resistência ao *quantum* de luz? A razão parece ser simples: a teoria de Einstein aplica-se à radiação electromagnética no vazio. Ora o campo electromagnético é bem descrito pelas equações de Maxwell (1864) e a natureza ondulatória da radiação tinha sido há muito verificada. Naquelas equações, não há lugar para os *quanta* de energia; nos fenómenos de interferência da luz, não há lugar para os *quanta* pontuais! A hipótese de Einstein violava dogmas sagrados dos físicos clássicos.

Para bem se compreender o carácter revolucionário da hipótese é suficientemente esclarecedor o seguinte comentário de Millikan[6], escrito para as comemorações dos 70 anos de Einstein: "*Passei 10 anos da minha vida a testar aquela equação de Einstein [Eq. 12] e, ao contrário de todas as minhas expectativas, fui obrigado, em 1915, a afirmar a sua verificação sem ambiguidades, apesar da sua falta de razoabilidade, pois parecia violar tudo o que sabíamos sobre a interferência da luz.*"

O FOTÃO

Como se processou, então, a aceitação do *quantum* de luz?

Por um lado, a crescente verificação experimental de que a Eq. (12) descrevia correctamente o efeito fotoeléctrico fez perceber que a hipótese de Einstein tinha de ter alguma veracidade.

Por outro lado, o próprio Einstein, ao contrário do que pensavam os seus contemporâneos, continuou as suas investigações sobre o *quantum* de luz, tendo concluído que

se tratava de uma nova partícula, dotada não só de energia $h\nu$, como também de momento linear (ou quantidade de movimento) $h\nu/c$. Este último resultado decorre imediatamente da Teoria da Relatividade Restrita: uma partícula movendo-se à velocidade da luz tem, necessariamente, massa nula e o seu momento linear é dado pela energia dividida pela velocidade da luz no vácuo. Mas é típico de Einstein que, apesar de ter sido o criador da Teoria da Relatividade, não fazer uso dela para deduzir o que seria um resultado simples. É, mais uma vez, o estudo das flutuações estatísticas do campo de radiação que o conduz à conclusão, apresentada em 1909 [7].

Para isso imagina, de novo, radiação em equilíbrio térmico, encerrada num volume V , dividido em dois sub-volumes separados, agora, por um espelho totalmente reflector para radiações de frequência ν (e transparente para as outras). Sobre este espelho actuam forças electromagnéticas que as equações de Maxwell permitem calcular sem grande esforço (para a unidade de área, essas forças são conhecidas por pressão de radiação). Elas são proporcionais à intensidade da radiação (e, portanto, à densidade de energia u_ν). As forças que actuam de cada um dos lados de um espelho imóvel só em média são iguais. Se o espelho se mover, é maior, em média, a pressão sobre a face que avança contra a radiação incidente do que a pressão na outra face - isto é, o espelho é actuado, em média, por uma força de resistência proporcional à velocidade. Mas este é um resultado médio - as forças instantâneas flutuam continuamente já que as flutuações da energia electromagnética são contínuas. Quer dizer, o espelho tem um movimento browniano unidimensional e apresentará, portanto, flutuações do seu momento que, obviamente, se relacionam com flutuações das forças electromagnéticas.

Evitarei um cálculo longo e indicarei imediatamente o resultado: a variância das flutuações do momento linear comunicado ao espelho pelas forças electromagnéticas é praticamente idêntica à variância das flutuações da energia electromagnética (facilmente obtida a partir da fórmula de Planck) e, realmente, a ela se reduz se admitirmos que cada *quantum* de radiação transporta momento $h\nu/c$.

Ainda em 1909, J. Stark usou esta conclusão para, pela primeira vez, incluir o momento do *quantum* de luz na lei de conservação total do momento na colisão de dois electrões (*bremsstrahlung*). Contudo foi apenas em 1917 que A. H. Compton e P. Debye, de forma independente, deduziram as conhecidas expressões da cinemática relativista para a deflexão de um *quantum* de luz por um electrão inicialmente em repouso. Compton obteve não só a consequente variação $\Delta\lambda$ no comprimento de onda da radiação difundida de um ângulo θ :

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta),$$

como verificou que esta expressão é inteiramente satisfeita pelos resultados experimentais, concluindo: "*O apoio experimental à teoria indica, de forma convincente, que um quantum de radiação transporta momento dirigido, assim como energia*".

Os resultados de Compton fizeram aceitar, definitivamente, a ideia de que o quantum de luz é uma partícula - esta seria baptizada de fotão, em 1926, pelo químico G. Lewis. Não é por isso de estranhar o prémio Nobel de Einstein em 1921 (mas só atribuído em 1922) "*pela explicação do efeito fotoeléctrico*".

Poder-se-ia julgar que as ideias de Einstein ficaram completamente confirmadas, mas seria o próprio Einstein a comentar, em 1951, já perto da sua morte em Março de 1955: "*Estes 50 anos de reflexão não me fizeram ficar mais perto da resposta à questão: o que são os quanta de luz?*".

REFERÊNCIAS:

- [1] Einstein, A., *Annalen der Physik* 17, 1905, 132.
- [2] O artigo está incluído nas obras completas de Albert Einstein.
- [3] Para uma breve descrição histórica da descoberta de Planck, ver Lage, E., *Gazeta de Física*, 24, Fasc. 4, 2001.
- [4] Einstein, A., *Annalen der Physik* 20, 1906, 199.
- [5] Ver A., Pais, *Subtle is the Lord*, Oxford University Press, 1982. Esta excelente biografia contém muita outra informação sobre a história do quantum de luz.
- [6] Millikan, R., *Review of Modern Physics* 21, 1949, 343.
- [7] Einstein, A., *Physik Zeitschrift* 10, 1909, 185 e 10, 1909, 817.

NOTAS:

¹ Este é um dos trabalhos mais citados em Física e o mais citado de A. Einstein.

² Heurística é a arte de inventar e aqui tem o significado de ajudar na procura da solução de um problema, valendo como uma hipótese sem justificação.

Apesar de a água ser a substância que nos é mais familiar, algumas das suas propriedades físico-químicas continuam por conhecer e muitos problemas que lhe estão associados continuam completamente abertos à investigação e mesmo à especulação.

JOSÉ TEIXEIRA

Laboratoire Léon Brillouin (CEA/CNRS)

Cea Saclay

Batiment 563

91191 Gif - Sur - Yvette Cedex

França

teix@llb.saclay.cea.fr

AS ANOMALIAS A BAIXA TEMPE

A água é certamente a substância que nos é mais familiar. O nosso planeta é um "planeta azul" coberto pelos oceanos e pelas nuvens. A biosfera, de que fazemos parte, é também composta de água (70% da massa dos organismos vivos). Um dos dogmas da Biologia é que a vida só é possível nos locais onde houver água. A água é a única substância que existe naturalmente nos três estados, sólido, líquido e gasoso. Portanto, poder-se-ia pensar que as propriedades físico-químicas da água fossem particularmente bem conhecidas. Ora, na realidade, muitos problemas continuam completamente abertos à investigação e mesmo à especulação.

Na Física Estatística a água faz parte da classe dos líquidos "anormais", o que já em si é paradoxal. A anormalidade da água manifesta-se na maior parte das suas propriedades termodinâmicas e de transporte, que são muito diferentes das dos líquidos "simples", sobretudo a baixas temperaturas. Podemos dar dois exemplos, um muito familiar e o outro menos conhecido. O primeiro é a densidade, que aumenta normalmente (contração) quando a temperatura diminui mas, a 4 °C passa por um máximo e, a temperaturas inferiores, diminui rapidamente. Assim, a densidade da água a -20 °C (em sobrefusão) é 0,994 g/cm³, que é também o valor da densidade a 35 °C. A densidade do gelo corrente (forma hexagonal I_h) é cerca de 10% inferior à densidade do líquido, uma propriedade bem conhecida que faz com que os *icebergs* flutuem e se fundam e... com que os canos de água rebentem nos dias

DA ÁGUA RATURA

mais frios. Uma outra propriedade, talvez ainda mais surpreendente, refere-se à viscosidade que, a baixas temperaturas, diminui quando a pressão aumenta.

LIGAÇÕES DE HIDROGÉNIO

A explicação de todas estas propriedades específicas da água só é possível levando em conta as interações entre as moléculas - as chamadas ligações de hidrogénio. Num líquido simples (por exemplo, o argon), a interação entre átomos (ou moléculas) é, por um lado, muito fraca e tem, sobretudo, simetria esférica, isto é, o potencial de interação entre duas moléculas depende só da distância entre elas. No caso da água, duas moléculas vizinhas podem estabelecer uma ligação relativamente forte se estiverem convenientemente orientadas uma em relação à outra. Concretamente, se um dos átomos de hidrogénio de uma das moléculas se encontra mais ou menos alinhado entre os dois átomos de oxigénio, a ligação faz-se e, em princípio, deveria ser muito estável dado que a energia correspondente é igual a cerca de 2,5 kcal/mol, ou seja equivalente a uma temperatura de mais de 1000 K! Portanto, se não fossem as ligações, a água deveria ser um gás, o que aliás acontece com outros compostos da mesma família (H_2S , H_2Se , H_2Te), um facto já assinalado em 1960 por L. Pauling. Mas, por outro lado, tendo em conta a energia das ligações, à temperatura ambiente, a água deveria ser um sólido. Ora a água é líquida, à pressão atmosférica,

entre 0 e 100 °C, embora as suas propriedades dependam fortemente da temperatura. Há pois que resolver este primeiro paradoxo.

Duas propriedades da molécula de água desempenham um papel fundamental. A primeira, que resulta da hibridização das orbitais moleculares, é a forma da molécula: um V com os dois átomos de hidrogénio nas extremidades e a cerca de 0,1 nm do átomo de oxigénio formando um ângulo HOH de cerca de 104° , portanto quase igual ao ângulo de 109° formado pelas diagonais dum cubo ($\cos 109^\circ = -1/3$), característico da simetria tetraédrica. Esta propriedade da molécula e a formação de ligações intermoleculares faz com que o número de moléculas que se encontram à volta duma dada molécula (a coordinação) seja da ordem de quatro, um número muito pequeno, se tivermos em conta que num empilhamento compacto de esferas a coordinação é igual a 12 (Fig 1).

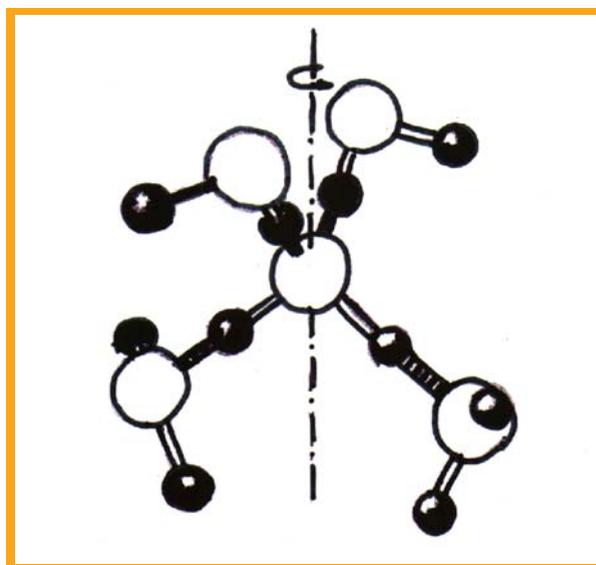


Fig. 1 - Representação esquemática de cinco moléculas de água e das ligações de hidrogénio. Os círculos brancos e pretos representam os átomos de oxigénio e de hidrogénio, respectivamente. O ângulo entre duas ligações é 109° (reproduzido de G.E. Walrafen, *Water: A Comprehensive Treatise*, F. Franks (ed.), Plenum, New York, 1972, vol. 1).

A segunda propriedade é um pouco mais subtil. Os átomos de hidrogénio implicados numa ligação vibram em todas as direcções. Como a massa do hidrogénio é muito pequena e, como vimos, há muito espaço livre à volta, as vibrações na direcção perpendicular à direcção da ligação ($H-O \cdots H$) têm uma amplitude anormalmente grande. Em consequência, o átomo de hidrogénio afasta-se da orientação segundo a qual o potencial é forte e daí a ruptura da ligação. Em média, o "tempo de vida" de uma ligação é muito curto: cerca de $1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$. Esta "fragilidade" da ligação de hidrogénio explica que o estado sólido só apareça abaixo de 0°C .

A ÁGUA SOBRE-ARREFECIDA



Todas as propriedades da água dependem fortemente da temperatura, pois o número médio de ligações intactas diminui quando a temperatura aumenta. (Este número depende evidentemente da definição que se fizer duma "ligação intacta" e da técnica utilizada para o determinar. À temperatura T , a probabilidade p duma ligação intacta entre duas moléculas vizinhas é da ordem de $1,8 - 0,004 T$). É, pois, a baixa temperatura que o comportamento "anormal" da água é mais evidente. Daí o interesse em prolongar os estudos e as experiências abaixo da temperatura de fusão, apesar das dificuldades inerentes ao estudo dos estados metastáveis. A temperatura de nucleação homogénea da água é $-42\text{ }^\circ\text{C}$, sendo portanto possível manter um pequeno volume em sobrefusão durante um tempo razoável até cerca de $-30\text{ }^\circ\text{C}$. (A probabilidade de nucleação da fase sólida aumenta com o volume da amostra e quando se baixa a temperatura).

Em 1976, R. Speedy e C. A. Angell publicaram um artigo (*J. Chem. Phys.* 65, 851) que teve um enorme impacto. Nesse artigo, reproduziam várias propriedades termodinâmicas e de transporte da água a baixa temperatura, em função da temperatura, numa representação logarítmica, como se faz normalmente no estudo de fenómenos críticos de maneira a linearizar leis da forma $X=A(T-T_c)^{\gamma}$, onde X representa uma propriedade e T_c é uma "temperatura crítica". Curiosamente, com os dados disponíveis da literatura que, segundo as propriedades, iam até -25 ou $-30\text{ }^\circ\text{C}$, obtinham rectas supondo que o valor do parâmetro T_c é $-45\text{ }^\circ\text{C}$. A conclusão era que, provavelmente, deveria haver uma linha de decomposição espinodal a esta temperatura. Desde então muitos experimentadores tentaram verificar a validade de leis críticas na descrição do comportamento da água a baixas temperaturas. No entanto, como vimos, é praticamente impossível efectuar experiências abaixo de $-30\text{ }^\circ\text{C}$, isto é, suficientemente perto de T_c , para se poder verificar a validade do comportamento crítico. Por outro lado, os expoentes γ não correspondiam às leis de universalidade bem conhecidas dos fenómenos críticos. No entanto, todos estes estudos forneceram uma quantidade enorme de dados experimentais sobre a água sobre-arrefecida.

A aparente divergência das propriedades da água a $-45\text{ }^\circ\text{C}$ conduz a um certo número de problemas, dos quais o mais complexo é uma inevitável "catástrofe da entropia". Com efeito, como o calor específico da água sobre-arrefecida aumenta também a baixa temperatura segundo uma "lei crítica", a correspondente diminuição de entropia conduz a valores inferiores à própria entropia do sólido a cerca de $-40\text{ }^\circ\text{C}$, o que é incompatível com a existência dum estado amorfo a temperatura mais baixa. Ora, sabe-se que o estado amorfo da água se obtém normalmente por arrefecimento rápido do líquido a temperaturas inferiores a 140 K , valor da temperatura T_g de transição vítrea.

Seria muito longo descrever todas as peripécias das investigações feitas, neste contexto, durante os últimos 30 anos. Mas, para compreender a situação actual do problema, vale a pena lembrar que, tradicionalmente, existem dois tipos de modelos da água. Num primeiro tipo - modelos de mistura, proposto pela primeira vez por W.C. Roentgen, supõe-se que a água é heterogénea, isto é, que há uma mistura de duas fases. Na sua forma mais rudimentar, e de maneira um pouco caricatural, pode dizer-se que a água seria uma mistura de um líquido "ideal", isto é, sem anomalias e de partículas de gelo de densidade inferior à do líquido e em concentração dependente da temperatura. É evidente que, impondo (aliás sem grande justificação) uma densidade do gelo inferior à densidade do líquido ideal, é possível obter todas as densidades intermédias entre as duas fases e reproduzir a posição do máximo da curva representando a variação da densidade com a temperatura. Num segundo tipo de modelos - modelos "contínuos" - admite-se que as ligações de hidrogénio inter-moleculares são mais ou menos distorcidas consoante a temperatura. Só em 1974 experiências de raios X mostraram de maneira irrefutável que nenhum modelo de mistura pode ser compatível com a experiência (R.W. Hendricks, P. G. Mardon and L.B. Schaffer, *J. Chem. Phys.* 61, 319). No entanto, muitos estudos teóricos continuaram e continuam a propor versões mais ou menos elaboradas e complexas de modelos de mistura tentando um compromisso entre as vantagens conceptuais deste tipo de modelos e a realidade experimental.

FORMAS AMORFAS DA ÁGUA

Um líquido arrefecido a uma temperatura inferior à temperatura de fusão encontra-se num estado metastável, isto é, a sua energia livre é superior à do cristal e uma perturbação pode conduzir de maneira irreversível à solidificação. No entanto, se se arrefece um líquido muito puro (sem germes de nucleação do sólido) suficientemente depressa e a temperatura suficientemente baixa (como se faz, por exemplo, aquando da têmpera dum metal), obtém-se muitas vezes um estado amorfo ou vidro. Um vidro é caracterizado por uma estrutura análoga à do

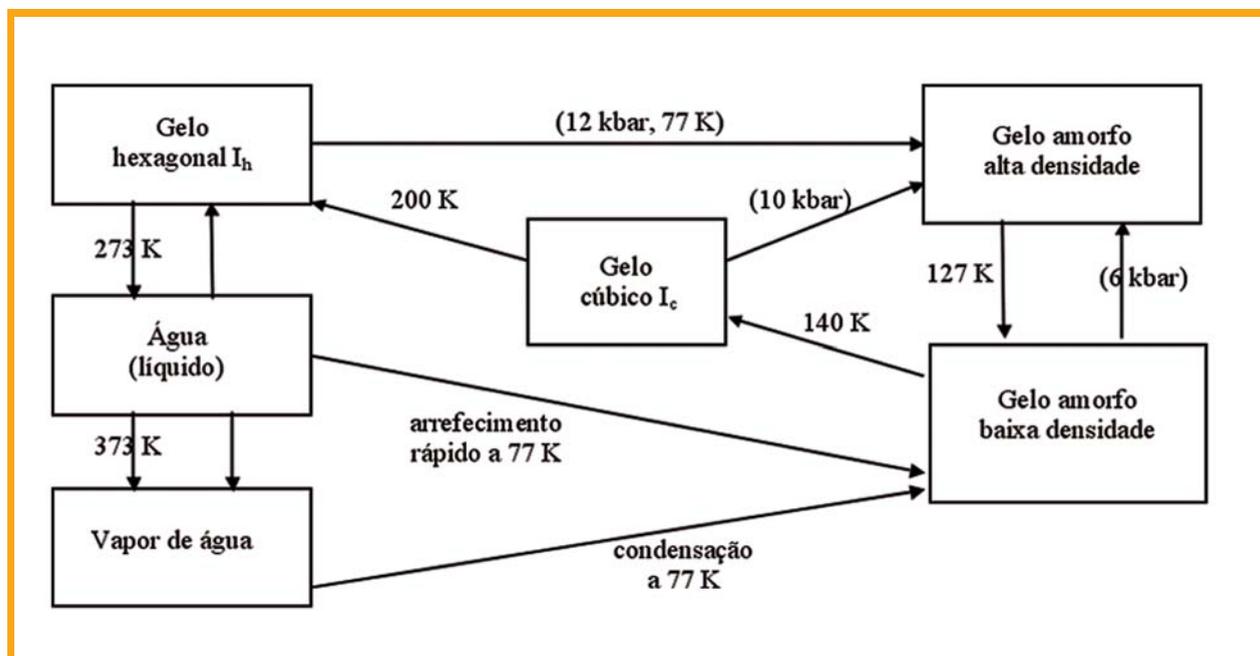


Fig. 2 - Representação esquemática das principais fases metastáveis da água e do modo de as preparar.

líquido (não há ordem a grande distância) e propriedades macroscópicas típicas dum sólido, em particular, a elasticidade. Os vidros à base de sílica são-nos extremamente familiares e, desde os tempos mais recuados, constituem um material corrente. Ora, como já dissemos, é também possível obter um estado amorfo da água arrefecendo uma amostra de pequeno volume a uma temperatura inferior a 140 K. Este "gelo amorfo", que tem o mesmo aspecto que a neve, é bem conhecido desde 1980 (P. Brüggeller and E. Mayer, *Nature* 288, 569). A 135 K transforma-se numa fase sólida metastável de gelo (forma cúbica I_c) que, por sua vez, a 200 K se transforma na fase sólida estável: a forma hexagonal I_h .

Em 1984 uma experiência de E. Whalley e colaboradores veio perturbar este esquema clássico (O. Mishima, L.D. Calvert and E. Whalley, *Nature* 310, 393). Comprimito o gelo I_h a 12 kbar, portanto directamente a partir do estado sólido, eles obtiveram uma nova fase amorfa muito diferente da já conhecida, e caracterizada, em particular, por uma densidade muito mais elevada ($1,17 \text{ g/cm}^3$), isto é, cerca de 25 por cento maior do que as densidades dos gelos cristalino ou amorfo. Esta nova forma amorfa da água tem um tempo de vida infinito, mesmo quando a pressão se reduz à pressão atmosférica. Mas a 127 K transforma-se numa fase amorfa de baixa densidade, em princípio idêntica à que se obtém por arrefecimento brusco do líquido.

A Fig. 2 esquematiza as transições principais entre as diferentes fases observáveis à pressão atmosférica. Note-se que uma terceira fase amorfa de densidade ainda maior foi obtida em 2001 por aquecimento sob pressão da for-

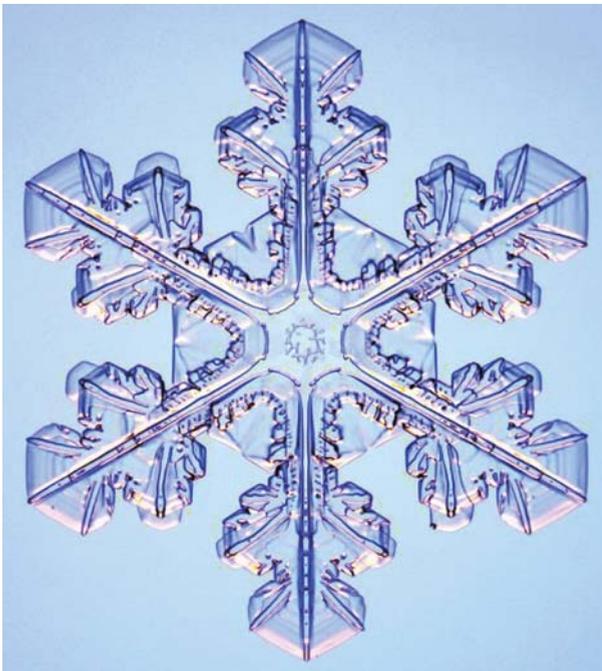
ma de alta densidade (T. Loerting, C. Salzmann, I. Kohl, E. Mayer and A. Hallbrucker, *Chem. Phys.* 3, 5335).

UM PONTO CRÍTICO A BAIXA TEMPERATURA?

Neste contexto, O. Mishima apresentou em 1994 uma ideia extremamente original, embora com reminiscências de modelos de mistura. A ideia é a seguinte: se há dois gelos amorfos e, normalmente, uma fase amorfa é simplesmente um líquido para o qual a dinâmica é infinitamente lenta, é plausível que existam também dois líquidos correspondentes. Estes dois líquidos seriam de densidades muito diferentes. Combinando esta ideia com as anomalias das propriedades termodinâmicas da água sobre-arrefecida, H. E. Stanley e O. Mishima publicaram em 1998 um artigo muito original e bastante polémico (O. Mishima and H.E. Stanley, *Nature*, 396, 329). Nesse trabalho, os autores supõem que a linha de separação dos domínios de existência dos dois gelos amorfos num diagrama de fase (P, T) é uma linha de transição de primeira ordem e que essa linha se prolonga na região entre 140 K e 230 K. Como vimos, esta região é atravessada rapidamente durante a preparação do gelo amorfo de baixa densidade, mas não é acessível à experiência, razão pela qual eles a designam sugestivamente por *no man's land*, isto é, uma região na qual todas as especulações podem ser feitas sem grande risco de contradição experimental! A etapa seguinte consiste em supor que a linha de transição de fase termina algures nesta região num "ponto crítico" de coordenadas (P_c, T_c). Desta forma, dois problemas são automaticamente resolvidos. Por um lado, o comportamento anormal das propriedades da água resultaria da relativa proximidade do ponto crítico. Por outro lado, como a água líquida se encon-

tra a pressões e temperaturas superiores a P_c e T_c , respectivamente, é evitada a crítica aos modelos de mistura.

A ideia duma possível transição de fase líquido - líquido atraiu evidentemente a atenção de muitos teóricos da Física Estatística, tanto mais que os potenciais habitualmente utilizados para simular de maneira *ad hoc* as propriedades da água não contradiziam a existência de um ponto crítico algures na região de $-50\text{ }^\circ\text{C}$ e 1 kbar. No entanto, o cálculo destas coordenadas do ponto crítico no plano (P, T) dava um resultado não muito conforme aos dados termodinâmicos da água sobre-arrefecida. Com efeito, sabe-se que os efeitos de divergência aparente das propriedades termodinâmicas a baixa temperatura diminuem quando a pressão aumenta. Ora, o cálculo feito a partir de diversos potenciais dava valores para a pressão crítica bastante superiores à pressão atmosférica.



Era evidentemente impossível explorar experimentalmente a região do diagrama (P, T) entre 140 e 230 K pelo que vários experimentadores tentaram estudar em pormenor a linha de transição entre as duas formas amorfas de alta e baixa densidade. Uma experiência decisiva foi efectuada por C. A. Tulk e colaboradores em 2002, que conseguiram interromper o processo de transição e estudar, por difusão de raios X, as estruturas intermediárias (C. A. Tulk, C. J. Benmore, J. Urquidí, D. D. Klug, J. Neufeind, B. Tomberli and P. A. Egelstaff, *Science* 297, 1320). Se a transição fosse realmente de primeira ordem, o resultado deveria ser uma combinação linear das estruturas das duas formas amorfas visto que, durante uma transição de primeira ordem, as duas fases coexistem. Ora, o resultado obtido era completamente diferente, o que mostra que não há só duas

mas, provavelmente, um número infinito de formas amorfas, algumas mais estáveis do que outras.

Como explicar então o comportamento estranho das propriedades da água a baixa temperatura? E, sobretudo, como resolver o paradoxo da "catástrofe da entropia"? Estas interrogações continuam abertas a especulações. Só um estudo mais preciso, isto é, ao nível molecular e das ligações do hidrogénio, poderá dar uma resposta definitiva.

DINÂMICA DAS LIGAÇÕES DE HIDROGÉNIO

Em 1985, utilizando o fluxo intenso de neutrões do Institut Laue-Langevin em Grenoble, fizemos uma medida de alta precisão do espectro quase-elástico incoerente de neutrões da água, entre a temperatura ambiente e $-20\text{ }^\circ\text{C}$ (J. Teixeira, M.-C. Bellissent-Funel and A.J. Dianoux, *Phys. Rev. A* 31, 1913). Como a secção eficaz incoerente dos átomos de hidrogénio é muito grande, esta técnica de observação permite medir a função $\langle \sum r_i(0).r_i(t) \rangle$, onde $r_i(t)$ representa a posição dum átomo i de hidrogénio no instante t e $\langle \dots \rangle$ representa a média calculada sobre todos os átomos. Trata-se pois de uma função de correlação donde se podem deduzir um ou mais tempos característicos dos movimentos dos átomos de hidrogénio devidos quer a movimentos das moléculas quer a movimentos internos (intra-moleculares).

É evidente que a contribuição mais importante para esta função se deve à difusão molecular. As moléculas de água difundem e, no quadro dum modelo clássico de difusão, ao nível molecular, uma dada molécula encontra-se mais ou menos imóvel durante um tempo τ_0 (tempo de "residência") numa espécie de gaiola formada pelas moléculas vizinhas e escapa-se a seguir, num salto brusco para uma nova posição, em geral por rotação de 109° em torno duma ligação. Numa escala de tempo macroscópica, a molécula difunde de acordo com a lei de Fick: a distância a um ponto de partida arbitrário aumenta proporcionalmente a \sqrt{t} . Mas, se a observação se faz a uma escala de tempo mais curta, observa-se uma sequência de tempos de residência, em média iguais a τ_0 , alternando com saltos muito rápidos entre sítios vizinhos.

A experiência de difusão de neutrões permite medir simultaneamente a difusão a grande escala e o tempo de residência τ_0 em função da temperatura. A Fig. 3 representa este tempo e mostra que ele depende fortemente da temperatura, o que aliás é mais uma manifestação das anomalias termodinâmicas da água, desta vez observada à escala molecular. Mas a precisão da experiência permite também medir uma segunda contribuição para a função de correlação dos movimentos dos átomos de hidrogénio. A análise matemática desta segunda contribuição confirma que os átomos de hidrogénio têm movimentos de vibração de

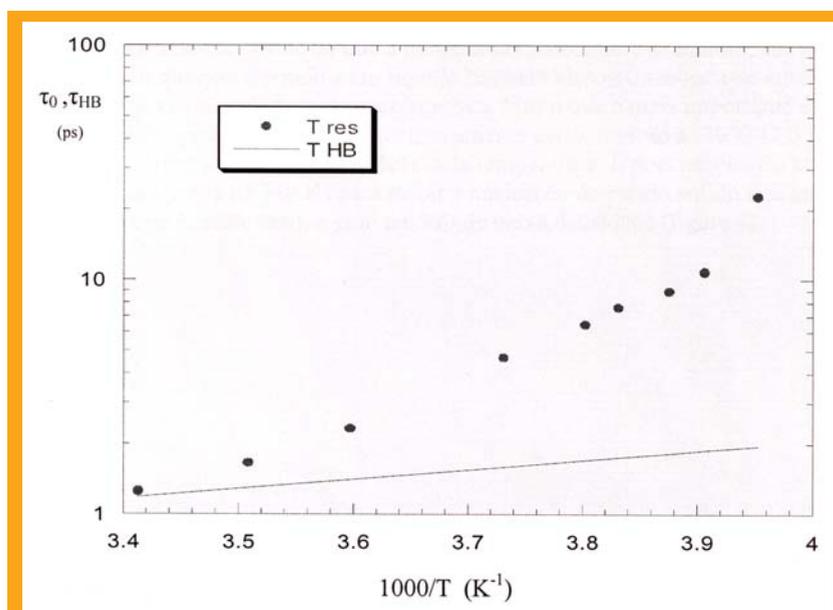


Fig. 3 - Representação do tempo de residência da molécula de água, T_{res} , e do tempo de vida da ligação hidrogénio, T_{HB} , em função da temperatura (diagrama de Arrhenius).

grande amplitude, dos quais já falámos. Se admitirmos que estes movimentos são mais eficazes para romper as ligações, o tempo característico (cerca de 1 ps) é uma medida do tempo de vida médio duma ligação de hidrogénio. O resultado mais interessante desta medida é que este tempo depende "normalmente" da temperatura (Arrhenius), como se vê na Fig. 3.

Como vimos, o número de ligações "intactas" aumenta quando a temperatura diminui, o que significa que, baixando a temperatura, as moléculas se encontram cada vez mais ligadas entre elas e que o número médio de ligações por molécula (um número que, em primeira aproximação, varia de 0 a 4) aumenta rapidamente a baixa temperatura. Ora, para difundir, isto é, para saltar dum ponto para outro, uma molécula não pode ter mais do que uma ligação com as moléculas vizinhas e a difusão vai, portanto, diminuir rapidamente. Em paralelo, o tempo de residência aumenta de maneira semelhante. A mesma forte e anómala dependência da temperatura é observada para todas as propriedades de transporte da água.

Um pequeno cálculo do número médio de ligações em função da temperatura mostra que, efectivamente, por volta de -40 °C se converge para uma situação de "gelificação" da rede de ligações de hidrogénio, isto é, há uma ausência total de difusão. Ora, ao contrário do que acontece com um polímero, no caso da água as ligações intermoleculares têm exactamente as características geométricas da estrutura do gelo. Não é pois de admirar que a temperatura à qual, por extrapolação, a difusão tende para zero seja também a temperatura de nucleação homogénea, ou seja, a temperatura à qual a probabilidade de nucleação do sólido diverge. Embora possa parecer estranho, a coïn-

cidência das duas temperaturas (de divergência aparente e de nucleação homogénea) foi quase sempre considerada uma coincidência com pouco significado físico. Uma das explicações possíveis é a grande dificuldade da simulação computacional da nucleação.

UM MODELO COM DOIS TEMPOS DE RELAXAÇÃO

Que se passa abaixo da temperatura de nucleação homogénea em situações em que a velocidade de arrefecimento permite evitar a nucleação e observar a transição líquido-vidro? Que podemos dizer das propriedades da água entre 235 e 140 K, mesmo se, no estado actual dos nossos conhecimentos, as respostas são forçosamente um pouco especulativas? Como vimos, o tempo de residência aumenta muito rapidamente quando se baixa a temperatura. Por extrapolação, o seu valor é cerca de 30 vezes maior a -40 °C do que à temperatura ambiente. No entanto, em valor absoluto, é da ordem de 40 ps, o que corresponde a um líquido bastante viscoso, mas estamos ainda muito longe dos valores típicos da vizinhança duma transição vítrea. Mas o mais importante é verificar que o tempo de vida das ligações hidrogénio é extremamente curto, mesmo a -30 °C (2,3 ps), dado o comportamento Arrhenius da sua dependência da temperatura. É pois necessário atingir temperaturas muito mais baixas (cerca de 140 K) para evitar a nucleação do estado sólido e obter um vidro de tempo de vida infinito, que é, neste caso, o gelo amorfo de baixa densidade (Fig. 4).

A situação é comparável à que se observa com alguns polímeros. Perto de T_g , a viscosidade diverge e as cadeias de polímeros perdem completamente a mobilidade

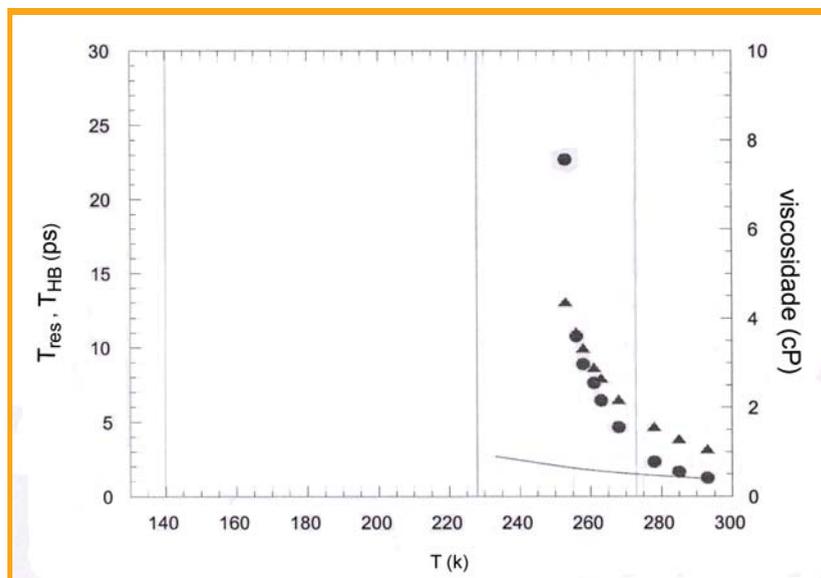


Fig. 4 - Tempo de residência (círculos), tempo de vida da ligação de hidrogénio (linha contínua) e viscosidade (triângulos) em função da temperatura. As linhas verticais indicam as temperaturas da transição vítrea (a 140 K), a temperatura de nucleação homogênea e de divergência aparente das propriedades termodinâmicas (228 K) e a temperatura de fusão (273 K). Não há dados experimentais para o líquido sobre-arrefecido entre 140 e 245 K.

macroscópica. Na literatura dos polímeros, este processo dinâmico chama-se relaxação α . Em compensação, mesmo abaixo de T_g é possível verificar que, a um nível mais local, as extremidades de cadeias assim como vários grupos químicos continuam a mover-se mais ou menos rapidamente. Trata-se da relaxação β que, ela também, depende em geral da temperatura segundo uma lei do tipo Arrhenius.

A rede de ligações de hidrogénio da água é, de certa maneira, uma rede polimérica de extensão infinita, se a observarmos à escala do picosegundo. Como vimos, tal como nos polímeros, é possível identificar dois tempos característicos, um a nível molecular, o outro a nível das ligações. A diferença essencial é que, enquanto, no caso dos polímeros, é a relaxação α que determina as propriedades macroscópicas, no caso da água é o equivalente da relaxação β (das ligações) que determina a passagem ao estado de vidro. E, por outro lado, a relaxação α favorece a nucleação do cristal, por causa essencialmente das propriedades de simetria da rede de ligações de hidrogénio.

Na nomenclatura da teoria da transição líquido-vidro, pode dizer-se que, à medida que se diminui a temperatura do líquido, abaixo de 0 °C, as propriedades termodinâmicas começam por ser do tipo líquido fraco (dependência da temperatura diferente do tipo Arrhenius) mas que, a cerca de -40 °C, se a nucleação for evitada, a dependência na temperatura passa a ser a de um líquido forte. E, desta maneira, não há qualquer espécie de divergência a -45 °C e o paradoxo da catástrofe da entropia é também resolvido.

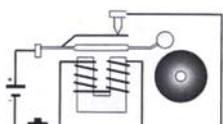
Como a recolha de dados experimentais da água no estado de líquido sobre-arrefecido é impossível abaixo de -30 °C, uma parte deste modelo é especulativo. No entanto, há uma série de índices compatíveis, em particular em experiências em que a água se encontra confinada

num pequeno volume, e que não permite a cristalização. Há também que esperar uma melhoria da qualidade das simulações numéricas com potenciais mais realistas no que diz respeito às propriedades das ligações de hidrogénio. Enfim, técnicas de óptica não linear, utilizando impulsos de luz muito curtos (cerca de 10 a 100 fs) permitem um estudo cada vez mais preciso das ligações de hidrogénio. É possível pois que, pouco a pouco, acabe por se impor um modelo aceitável da água líquida a baixas temperaturas.




Telefs.: 21 9588450/1/2/3/4 Telefax 351 21 9588455
Rua Soeiro Pereira Gomes, 13 - R/C | <http://www.videeq.pt>
BOM SUCESSO - 2615 ALVERCA
PORTUGAL

MATERIAL DIDÁTICO



FÍSICA



INSCREVE-TE JÁ! VAI A
WWW.SPF.PT

Projecto Faraday pretende melhorar ensino da Física

O projecto Faraday resultou de uma proposta do Serviço de Educação e Bolsas da Fundação Calouste Gulbenkian ao Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Através dele, pretendeu-se mostrar a viabilidade de uma abordagem ao ensino secundário da Física que conduza a uma adaptação mais eficaz dos alunos ao ensino superior. Estão envolvidas cinco escolas da área do Grande Porto: a Filipa de Vilhena, a Fontes Pereira de Melo, a Garcia de Orta, a da Maia e a de Santa Maria da Feira. A GAZETA falou com o Professor João Lopes dos Santos, responsável pelo projecto.

Entrevista de Constança Providência e Carlos Pessoa, editada por Paula Almeida

paula-almeida@netcabo.pt

Entrevista a João Lopes dos Santos

FORMAÇÃO DE PROFESSORES É ABSOLUTAMENTE ESSENCIAL

Gazeta de Física - O que é o Projecto Faraday?

João Lopes dos Santos: Este projecto é uma iniciativa da Fundação Gulbenkian. A Fundação tem três projectos de tipo semelhante em Matemática, em Ciências Naturais e em Português. Resulta de uma preocupação com os resultados da educação nestas disciplinas nucleares.

P. - Começou quando?

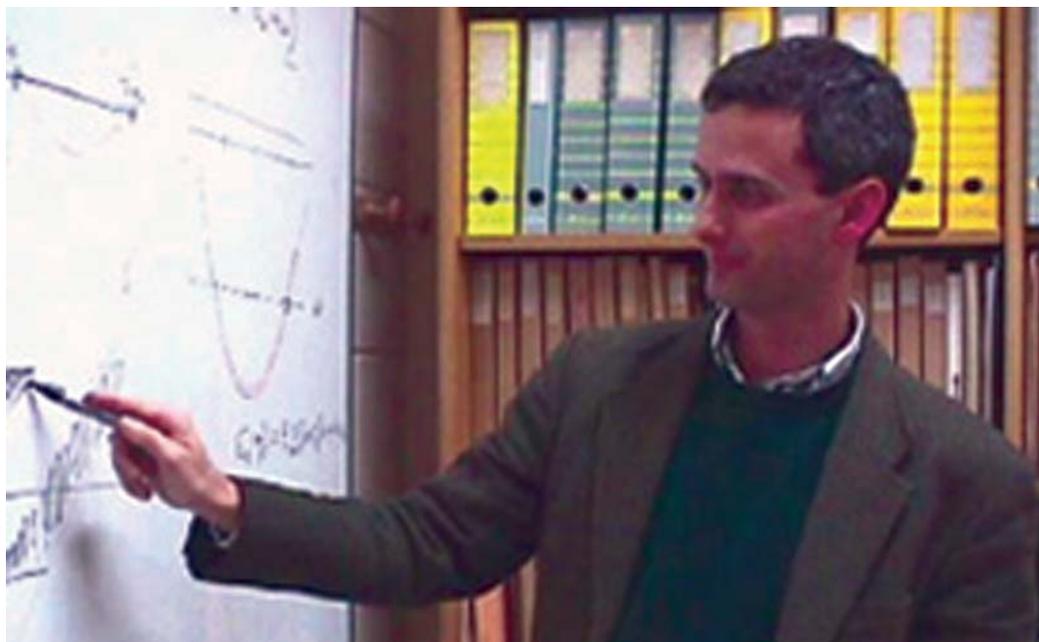
R. - O nosso projecto começou há três anos, mas tivemos um ano de preparação em 2002-2003. Começámos a trabalhar com os alunos em 2003-2004.

P. - Quem está envolvido?

R. - Quando digo começámos, quero dizer a equipa da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP) e os professores do ensino secundário com dez turmas.

P. - Como é que a FCUP aparece no projecto? Foi uma iniciativa vossa?

R. - Não. Foi a Gulbenkian que convidou a FCUP para realizar um projecto com este tipo de estrutura. Queriam que trabalhássemos durante quatro anos. Um ano de preparação e três anos de trabalho com turmas do 10.º, 11.º e 12.º ano e ainda que trabalhássemos com oito turmas, em quatro escolas.



RES
CIAL

P. - Da zona do Porto?

R. - Da zona do Grande Porto por razões logísticas.

P. - O financiamento é assegurado pela Gulbenkian?

R. - O financiamento é integralmente assegurado pela Gulbenkian.

P. - Quanto é que isto vai custar?

R. - O financiamento cobre despesas de equipamento e o fornecimento de todos os materiais pedagógicos para as escolas. E cobre a despesa de substituição de dois professores da FCUP.

P. - Qual é a sua participação no projecto?

R. - Eu sou coordenador. Sou a pessoa que a Gulbenkian escolheu para liderar. Colabora comigo o Doutor Manuel Joaquim Marques.

P. - Como é que o projecto está a correr?

R. - Nós fizemos um primeiro contacto com as escolas, a partir de listas fornecidas pela Direcção Regional de Educação. Aí apresentámos a ideia do projecto aos professores de cada escola. Visitámos umas nove ou dez escolas. Depois recebemos respostas a dizer se estavam ou não interessadas, se podiam, se tinham condições, se tinham alunos em número suficiente, já que algumas escolas do

centro do Porto têm poucos alunos. Seleccionámos quatro escolas, embora tenha aparecido uma outra em que havia professores interessados.

P. - Isso envolve quantas pessoas?

R. - Envolve um universo de pouco menos que 300 alunos. Mas depois temos também a colaboração de mais cinco turmas, nas quais não intervimos no ensino mas onde fazemos algumas avaliações e registamos as classificações para efeitos de comparação.

P. - Portanto, em cada escola existe uma terceira turma?

R. - Sim, em cada escola existe uma terceira turma.

P. - E o professor é o mesmo em cada escola?

R. - Não, o professor não é em geral o mesmo. Há só uma escola, a da Maia, em que as duas turmas são leccionadas pelo mesmo professor. Temos nove professores envolvidos e depois há outros professores que não participam directamente no projecto, mas colaboram para efeitos de comparação. Quando fazemos a avaliação, confrontamos os resultados das turmas do projecto com os resultados dessas outras turmas.

P. - O que é que é diferente no trabalho com as turmas, experimentais relativamente aquilo que é o sistema normal do ensino?

R. - Aquilo que na minha opinião é mais inovador, e não é iniciativa nossa, mas sim da Gulbenkian, é que nós estamos a obrigar estes alunos a ser expostos, simultaneamente, a uma cultura de secundário e da universidade. Nós temos a responsabilidade da elaboração dos manuais que os alunos estão a utilizar, da selecção das experiências e da sua apresentação. Trabalhamos com os professores a maneira de leccionar, discutimos com eles se um determinado tópico está a ser apresentado de uma maneira demasiado avançada ou não. Há uma interpenetração de dois sistemas e das duas culturas, a do secundário e a do superior. Não têm faltado acções parecidas em muitos aspectos. Nós próprios, no Porto, tal como a Universidade de Coimbra, a Universidade de Lisboa e a Universidade do Minho têm tido trabalhos que envolvem escolas secundárias e universidade. No nosso caso a maior parte das experiências eram na formação de professores. Nós formávamos os professores e eles iam para as escolas. Neste momento, estamos a assumir maior responsabilidade. Nós sabemos que estes alunos, na sua grande maioria, são alunos que pretendem seguir estudos, e queremos ver se há maneiras de estas duas culturas se tornarem colaborantes de modo a que os resultados melhorem. Um dos objectivos é precisamente avaliar os resultados no primeiro ano da universidade, para saber de facto o que é que mudou.

P. - Que conclusões é que já se podem extrair?

R. - É ainda cedo, mas há coisas que ressaltam. Uma delas é, de facto, um grande interesse e motivação da parte dos professores. Eu sempre tive contacto com professores do ensino secundário, já dei muitas acções de formação, mas este contacto é diferente. Agora estamos a discutir exactamente aquilo que eles vão fazer nas respectivas aulas. Eu, por exemplo, acho que podiam fazer assim, e eles respondem, não, isso é demasiado avançado. Portanto, tem sido um aspecto bastante positivo a discussão com os professores a este nível. Ouvi uma professora dizer que não sabia muito de Física. Isto mostra que estão a ser expostos a um envolvimento mais directo naqueles assuntos e acho que haver professores universitários directamente empenhados nessa tarefa é útil. Acho que devíamos ter mais actividades deste género, de cruzamento de experiências dos dois níveis de ensino. Este é um dos aspectos. Em relação aos alunos, dispomos de resultados muito preliminares - são alunos do 10.º ano e vamos continuar com eles no 11.º e 12.º anos. Esses alunos, pelas indicações que me chegam pelos professores e pelos relatórios que alguns alunos já fizeram, tiveram uma adesão muito grande à abordagem experimental, que acompanha muito directamente a leccionação teórica. Os alunos, de facto, aderiram bastante bem. Porém, o tipo de manuais que nós estamos a fornecer sai um bocado do que tem sido a linha dominante dos manuais do secundário nos últimos anos. E aí as opiniões dos alunos dividem-se.

P. - Mas os alunos podem comparar?

R. - Podem em relação à sua experiência anterior. De facto, há uma linguagem própria da universidade, há uma linguagem própria do secundário, e nós não usamos nem uma nem outra, digamos assim, mas cruzamo-las. Se pegar nos nossos manuais e nos outros ressaltam algumas diferenças, mesmo que os outros tenham a colaboração de professores universitários. Aí, como dizia, as opiniões dos alunos dividem-se. Há alguns que se mostram receptivos. Há um grupo muito grande de alunos que anseia por uma apresentação mais racional, que gosta que lhes dêem esse sinal de respeito. Há outros alunos que têm mais dificuldades e, portanto, se sentem um pouco perdidos. Faço notar que o nosso contacto com os alunos é recente: a leccionação da Física começou em meados de Fevereiro e acabou no princípio de Junho. É um período relativamente curto...

P. - O objectivo é obter resultados?

R. - O objectivo da Gulbenkian é que estes alunos tenham melhores classificações no acesso ao ensino superior e também que tenham melhores resultados no ensino superior. Enfim, nós partimos de 300 alunos. Se chegarmos ao fim e tivermos a possibilidade de seguir 70 ou 80 na universidade em cursos de engenharia e ciências, será bom.

P. - Do vosso lado, portanto, como professores universitários, quais foram as dificuldades maiores, ou se quiser, aquilo que tem constituído para vós o maior desafio?

R. - Eu acho que vos vou desapontar um pouco. É evidente que se trata de um desafio interessante, mas não inteiramente novo. Eu já ensinei aos primeiros anos de faculdade e tenho alguma experiência de divulgação de ciência... A ideia de que se pode apresentar a ciência de um modo, eu não diria atraente, diria antes de um modo mais fiel à própria ciência, à prática da ciência, é um desafio quando se trata com jovens que estão no começo, e relativamente aos quais nós não podemos apelar a estruturas e conhecimentos que eles ainda não têm. Mas o que realmente se mostrou, para mim, extraordinariamente exigente em tempo foi o cuidado na elaboração dos textos, na linguagem, na ausência de gralhas, na legibilidade das figuras, tudo isso.

P. - Mas isso já não era previsível da vossa parte?

R. - Não, não era. Uma coisa é uma pessoa sentar-se e começar a escrever um texto. Mas depois lê-lo e ver o que é que está mal, o que é que tem que repensar é um processo muito exigente. Não podem ir erros para os alunos do ensino secundário. Nós tivemos que fazer um esforço muito grande e muito maior do que é habitual na produção de textos para o ensino superior, na qual vejo agora que há muita coisa que precisa de ser corrigida.

P. - Isso decorre do próprio grau de exigência que a Gulbenkian colocou no projecto?

R. - Não, o que acontece é que o público a que nos estamos a dirigir é muito mais vulnerável. Tem menos mecanismos de defesa, à partida, e um texto tem de ser escrito com muito mais cuidado. Eu poderia esperar que um aluno do ensino superior fosse capaz de detectar uma gralha e corrigi-la, mas no caso do ensino secundário já não. Portanto, não decorre propriamente de exigências que nos tenham sido colocadas, mas sim de exigências próprias do processo. De outra maneira não funcionaria. E, apesar de nós não estarmos de maneira nenhuma a competir com os manuais escolares das editoras, temos que produzir um trabalho bem apresentado.

P. - Os professores estão preparados para uma experiência destas?

R. - Os professores têm aderido com muito entusiasmo a esta formação. As sessões que temos com eles, sobretudo quando queremos discutir o que está a acontecer nas aulas, são muito duras. Mas, do ponto de vista de formação de professores, não há grandes dificuldades. Tem havido grande abertura da parte deles. O trajecto desses professores é muito variado, mas todos eles são pessoas bastante experientes. A formação resulta porque tem reflexos nas aulas. É uma formação extremamente dirigida. Uma pessoa debruça-se sobre os assuntos em concreto e é a partir daí que vê as possíveis dificuldades que podem surgir.

P. - Teria sentido que um projecto deste género, em vez de apanhar alunos numa fase terminal deste processo, pudesse ter outro alcance, englobando, por exemplo, o ensino básico?

R. - Quando me propuseram este projecto não gastei muito tempo a pensar nessa questão e comecei a pensar nos programas do 10.º ano. Mas lembro-me muito bem que, na primeira reunião com a comissão de acompanhamento que a Gulbenkian indicou, esse foi precisamente um dos pontos levantados. Várias pessoas achavam que era tarde para fazer um tipo de intervenção deste género, porque os problemas começam mais cedo. De certo modo isso é verdade, mas há lugar para todos os esforços, são esforços de características diferentes. Na minha opinião, no ensino secundário, devia haver mais professores que tivessem experiência de prática científica. Um dos professores que eu vejo que realmente interage muito bem com os seus alunos foi docente universitário durante seis anos. A existência de pessoas com este tipo de experiência dentro das escolas é extremamente benéfica, porque são pessoas que praticaram a ciência que estão a ensinar. Não quero dizer que não se possa ser um bom professor se não se tiver sido um cientista, mas a existência de duas ou três pessoas que tiveram uma prática científica razoável é uma mais valia para a escola. A nível do ensino básico provavelmente haverá outras características, mas a nível do secundário este é um dos aspectos que haveria vantagens em generalizar.

P. - Seria desejável haver consultores nas escolas?

R. - Sim. Acho que isso é um aspecto importante. Mas eu acho que estamos a ser mais do que consultores, acho que é preciso ir um pouco mais longe. Consultor é alguém a quem se recorre e que não tem uma responsabilidade directa. E nós, neste projecto, estamos a ser mais do que isso. Mas também acho que devia haver uma via para permitir a pessoas que fizeram um doutoramento e desenvolveram alguma investigação entrar no secundário como professores. Seria uma pitada de sal científico nas escolas...

P. - Não será necessário mudar a formação dos professores? Até porque há muitos professores que nem são da área...

R. - Exactamente. E nós temos de facto no projecto algumas pessoas que são de engenharia química e que têm revelado um entusiasmo muito grande pelo projecto e não tem sido um *handicap*. A formação é absolutamente essencial. A minha opinião sobre esse assunto e aqui já estou a ultrapassar as fronteiras do programa Faraday é que a nível do secundário nós não devíamos ter a Física e a Química juntas, devíamos ter professores de cada uma das áreas com uma formação científica mais completa. Ou seja, não devíamos ter professores do secundário que não tivessem uma licenciatura em Física e que depois fizessem uma formação pedagógica e didáctica apropriada. A pedagogia que nós estamos a fazer no projecto, a olhar para determinados aspectos e a ver como é que eles devem ser encarados, é essencialmente um trabalho científico. É um trabalho que resulta da visão que uma pessoa tem sobre um assunto e sobre a ligação que há entre os vários assuntos. Só com essa base científica é possível fazer este trabalho. Eu posso estar a ser influenciado, porque os professores premiados das escolas americanas são normalmente cientistas de primeira água. São pessoas que têm uma base muito forte. E sem essa base há muitas limitações. As pessoas sentem-se inseguras. O nosso trabalho, que é um trabalho de metodologia, de didáctica, tem uma base essencial de conhecimento científico.



Físico português distinguido nos EUA

Superfície de Titã em imagens surpreendentes

Perfil da atmosfera de Titã traçado por um português

Português descobre o primeiro exoplaneta rochoso

Física das estalactites

Porque é que há mais ataques cardíacos de manhã?

FÍSICA NO MUNDO

FÍSICO PORTUGUÊS DISTINGUIDO NOS EUA



O físico português Ivo Souza foi recentemente distinguido pela American Physical Society (APS) com o prémio George E. Valley 2004, destinado a jovens cientistas em início de carreira na área da Física.

Ivo Souza tem 32 anos e é professor e investigador na Universidade de Berkeley, Califórnia, desde Janeiro de 2004. Esteve recentemente em Portugal para participar no IV Fórum Internacional de Investigadores Portugueses. O trabalho premiado foi desenvolvido durante o seu doutoramento nos Estados Unidos da América, com uma bolsa da Fundação para a Ciência e Tecnologia.

Algumas notícias adaptadas das "Physics News" do American Institute of Physics

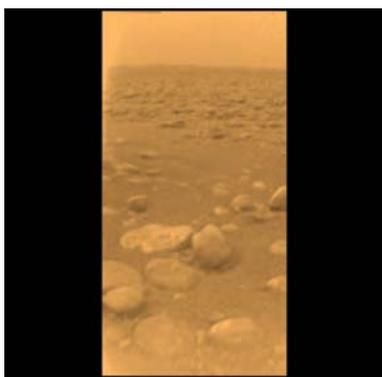
A "Gazeta" agradece aos seus leitores sugestões de notícias do mundo da Física. gazeta@teorfis.uc.pt



De acordo com a APS, o jovem físico foi premiado "por avanços fundamentais na teoria da polarização, localização e campos eléctricos em cristais isolantes".

Ivo Souza conseguiu descrever a resposta, ao nível dos electrões, de materiais isoladores quando sujeitos a campos eléctricos, recorrendo a experiências desenhadas e testadas em computador. Esse conhecimento é útil para modelizar e produzir novos materiais com aplicações tecnológicas.

SUPERFÍCIE DE TITÃ EM IMAGENS SURPREENDENTES



No dia 14 de Janeiro a sonda europeia Huygens chegou a Titã, o maior satélite de Saturno e único sa-

télite do sistema solar que possui uma atmosfera densa. Este feito assinalou uma meta histórica na exploração do sistema solar, pois foi a primeira vez que um engenho humano pousou em solo do sistema saturniano.

A sonda Huygens possuía seis instrumentos científicos destinados ao estudo da atmosfera e da superfície de Titã, assim como à determinação da velocidade dos ventos e à captura de imagens durante a descida e em torno do local de aterragem.

As imagens até agora divulgadas pela Agência Espacial Europeia mostram uma paisagem completamente nova e cuja análise, em conjunto com outros dados, vai ensinar-nos muito sobre os processos em acção à superfície e na atmosfera. As primeiras imagens podem encontrar-se em: <http://www.esa.int/esaCP/index.html>

A primeira imagem a cores da superfície de Titã mostra pequenos blocos de gelo com dimensões de cerca de 15 cm. Os blocos mostram sinais de erosão na base, o que pode indicar uma zona de actividade fluvial. A cor alaranjada deve-se a partículas microscópicas em suspensão na

atmosfera, as quais se depositam continuamente à superfície.

Estas imagens e a ausência de crateras visíveis nas imagens obtidas pela sonda Cassini, durante os recentes sobrevoos de 26 de Outubro e 13 de Dezembro indicam que a superfície de Titã está ou esteve no passado geológico recente sujeita a processos erosivos. A natureza destes processos está ainda por estabelecer, embora haja fortes indícios da ocorrência de fluidos à superfície (metano e etano líquidos). A hipótese de água líquida à superfície está posta de parte.

ASTRONOVAS, Lista de distribuição de notícias de Astronomia em Português, Observatório Astronómico de Lisboa, Centro de Astronomia e Astrofísica da Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-018 Lisboa. Para subscrever envie uma mensagem vazia para o endereço astronovas-subscribe@oal.ul.pt

PERFIL DA ATMOSFERA DE TITÃ TRAÇADO POR UM PORTUGUÊS

O físico português Fernando Simões, um dos mais de cem investigadores, engenheiros e técnicos da Agência Espacial Europeia envolvidos no projecto da sonda Huygens, foi o responsável por traçar o perfil de condutividade (a actividade eléctrica) da atmosfera de Titã.

Fernando Simões estará ligado a este projecto durante os próximos dois anos. O investigador português trabalha no Centro de Estudos Terrestres e Planetários do Centre Nationale de Recherche Scientifique, em Paris, desde Outubro de 2004.

PORTUGUÊS DESCOBRE O PRIMEIRO EXOPLANETA ROCHOSO

Uma equipa de astrónomos europeus, franceses e suíços, liderada pelo astrónomo português Nuno Santos, descobriu recentemente o mais pequeno planeta a orbitar uma estrela que não o Sol - um exoplaneta.

A descoberta foi anunciada em Agosto de 2004 pelo Observatório Europeu do Sul, que referiu que, embora já se tenham descoberto mais de 120 exoplanetas, este tem a particularidade de ser o mais pequeno alguma vez detectado e de ser um planeta rochoso e não gasoso, como os anteriores.

A massa do planeta descoberto é 14 vezes superior à da Terra, aproximando-se da de Urano, o mais pequeno dos planetas gigantes do nosso sistema solar. Este facto situa-o no limiar de tamanho para os planetas rochosos. Parece também ser o primeiro planeta telúrico descoberto fora do sistema solar.

O planeta recém-descoberto tem uma órbita de 9,5 dias à volta da estrela mu Arae, localizada a cerca de 50 anos-luz na constelação de Ara (o Altar) e brilhante o suficiente (magnitude 5) para ser observada a olho nu no hemisfério sul. Este é o segundo planeta a ser descoberto a orbitar a estrela mu Arae, que é semelhante ao Sol. O primeiro é do tamanho de Júpiter e possui um período orbital de 650 dias.

Em Maio, já tinha sido anunciada uma outra descoberta com a participação de Nuno Santos, pós-doutor no Centro de Astronomia e Astrofísica da Universidade de Lisboa/Observatório Astronómico de Lisboa. Nessa altura, mais uma vez integrado numa equipa europeia, o português descobriu dois novos planetas fora do sistema solar, um deles a seis mil anos-luz da Terra.

FÍSICA DAS ESTALACTITES



Um grupo de cientistas da Universidade do Arizona (EUA), ao juntarem ideias e técnicas de observação das áreas de física e geofísica, derivaram uma teoria matemática que poderá explicar a morfologia de formações de grutas tais como as estalactites (estruturas alongadas que se formam no tecto das grutas) e

estalagmites, (que se formam no solo das grutas). O crescimento dos espeleotemas (designação colectiva para minerais ou rochas formados em grutas pela acção da água) é importante porque permite que as características atmosféricas de há milhares de anos atrás sejam desvendadas através das camadas destes depósitos.

As estalactites são compostas por carbonato de cálcio precipitado da água que entra nas grutas depois de filtrada pelo solo e rochas ricas em dióxido de carbono. Considerando o crescimento das estalactites como um "problema sem fronteiras" (significando que não se colocam *a priori* hipóteses quanto ao desenvolvimento da forma dos espeleotemas), os investigadores ligaram a dinâmica do líquido com o crescimento do precipitado, de modo a obter uma lei para o crescimento da superfície que produza um único "atractor" no espaço das formas (isto é, uma forma recorrente ou uma trajectória preferidas no espaço de possíveis morfologias), e que se assemelhe às formas observadas.

Raymond Goldstein sugere que esta nova teoria poderá ser aplicada à formação de outros espeleotemas, e realça a sua relação com outros problemas tais como o crescimento de passagens hidrotermais, jardins químicos e conchas de moluscos. (Short *et al.*, *Physical Review Letters*, 94, 018501 (2005)).

PORQUE É QUE HÁ MAIS ATAQUES CARDÍACOS DE MANHÃ?

Depois de estudar voluntários durante períodos de dez dias, uma equipa de físicos da Universidade de Boston (EUA) e fisiologistas da Universidade de Harvard (EUA), concluíram que a parte do nosso cérebro que regula as nossas actividades biológicas diárias tem influência no ritmo cardíaco. Assim, por volta das 10 da manhã, e para todos os indivíduos saudáveis estudados, os valores do ritmo cardíaco registados tornavam-se cada vez mais aleatórios, estatisticamente semelhantes aos observados em indivíduos com problemas cardíacos.

Para este estudo, os cientistas tiveram o cuidado de isolar os efeitos do

relógio biológico dos participantes (que tem um ritmo de 24 horas influenciado pelas oscilações da temperatura do corpo) de efeitos comportamentais (tais como actividade física ou tempos de sono) e de estímulos externos (tais como o nascer e o pôr do Sol). Para atingir estes fins, os investigadores dessincronizaram os relógios biológicos dos indivíduos estudados relativamente aos factores referidos, mantendo-os numa sala com luz fraca e variando as suas horas de sono e de despertar de dia para dia, mantendo os níveis de actividade constantes.

Os investigadores tencionam explorar o modo como o comportamento de um indivíduo pode interagir com o relógio biológico de modo a influenciar a sua correlação com o ritmo cardíaco. Ainda não foram, no

entanto, estudados indivíduos com doenças cardíacas, não sendo por isso possível avançar com recomendações clínicas para estes casos. Apesar disso, este estudo poderá vir a aclarar algumas das causas de risco cardíaco e a melhorar as terapias actuais, de modo a permitir intervenções mais atempadas, que coincidam com a fase mais correcta do relógio biológico.

Texas Instruments

CALCULADORAS GRÁFICAS

TI-84 Plus TI-84 Plus Silver Edition

A tecnologia gráfica portátil Texas Instruments é conhecida pela sua resistência, durabilidade, economia e por se adequar às necessidades de professores e estudantes. Isto pode ser demonstrado pelo crescente número de estudantes que desejam possuir a calculadora gráfica, para a poderem usar em qualquer momento e local.

A última geração em tecnologia que opera como a TI-83 Plus, mas com MAIOR CAPACIDADE

- Mais MEMÓRIA - mais espaço para armazenamento de Aplicações (APPS).
- Mais RÁPIDA - na execução de cálculos, gráficos e download de Aplicações (APPS).
- PORTA USB - mais velocidade e maior estabilidade nas comunicações.

FLASH

Agora todos os Produtos Educacionais têm

3

Anos de Garantia

TI-84 Plus Silver Edition também disponível na Versão Professor (VSC)



Cabo USB e CD - para ligação ao PC - incluídos em ambos os modelos

- 32 Kb RAM
- 480 Kb ROM Flash
- 11 Aplicações (APPS) incluídas

TI-84 Plus

TI-84 Plus Silver Edition

- 32 Kb RAM
- 1,54 Mb ROM Flash
- 28 Aplicações (APPS) incluídas

Distribuidores Educacionais:



TETRI

EQUIPAMENTOS ELECTRÓNICOS, LDA.

Estrada Exterior da Circunvalação, 798 - Apartado 48 - 4439-909 RIO TINTO
Tel.: 224 899 532 Fax: 224 800 527 E-mail: tetri@tetri.pt www.tetri.pt



DISMEL

Distribuidor de Material Electrónico, Lda.

Rua Coronel Ferreira do Amaral, 9 - C
1900-165 LISBOA
Tel.: 218 160 320 Fax: 218 160 329
E-mail: info@dismel.pt www.dismel.pt

Prémio Mário Silva para Francisco Natário

Novo Ministro da Ciência

Mudanças no Museu Nacional da Ciência e da Técnica

Encontro de Astrónomos Amadores

Novos físicos distinguidos com "Estímulo à Excelência"

Aluna do Porto recebe Prémio Nacional do Secundário

Ciência e Desporto

Encontro de Ciência, Tecnologia e Inovação

Físico português distinguido pela Elsevier Science

XI Encontro Nacional de Educação em Ciências

Laboratório do mundo: ideias e saberes do século XVIII

A "Gazeta" agradece o envio de notícias para esta secção.

gazeta@teor.fis.uc.pt

FÍSICA EM PORTUGAL

PRÉMIO MÁRIO SILVA PARA FRANCISCO NATÁRIO



Francisco Natário, 19 anos, estudante do Instituto Superior Técnico e antigo aluno da Escola Secundária Alves Martins, em Viseu, recebeu em Novembro passado o prémio Público/Gradiva para o melhor aluno de Física do secundário. A GAZETA falou com ele.

Gazeta de Física: Como lhe surgiu a ideia de concorrer ao prémio Público/Gradiva?

Francisco Natário: A ideia partiu da minha mãe e da minha professora, que me disseram que existia o prémio e que eu cumpria os requisitos para poder participar.

GF: Em que consiste o trabalho com que concorreu?

FN: O trabalho aplica a Relatividade Restrita e Geral ao sistema GPS, já que o tempo passa a ritmos diferentes para corpos a diferentes velocidades e a diferentes potenciais gravíticos. Como os satélites se deslocam a velocidades diferentes de nós, e estão a altitudes diferentes, o

NOVO MINISTRO DA CIÊNCIA



O físico José Mariano Gago é o novo Ministro da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior. Mariano Gago é Professor Catedrático do Instituto Superior Técnico e Presidente do Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas. Foi Presidente da Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica e investigador do Laboratório Europeu de Física de Partículas, em Genebra.

MUDANÇAS NO MUSEU NACIONAL DA CIÊNCIA E DA TÉCNICA

Paulo Gama Mota demitiu-se das funções de Director do Museu Nacional da Ciência e da Técnica Doutor Mário Silva (MNCT) que exercia há dois anos. A decisão surgiu em consequência da "extinção" daquele organismo por uma Lei Orgânica publicada a 6 de Janeiro. Segundo esta lei, o MNCT, constituído em 1976, em Coimbra, foi integrado como serviço da nova Direcção-Geral do Museu do Conhecimento, com sede em Lisboa.

Segundo o Director demissionário do MNCT, *"esta medida de extinção consubstancia um desinvestimento na ciência e na política de promoção da cultura científica na sociedade, abandonando ou eliminando as estruturas que podem ter um papel relevante nesse domínio. Tal verifica-se apesar das inúmeras e reiteradas afirmações em contrário, por parte da Ministra da Ciência, Inovação e Ensino Superior e do Governo"*.

tempo passa a ritmo diferente para eles e para nós. Uma vez que o tempo entra no cálculo das coordenadas, é claro que temos de saber a diferença entre o "nosso tempo" e o "tempo dos satélites". Se não se fizessem estas correcções, o GPS acumulava erros de 12 km por dia.

GF: Quando descobriu o gosto pela Física?

FN: Desde que tive Física na escola gostei dessa disciplina, até porque lá em casa se dava bastante importância ao conhecimento da Física para explicar as coisas mais comezinhas!

GF: Como se sentiu ao ganhar o prémio?

FN: É sempre bom ver o nosso trabalho reconhecido. Senti-me contente!

GF: Já tinha ganho alguns prémios de Física ou foi este o primeiro?

FN: Ganhei as Olimpíadas de Física, escalão A e representei Portugal nas Olimpíadas Internacionais de Física, no 12º ano, depois de ter ficado em primeiro lugar no apuramento nacional.

GF: Está a estudar Física actualmente?

FN: Estudo Engenharia Civil no Instituto Superior Técnico, no 2º ano, portanto o meu estudo da Física está reduzido ao da Mecânica.

GF: Que carreira pretende seguir?

FN: Isso não sei ainda...

Face a estas notícias, também a Universidade de Coimbra emitiu um comunicado, no qual lamenta a decisão considerando-a incompatível "com o projecto de museologia científica no qual a Universidade de Coimbra, a Câmara Municipal de Coimbra, o Ministério da Cultura e o próprio Ministério da Ciência, Inovação e Ensino Superior se vêm empenhando há vários anos, e cujo trabalho preparatório culminou com a assinatura, a 6 de Abril de 2004, de um Memorando de Entendimento que prevê a criação da Fundação Museu das Ciências à qual será atribuída a responsabilidade da gestão integrada dos espólios existentes nos museus universitários e no MNCT, sem pôr em causa a existência destas estruturas". A Reitoria lamenta ainda "que na preparação e publicação de um documento com a importância de uma Lei Orgânica não tenha sido considerada a solução que parece corresponder à vontade de todos os intervenientes, incluindo a do próprio Ministério".

ENCONTRO DE ASTRÓNOMOS AMADORES

Vai decorrer a 30 de Abril, em Lisboa, no Colégio Militar, o 5.º Encontro de Astrónomos Amadores (EAA-5), promovido pela Associação Portuguesa de Astrónomos Amadores (APAA). As inscrições estão abertas, não sendo necessário ser-se sócio da APAA para poder participar. No entanto, agradece-se a inscrição prévia. Os interessados poderão inscrever-se através do email info@apaa.online.pt. O preço previsto do almoço é de 13 euros por pessoa.

Para mais informações veja-se o sítio www.apaa.online.pt/5eaa/5eaa.html.

NOVE FÍSICOS DISTINGUIDOS COM "ESTÍMULO À EXCELÊNCIA"

Cerca de 70 cientistas portugueses, entre os quais nove físicos, foram recentemente distinguidos com o "Estímulo à Excelência", atribuído pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, e que pretende projectar a figura do investigador, ajudando a reconhecer a importância do seu trabalho.

Este estímulo tem por objectivo premiar o trabalho dos investigadores residentes em Portugal que prosigam, desde há pelo menos cinco anos, uma carreira profissional ligada, directa ou indirectamente, à investigação científica e tecnológica nas áreas das ciências de engenharia, química, física, ciências biológicas e biotecnologia e ciências da saúde.

Os índices mínimos para a atribuição do "Estímulo à Excelência" são a publicação de 100 artigos em revistas internacionais e 500 citações referenciadas no Science Citation Index, da ISI Web of Knowledge; ou a supervisão de 10 doutoramentos concluídos com êxito e a publicação de 50 artigos em revistas internacionais e 250 citações referenciadas no Science Citation Index, da ISI Web of Knowledge.

A atribuição do "Estímulo à Excelência" traduz-se num financiamento de cinco mil euros, por dois anos, concedido à instituição onde o investigador exerce a sua actividade e destinado a actividades de investigação e divulgação científica.

Na área da Física foram contemplados os professores Paulo Jorge Peixeiro Freitas, do Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Eduardo Jorge da Costa Alves e Nuno Pessoa Barradas, do Instituto Tecnológico e Nuclear, António Joaquim Onofre de Abreu Ribeiro Gonçalves, do Laboratório

de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP), Luís António Ferreira Martins Dias Carlos, da Universidade de Aveiro, Carlos Alberto Nabais Conde, João da Providência Santarém e Costa e José António de Carvalho Paixão, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, e Carlos Matos Ferreira, do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.

ALUNA DO PORTO RECEBE PRÉMIO NACIONAL DO SECUNDÁRIO

O Prémio Nacional José Pinto Peixoto 2004 foi recentemente entregue a Sofia Homem de Melo Marques, pelo facto de ter terminado o ensino secundário com média de 19,7 valores, na Escola Secundária Aurélia de Sousa, no Porto.

O prémio, instituído pela Casa da Cultura Professor Doutor José Pinto Peixoto, tem o valor de mil euros e visa contemplar o aluno com a média mais elevada do Ensino Secundário.

CIÊNCIA E DESPORTO

No Pavilhão do Conhecimento - Ciência Viva, no Parque das Nações, em Lisboa, está patente a exposição "Ciência e Desporto", uma versão portuguesa da exposição "Science of Sports" do Science Museum. Sendo o desporto moderno uma combinação de ciência, destreza, dedicação e esforço total, nesta exposição os visitantes podem testar as suas capacidades e experimentar uma variedade de actividades desportivas.

A propósito da exposição, o Pavilhão do Conhecimento - Ciência Viva, em colaboração com várias federações desportivas, planeou uma série de eventos e actividades já agendadas

e que poderão ser consultadas na sua página da Internet: <http://www.pav.conhecimento.pt>.

A exposição estará patente até 18 de Setembro de 2005.



ENCONTRO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

O primeiro encontro, "Inovação, ciência e tecnologia: condições para o desenvolvimento científico e tecnológico do País - bloqueios, estratégias e soluções", realizou-se em Dezembro de 2004, no Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa, e contou com a participação de mais de 300 cientistas, tecnólogos e empresários de todo o país. O segundo encontro decorreu em Janeiro, na Universidade do Porto, e versou as políticas de desenvolvimento científico e tecnológico e as políticas de estímulo à inovação de base científica e tecnológica.

Para mais informação consultar <http://www.encontroscti.net>.

FÍSICO PORTUGUÊS DISTINGUIDO PELA ELSEVIER SCIENCE



Carlos Matias, do Departamento de Física da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro recebeu um dos três "Brain Research Young Investigator Awards", promovido pela conceituada Editora "Elsevier Science". A distinção consiste na atribuição de três mil dólares aos galardoados, num certificado e no direito dos resultados da investigação premiada serem divulgados em revistas científicas durante um ano, neste caso, 2005.

O trabalho premiado foi desenvolvido em colaboração com Maria Emília Quinta Ferreira do Grupo de Biofísica do Departamento de Física da Universidade de Coimbra, Mona Arif, do Departamento de Química da Universidade da Beira Interior, e José Carlos Dionísio, do Departamento de Zoologia da Universidade de Lisboa.

Neste trabalho é apresentado um estudo sobre a libertação de zinco durante a actividade dos neurónios. Trata-se de um processo extremamente rápido, que dura apenas 20 milésimos de segundo, e que acontece na região do cérebro sujeita a disfunções patológicas.

XI ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

Em Setembro próximo, na Escola Superior de Educação do Instituto Politécnico do Porto, vai realizar-se o XI Encontro Nacional de Educação em Ciências (ENEC), a par do I Encontro de Educação para uma Nova Cultura da Água. A participação no

ENEC confere um crédito de formação. Estes Encontros, que se realizam com frequência bienal, constituem já uma referência no domínio da Educação em Ciências. Têm como objectivos promover a investigação educacional com impacto nas escolas, apresentar casos de projectos, inovações e práticas de excelência e referência, abordar as vertentes teóricas e as inter-relações entre as diversas Ciências da Natureza e outras áreas do saber, e promover uma nova cultura da água.

Todas as informações podem ser encontradas no sítio <http://www.enec2005.ese.ipp.pt> ou solicitadas através do email enec2005@ese.ipp.pt.

LABORATÓRIO DO MUNDO: IDEIAS E SABERES DO SÉCULO XVIII



Na Pinacoteca do Estado, S. Paulo, Brasil, esteve patente até 12 de Março a exposição "Laboratório do Mundo: ideias e saberes do século XVIII", uma iniciativa conjunta do Gabinete das Relações Culturais Internacionais do Ministério da Cultura e da Pinacoteca do Estado de São Paulo que se integra nas comemorações dos 450 anos da fundação desta cidade.

A exposição mostra parte dos espólios do Museu de Física e do Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra, ocupando sete salas com uma área total de 564 metros quadrados. Estão expostas 212 peças, 120 instrumentos científicos, desenhos de arquitectura,

mapas, quadros, gravuras, aguarelas e outros documentos do século XVIII, pertencentes, essencialmente, à Universidade de Coimbra, e também à Academia das Ciências de Lisboa, à Biblioteca Nacional, à Biblioteca Geral da Universidade de Coimbra, ao Museu Nacional de Machado de Castro, à Imprensa Nacional/Casa da Moeda, ao acervo da Biblioteca Nacional do Rio de Janeiro e a um colecionador particular.



A estrutura organizativa da exposição desenvolve-se em quatro temas: Iluminismo e Cultura Científica, Arquitectura da Ciência, Ciência em Movimento e Novas Fronteiras do Olhar.

No sítio http://www.grci.pt/lab_mundo/apresentacao.htm pode efectuar-se uma visita virtual à exposição.

MECÂNICA QUÂNTICA NO SECUNDÁRIO?

Este artigo resulta de um trabalho mais alargado que, visando a introdução de tópicos de Teoria Quântica na disciplina de Física no ensino secundário português, procurou averiguar a opinião de professores, de vários níveis de ensino e de diferentes países, acerca deste assunto.

O LABVIDEO - UMA APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE VÍDEO DIGITAL

Neste artigo apresenta-se uma nova aplicação de análise de vídeo, o *LabVideo*, que, fundamentalmente, se distingue das aplicações congéneres por incluir um mecanismo automático de aquisição de dados. Além desta característica inovadora, o *LabVideo* representa ainda uma contribuição para o software educativo em língua portuguesa e de distribuição livre. O funcionamento do programa é sucintamente ilustrado por meio de uma experiência sobre o movimento de projecteis.

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

ENSINO DA FÍSICA

MECÂNICA QUÂNTICA NO SECUNDÁRIO?

Não é possível acompanhar o desenvolvimento científico e tecnológico, compreender algumas das dimensões críticas e éticas da cultura actual ou ponderar alguns argumentos científicos socialmente controversos sem possuir conhecimentos, ainda que rudimentares, das grandes construções científicas do século XX, nomeadamente a Teoria da Relatividade e a Teoria Quântica.

No entanto, em Portugal, os alunos que estudam Física no ensino secundário não passam do século XIX¹. Em Química [3], abordam alguns conceitos de Teoria Quântica relacionados com a estrutura da matéria, de acordo com uma estratégia que alguém já apelidou "profissão de fé": creio nos números quânticos, creio no princípio de incerteza, creio..., creio... Contrariamente, em muitos outros países, a Teoria Quântica é abordada ao nível do ensino não superior, na disciplina de Física [1,2,4].

Tentámos conhecer as opiniões de professores dos vários graus de ensino sobre a aprendizagem da Teoria Quântica a um nível elementar. Pedimos que respondessem a questionários e solicitámos entrevistas a professores portugueses da área de Física, tanto do ensino secundário como do ensino superior. Dado que a Teoria Quântica serve igualmente de fundamento ao trabalho de químicos, biólogos e engenheiros, enviámos questionários semelhantes a professores do ensino superior de diversas áreas. Obtivemos seis respostas: dois professores de didáctica das ciências, um biólogo, dois engenheiros e um físico.

Aos questionários enviados pela Internet responderam seis professores não portugueses, (dois holandeses, um finlandês, dois italianos e um britânico), todos com ex-

periência no ensino da Teoria Quântica a nível do ensino secundário. Um dos italianos e o britânico são investigadores em ensino da Física.

As respostas aos questionários

Dos doze professores portugueses do ensino secundário que nos responderam, apenas dois advogam que a Teoria Quântica deva ser introduzida no ensino secundário, justificando que os alunos têm de conhecer a física actual e estar a par dos recentes desenvolvimentos tecnológicos. Ao sugerirem a abordagem histórica e a actividade prática como estratégias de ensino, estes professores estarão a propor a metodologia que julgam mais conveniente para suplantar as dificuldades dos alunos (deficiências de matemática e de conceptualização), mas também, eventualmente, a reflectir a sua própria aprendizagem.



A. Sommerfeld e N. Bohr

Os restantes professores do secundário consideram que não vale a pena introduzir Teoria Quântica no ensino que ministram porque os alunos não sabem matemática nem português, os programas são muito extensos, a teoria é

muito complexa e os alunos muito novos têm muita dificuldade em conceptualizar. Embora estes argumentos sejam razoáveis, eles costumam ser aduzidos sempre que se pretende introduzir alguma modificação no ensino secundário.

Todos concordam, porém, que os professores não estão preparados para ensinar Teoria Quântica, podendo essa situação modificar-se com acções de formação. As respostas dos professores portugueses do ensino superior revelam três tipos de atitudes. Em primeiro lugar, a do professor de Física que não tem dúvida de que o assunto pode e deve ser dado, argumentando que é acessível aos alunos, que a realidade microscópica se relaciona com o quotidiano. Os problemas que afligem os professores de didáctica estão muito aquém do ensino da Teoria Quântica: "*alguma importância mas...; não é essencial...; há assuntos mais centrais*". A abordagem histórica é comum nestes dois grupos. Os restantes professores do ensino superior estão, definitivamente, longe desta questão. A Teoria Quântica nunca os terá tocado, nem nunca sentiram necessidade de a conhecer.

Em contraste com estas posições, os colegas estrangeiros que foram inquiridos consideram vantajosa a introdução da Teoria Quântica no ensino secundário, por razões que não diferem muito dos pareceres favoráveis dos professores portugueses. Mas acrescentam outra razão de interesse fundamental: "*os alunos sentem-se fascinados pela Teoria Quântica*". Esta justificação, além de indicar experiência na leccionação da Teoria Quântica, revela um enorme potencial de atracção pelo tema, que é impossível de ignorar.

Estes professores não consideram os conceitos abstractos da Teoria Quântica como obstáculos intransponíveis, mas como problemas que a investigação pedagógica pode e deve resolver. As suas respostas dão a conhecer o modo como estão sendo introduzidos conteúdos de Teoria Quântica a nível do ensino não superior. Enquanto no Reino Unido e na Finlândia esses conteúdos já fazem parte dos programas oficiais, na Holanda e em Itália estuda-se ainda essa possibilidade.

Um professor italiano e um holandês mencionam projectos de investigação sobre a introdução da Teoria Quântica no ensino secundário a decorrer nos respectivos países, e o professor britânico refere um projecto nacional que levou à inclusão dos tópicos de Teoria Quântica que, actualmente, fazem parte do currículo no seu país. Estes professores manifestam entusiasmo e indicam temas a abordar: efeito de túnel, princípio da incerteza, átomo de hidrogénio e efeito fotoeléctrico. O colega finlandês refere que faz uma abordagem histórico/experimental, mas salienta que valoriza a perspectiva experimental (a qual antecede a interpretação teórica), em detrimento dos aspectos filosóficos, que considera difíceis.

As opiniões expressas nas entrevistas

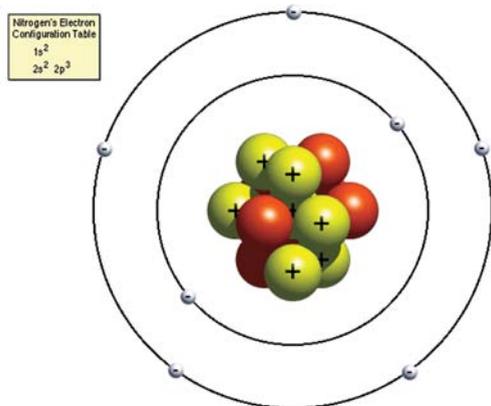
As entrevistas divergiram bastante consoante as experiências e os gostos dos entrevistados. Estes possuíam um perfil académico e profissional variado: três professoras efectivas do ensino secundário, uma com responsabilidades na formação de professores, outra, autora de manuais escolares e a terceira com responsabilidades na gestão pedagógica da escola; os restantes, professores universitários, sendo quase todos autores de livros escolares ou de divulgação científica.

As entrevistas foram ricas tanto em conteúdo como no entusiasmo dos entrevistados face às suas actividades profissionais.

É importante ensinar Teoria Quântica no ensino secundário? Porquê?

De uma maneira geral todos responderam afirmativamente a esta pergunta, ainda que com diferentes ênfases. Os professores do ensino secundário reconhecem que a Física do século XX (e os desenvolvimentos tecnológicos com ela relacionados) deve fazer parte do currículo, mas estão mais preocupados com o facto de a aprendizagem da mecânica clássica ser tão mal sucedida. Aliás, de uma maneira geral, consideram que é essencial saber bem mecânica clássica para aprender Teoria Quântica.

"Para mim, a mecânica clássica funciona como marco de referência, pelo que o conhecimento da mecânica clássica é fundamental. Suponho que um conhecimento experimental e teórico da mecânica clássica facilita o estudo da Teoria Quântica."



O átomo de Bohr

Uma outra razão para que os professores do ensino secundário adiram ao ensino da Teoria Quântica é o facto de serem solicitados pelos alunos a esclarecer assuntos actuais que os programas não contemplam:

"Sem dúvida. Os alunos perguntam se já ouvi falar de quarks e mesões... colocam questões sobre assuntos cuja

resposta requer a Teoria Quântica, enquanto nós só ensinamos física do século XIX. O século XX está, praticamente, excluído do ensino da Física;

(...) tenho que reconhecer que a parte do programa que os alunos preferem é a estrutura atômica."

Os professores do ensino superior não demonstram qualquer reserva em relação ao ensino da Teoria Quântica. Pensam que já deveria ter-se iniciado há muito tempo:

"Há já muitos anos que faço propostas de que é desejável actualizar os programas escolares de forma a mantê-los em sintonia com os avanços da ciência e as correspondentes aplicações tecnológicas... Não duvido que seja possível conseguir uma actualização desejável."

"Outra razão é que as tecnologias modernas estão baseadas nas ciências quânticas. É portanto necessário aprender o essencial da teoria. Não estou a dizer que seja necessário resolver as equações de Schrödinger ou de Dirac, mas sim aprender os conceitos básicos. Os conceitos básicos podem e devem ser ensinados."

"Acho que sim. Se reparar, o plano inclinado, as alavancas e as roldanas (espécie de instrumentos de tortura que aparecem sempre no estudo da Física) estão muito mais fora da realidade dos alunos de hoje do que os átomos e moléculas, os transístores, as estrelas e os buracos negros... Julgo que o cérebro de uma criança está muito mais longe do plano inclinado do que dos átomos... e a física tem que ser apelativa nos níveis etários mais baixos... É pena que só na universidade se venha a aprender que as microondas têm a ver com os telemóveis. A sociedade está a avançar mais depressa do que a escola. Ora as aplicações da ciência não aparecem por acaso, alguém as faz."

"Retirarmos à formação dos adolescentes aquilo para que o futuro aponta é extremamente limitativo e prescindir de uma linguagem que parece de "Alice no País das Maravilhas" é prescindir de um enorme potencial de atracção."

"Deus criou-nos com olhos, mãos, cabeças... mas não com microscópios, computadores, aceleradores de partículas... O que temos feito, ao longo dos tempos, é criar instrumentos que nos deram a possibilidade de chegar a escalas para as quais, à partida, não estávamos preparados... Imaginar o ser humano primitivo na sociedade em que vivemos (que aparentemente já não é moderna, mas pós-moderna) é impossível. As pessoas têm que ser olhadas em conjunto com a tecnologia que as rodeia. Dizer que a Teoria Quântica e a Teoria da Relatividade são difíceis é um crime, uma estupidéz profunda e uma incapacidade de perceber o que são a história e a evolução da humanidade. Temos que fazer a aprendizagem do infinitamente pequeno, no caso da Teoria Quântica, e do infinitamente grande, no caso da Teoria da

Relatividade. Porque são coisas que nos pertencem, que não nos são estranhas... Não há outra solução senão integrarmos estes assuntos na aprendizagem dos miúdos... Quem nega a necessidade da Teoria Quântica e da Teoria da Relatividade nada percebe de Física ou, sob o ponto de vista social, é alguém que quer reduzir o nosso país, na prática, a um país do Terceiro Mundo."

Quais são as dificuldades do ensino da Teoria Quântica no ensino secundário?

Tal como nos questionários, os professores do ensino secundário entrevistados indicam as deficiências nos conhecimentos de português e matemática como os principais obstáculos do ensino da Teoria Quântica. Referem também a dificuldade de conceptualização por alunos muito jovens e a extensão dos currículos:

"A dificuldade seria basicamente a nível da interiorização dos conceitos, uma vez que muitos aspectos parecem ir contra o "senso comum"... Tudo se pode ensinar às várias faixas etárias, desde que a abordagem tenha em conta os conhecimentos físicos e matemáticos e ainda o desenvolvimento dos alunos."

Os professores do ensino superior nunca pensaram, aparentemente, nas dificuldades de ensinar Teoria Quântica aos alunos do ensino secundário. Pelo menos não se lhes referem. Ou talvez considerem que é tão difícil ensinar Teoria Quântica como outro assunto qualquer.

A Teoria Quântica é mais difícil que a mecânica clássica?

A resposta dos professores do ensino secundário a esta questão, em contraste com a dos professores universitários, revela falta de uma visão mais ampla da Física, uma consequência talvez do desconhecimento de um assunto que não dominam e que não estão habituados a leccionar. De uma maneira geral consideram a Mecânica Clássica uma espécie de "âncora" que dá estrutura a toda a Física e, como tal, o conteúdo essencial a ser ensinado no ensino secundário.

Os professores universitários consideram que a divisão Mecânica Clássica/Teoria Quântica é artificial porque só há uma Física (toda ela difícil de aprender):

"Claro que ambas são difíceis. Ambas têm uma equação de movimento sendo a equação da Teoria Quântica de primeira ordem em relação ao tempo e a newtoniana de segunda ordem. Por aqui a newtoniana é mais complicada que a quântica (...). Mas a mecânica newtoniana, quando apareceu, era também completamente contrária à nossa percepção... A força estava associada ao movimento... Toda a gente sabia que, quando o burro parava, a carroça parava."

"Não há mudança de paradigma. Os físicos fazem Física, exac-

tamente, da mesma maneira antes e depois da Relatividade, antes e depois da Teoria Quântica. O paradigma é o mesmo."
"Há conhecimentos exigidos às crianças que também implicam elevados níveis de abstracção. Por exemplo, ninguém admite que os meninos não saibam que a Terra anda à volta do Sol ou que questionem esta afirmação. A Física está cheia de conhecimentos não intuitivos (...) a lei da inércia não é nada intuitiva (...) a física aristotélica durou muito tempo porque é a mais intuitiva que pode existir."

Quais os temas a serem introduzidos e com que abordagens?

De uma maneira geral parece que ninguém pensou muito bem sobre quais deverão ser os temas a introduzir a um nível inicial e/ou a abordagem que deve ser dada à Teoria Quântica a esse nível, talvez porque não valha a pena estar a perder tempo com assuntos que parecem muito distantes, ou porque tentarão reproduzir a maneira como aprenderam quando for a sua vez de ensinar.

Há, no entanto, diferenças assinaláveis entre as concepções dos professores do ensino secundário e do ensino superior. Os primeiros sabem quão difícil é ensinar a dinâmica do ponto material ou o princípio de Arquimedes e imaginarão que o ensino da Teoria Quântica será "missão impossível". Os segundos porque consideram que, se eles (professores) aprenderam, outros também aprenderão se a isso se dispuserem. Daí a cautela com que os professores do secundário respondem e a relativa facilidade das respostas dadas pelos professores do ensino superior.

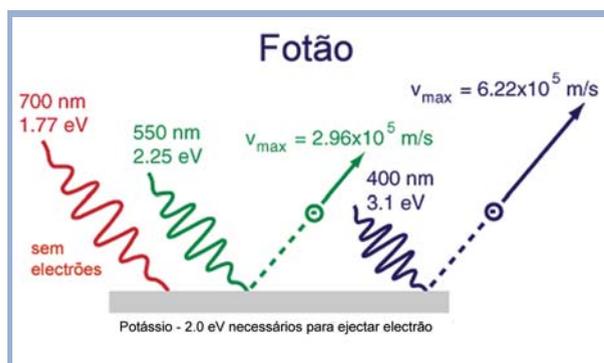
A resposta de um professor universitário:

"...Sugiro que se inicie pela história, é o mais simples. Pelos problemas que deram origem à Teoria Quântica... Desde Planck a Bohr... é uma história lindíssima... Há uma maneira de explicar as coisas a partir de uma certa intuição e, quando a intuição falha, pois bem, começa-se por admitir que a "coisa" não dá certo... Mas não é preciso ir às matrizes de Heisenberg para estudar Teoria Quântica. Pode formalizar-se tudo de maneira mais complicada (o que é importante em estudos avançados), mas o essencial do modo de funcionar da Teoria Quântica está em Bohr, em De Broglie e em Schrödinger... A base é a lei de Planck, o efeito fotoeléctrico, os espectros de riscas... e perceber qual a natureza destes fenómenos... A teoria ondulatória tem de ser conhecida anteriormente..."

Neste discurso, sobressai o fascínio do autor pela matéria em questão, que poderá não ser transmissível só com o entusiasmo do professor.

Outras abordagens propostas por professores universitários passam, pela via histórica e/ou experimental:

"A história de que estava a falar era a das experiências com que foi iniciada a teoria... Os conceitos devem aparecer não como ideias vagas e abstractas, coisas que aliás abundam no nosso ensino, mas através de experiências concretas... Ao contar uma história, tanto a crianças como a adultos, as respectivas personagens adquirem vida. Conta-se, por exemplo, a história do cientista mais conhecido do hemisfério sul, nascido na Nova Zelândia, que na altura pertencia ao império britânico, e, pouco a pouco, Rutherford não é apenas um nome mas adquire vida: é uma pessoa. O mesmo acontece com a vida e obra de Einstein ou de Bohr. A história é relevante, mas tal não implica que se ensinem os conceitos de física respeitando estritamente a cronologia. Se já conhecemos o fim do filme não é preciso contar todo o enredo... Podemos partir do final para onde quisermos. Isso faz-se em Física e em qualquer ciência..."



Efeito fotoelétrico

Que pensar de tudo isto?

Há duas conclusões que ressaltam tanto dos inquiridos como das entrevistas: os alunos gostariam de aprender Teoria Quântica e os professores do ensino secundário não têm conhecimentos suficientes para os ensinar.

A diferença entre as concepções dos 27 professores, ouvidos para elaborar este trabalho não reside na idade, nem no grau académico, nem no grau de ensino. Está no conhecimento que têm, ou não, de Teoria Quântica. Aqueles que melhor conhecem as dificuldades desta teoria consideram que os alunos podem e devem estudá-la no ensino secundário. Fazem-no, no entanto, porque lhe reconhecem utilidade e beleza, não porque tenham dedicado algum do seu tempo a pensar como.

As opiniões recolhidas podem ser classificadas como "*Nem pensar*", "*Talvez*" e "*Sim, sem dúvida*". No primeiro grupo, encontra-se a maior parte dos professores do ensino secundário e dos professores do ensino superior não directamente ligados ao ensino da Teoria Quântica; no segundo situam-se os professores dos ensinos secundário e superior de algum modo ligados ao ensino das ciências e o terceiro grupo é constituído pelos professores do ensino superior ligados à investigação e/ou ensino da Teoria Quântica.

Podemos encarar estas reacções pelo menos de duas maneiras diferentes. A maior parte dos professores que dizem "*Nem pensar*" estão muito mais conscientes das dificuldades de ensinar o que quer que seja aos seus alunos solicitados por dezenas de actividades muito mais apelativas do que a Física. Por outro lado (recordemos as respostas dos professores do ensino superior de áreas não directamente ligadas à Física), é lógico que quem não domine a Teoria Quântica ou não precise de a usar, não sinta necessidade de a aprender ou de a estudar. Vive bem sem ela, como outrora se viveu bem com a convicção de que a Terra era o centro do Universo.

Os professores englobados no grupo "*Nem pensar*" rejeitam, *a priori*, a ideia porque a acham inútil e contraproducente, portanto impossível de dar bons resultados; os professores do grupo "*Talvez*" sabem, porque reflectem sobre o processo de ensino, que será difícil ensinar Teoria Quântica no ensino secundário, mas é uma questão de aprender; os professores que respondem "*Sim, sem dúvida*" acham, de uma maneira geral, que "*tem que ser feito*", independentemente do modo "*como deve ser feito*". Os únicos que evidenciam profunda reflexão acerca do modo como se deve ensinar Teoria Quântica a alunos do ensino secundário são, precisamente, os investigadores britânico e italiano, que realizam trabalhos sobre o ensino da Física a esse nível.

Greg Ireson [4] fez um estudo com alunos que se iniciaram na Teoria Quântica pela via histórica, concluindo que alguns dos conhecimentos erróneos, detectados inicialmente, tinham sido corrigidos. Porém, comparando os *itens* que se modificaram e os tópicos curriculares, verificou que esses resultados não podiam ser imputados ao currículo mas a outras características da instrução. Estas conclusões remetem-nos para a importância da formação dos professores. Para ensinar qualquer assunto, é preciso dominá-lo bem e, simultaneamente, encontrar a técnica adequada para fazer com que ele possa ser assimilado pelos alunos. Os professores de Física que estudaram Teoria Quântica poderão não estar recordados do que aprenderam ou ter feito uma aprendizagem criticável [1]. É natural que necessitem de reaprender conceitos que já esqueceram ou que, entretanto, evoluíram. Praticamente, todos os inquiridos consideraram imprescindível que uma formação/actualização de professores anteceda a introdução de conteúdos de Teoria Quântica no ensino secundário e que a Sociedade Portuguesa de Física é a entidade que pode mudar a maneira de ensinar física nas escolas secundárias portuguesas.

Em dois artigos que analisámos [5,6], mostra-se que os conceitos erróneos detectados nos jovens professores de Física são perfeitamente semelhantes aos dos alunos universitários e pré-universitários. Estes resultados originaram projectos dirigidos aos professores em formação.

Um deles [5] é interessantíssimo porque envolve a formação inicial de professores como *utilizadores* de conceitos quânticos e como formadores, simultaneamente. Avalia ainda a maneira como os conceitos aprendidos pelos professores em formação passam, através da sua prática lectiva, para os alunos.

Uma nota de esperança...

Os problemas do ensino da Física são tão profundos que não deixam espaço aos professores para assuntos tão "esotéricos" como a Teoria Quântica. Não obstante, há, entre os professores, alguma abertura para a mudança. E há até alguns que gostariam de estudar assuntos que já estão distantes. Terá, também, de haver uma razão institucional para o fazerem, como disse uma colega em entrevista:

"(...) Os professores iriam reagir, como sempre, com reticências. Mas depois, também, como sempre, iriam estudar. Qualquer mudança no ensino produz resistências porque implica alguma necessidade de actualização pedagógica e/ou científica. Mas isso não significa que as inovações sejam recebidas com desagrado. Estou convencida de que, embora numa fase inicial, os professores possam expressar dificuldades, a actualização científica em Teoria Quântica vai acabar por ser gratificante..."

Para nós, não há dúvida de que a Teoria Quântica tem que ser ensinada no ensino secundário. Como deve ser ensinada requer ainda muita reflexão.

Teresa Lobato*
Escola Secundária Fernando Lopes Graça
Av. Comandante Gilberto Duarte e Duarte, nº470
2775-200 Parede - Portugal
teresalobato@netcabo.pt

Helena Caldeira
Departamento de Física da Universidade de Coimbra
3004-516 Coimbra
helena@teor.fis.uc.pt

Ileana María Greca
Instituto de Física - UFRGS
Caixa Postal 15051 - 91501-970 Porto Alegre, RS, Brasil
ileana@if.ufrgs.br

* Doutoranda do Programa Internacional de Doctorado en "Enseñanza de las Ciencias" da Universidade de Burgos (Espanha), em convénio com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil).

REFERÊNCIAS:

- [1] Jones, D. G. C., "Teaching modern physics - misconceptions of the photon that can damage understanding", *Physics Education*, 26, 1991, 93-98.
- [2] Fischler, H. e Lichtfeldt, M., "Modern physics and students' conceptions", *International Journal of Science Education*, 14 (2), 1992, 181-190.
- [3] Sena, J., *Um Estudo sobre Concepções e Estratégias de Ensino em Mecânica Quântica*. Tese de Mestrado em Ensino da Física e da Química, Universidade de Coimbra, 1994.
- [4] Ireson, G., "The quantum understanding of pre-university physics students", *Physics Education*, 35 (1), 2000, 15-21.
- [5] Giliberti, M., Cazzaniga, L. e Lanz, L., Quanta-Mi, "A modern teaching for modern physics in pre-service teachers training", *GIREP Conference 2002*, Lund, 2002.
- [6] Hadzidaki, P., Kallanis, G. e Stavrou, D., "Quantum mechanics: a systemic component of the modern physics paradigm", *Physics Education*, 35 (6), 2000, 386-392.

NOTA:

¹ Este artigo foi escrito antes do conhecimento público do novo programa de Física para o 12º ano, que já inclui Teoria Quântica.

O LABVIDEO - UMA APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE VÍDEO DIGITAL

O *LabVideo* é uma aplicação de análise de vídeo no formato AVI¹ com uma interface gráfica típica das aplicações do *Microsoft Windows*. Na Fig. 1 destaca-se uma janela central para a visualização dos filmes, os comandos do *menu* e uma barra de ferramentas que dão acesso às funcionalidades e opções do programa. Na janela central encontram-se os botões usuais de controlo do vídeo e uma barra de progressão temporal da sequência de fotogramas. A aplicação foi desenvolvida de maneira a permitir a aquisição de dados por três modos distintos:

- 1- por meio de medições sobre uma imagem estroboscópica impressa em papel;
- 2- através da usual marcação de posições em cada fotograma com o cursor do rato;
- 3- usando a opção de detecção automática de posições.

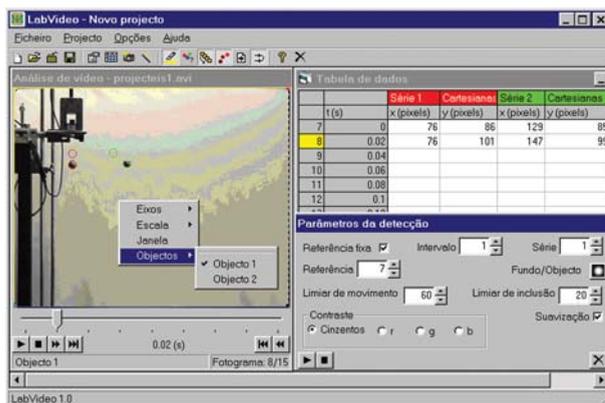


Fig. 1- Aspecto geral da aplicação

O programa pode ser usado para estudar diversos fenómenos físicos, em particular os que dizem respeito à dinâmica da partícula e dos sistemas. Nesses casos, pretende-se acompanhar a evolução temporal de sistemas que, de um modo geral, são constituídos por objectos que se distinguem bem do plano de fundo fixo sobre o qual se movem.

Construção de imagens estroboscópicas

O registo de movimentos em película fotográfica usando a iluminação intermitente de lâmpadas estroboscópicas é uma técnica utilizada frequentemente nos estudos de cinemática. Este tipo de imagem tem um grande poder ilustrativo - as trajectórias de objectos móveis destacam-se a partir das posições capturadas em pequenos intervalos de tempo de igual duração. Com o *LabVideo* é possível criar em alguns segundos imagens estroboscópicas que

podem servir de base a actividades de sala de aula sem o suporte de computadores ou que podem complementar a análise de vídeo juntamente com qualquer um dos outros dois modos de aquisição de dados do programa. Na Fig. 2 são visíveis as posições sucessivas de uma esfera que foi lançada horizontalmente e de uma segunda esfera largada simultaneamente da mesma altura.

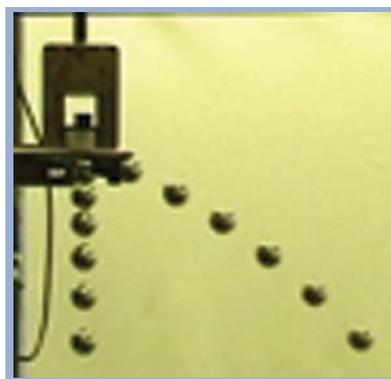


Fig. 2 - Imagem estroboscópica criada com a aplicação

Marcação manual de posições

No modo de marcação manual, as posições sucessivas dos objectos de interesse (séries) são assinaladas em cada imagem por meio de marcadores coloridos. Os tempos e as coordenadas de posição são registados numa tabela de dados que é automaticamente preenchida à medida que se procede à marcação. Na Fig. 1 encontram-se as posições de duas esferas medidas num referencial definido pelo utilizador (usou-se um referencial graduado em pixels e com origem no canto superior esquerdo da imagem). Para "calibrar" as imagens é necessário marcar sobre as mesmas um segmento de recta de comprimento conhecido e indicar o seu valor numa unidade adequada.

Detecção automática de posições

A detecção automática de posições permite dedicar menos tempo à aquisição de dados, tarefa que pode ser um pouco entediante, sobretudo se o número de posições a marcar for elevado, como acontece no exemplo que a seguir se descreve. O método é aplicável em situações simples ou controladas, sendo então possível detectar com rigor suficiente as posições de um ou mais objectos em movimento num vídeo. Para tal, é necessário que a cor ou o brilho dos objectos sejam uniformes e suficientemente diferentes do fundo para que o programa os possa separar.

Uma breve ilustração

O lançador de projectéis utilizado no lançamento horizontal da esfera na Fig. 2 é um dispositivo conhecido por espingarda de Gauss² que permite acelerar esferas de aço utilizando alguns ímans dispostos em linha sobre uma régua. Abandonando uma esfera a uma pequena distância do primeiro íman, como se representa na Fig. 3, desencadeia-se uma série de colisões consecutivas que produzem disparos progressivamente mais rápidos.

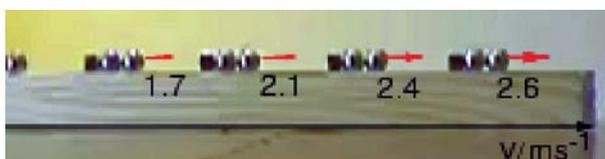


Fig. 3 - Lançador de projectéis calibrado

Com o objectivo de determinar as velocidades das esferas projectadas pelo dispositivo, filmaram-se alguns disparos variando apenas o número de ímans e esferas. Na Fig. 4 podem ver-se os marcadores das posições da esfera detectadas automaticamente com o *LabVideo* num dos ensaios realizados. O vídeo foi capturado com uma taxa de 50 fotogramas por segundo, pelo que as posições da esfera são discerníveis em intervalos de tempo de dois centésimos de segundo. Finalmente as tabelas de dados foram exportadas para uma folha de cálculo com a qual se procedeu ao tratamento dos resultados e à determinação das velocidades iniciais da esfera.



Fig. 4 - Posições detectadas

Alguns comentários finais

O *LabVideo* é um auxiliar do trabalho prático assistido por computador que permite extrair posições em função do tempo para um ou mais objectos presentes em imagens de vídeo. Os resultados obtidos podem ser lidos por folhas de cálculo e outras aplicações de representação e tratamento de dados cujo uso por parte dos alunos deve ser estimulado. Assim, o *LabVideo* dispõe apenas de funcionalidades de cálculo relacionadas com a aquisição de dados - as posições recolhidas podem ser usadas para calcular séries de pontos introduzindo expressões matemáticas nas células da tabela de dados, de modo a visualizar a trajectória do centro de massa de um sistema de partículas, por exemplo. Estas e outras características da aplicação que não foram aqui discutidas poderão ser melhor apreciadas explorando o programa que se encontra disponível, juntamente com algum material de apoio, no endereço <http://mconde.no.sapo.pt/labvideo/>.

Margarida Conde
Escola Secundária de Odivelas
mconde@netc.pt

NOTAS

¹ Formato nativo do *Video for Windows*.

² A documentação sobre a espingarda de Gauss e outros brinquedos de ciência está disponível em <http://www.sci-toys.com/>.

LIVROS NOVOS

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

João Duarte Fonseca
1755 O Terramoto de Lisboa
Argumentum, 2004.

J. P. Santos e M. F. Laranjeira
Métodos Matemáticos para Físicos e Engenheiros
Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2004.

J. Veiga Simão e A. de Almeida Costa
*Ambição Para a Excelência
A Oportunidade de Bolonha*
Gradiva, 2005.

Manuel Amaral Fortes, Maria Emília Rosa e Helena Pereira
A Cortiça
IST Press, 2004

Manuel Paiva
*Como Respiram os Astronautas
E Outros Problemas de Física Biomédica*
Gradiva, 2004

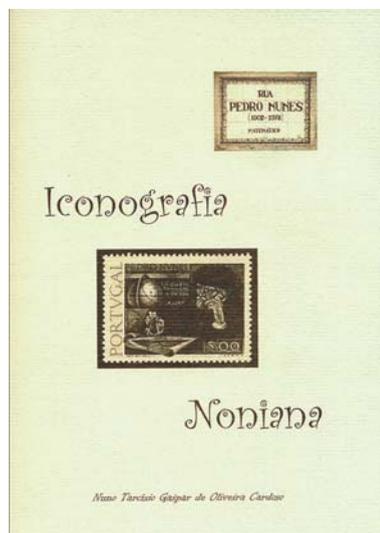
Margarida Telo da Gama (coord.)
*O Código Secreto
À Descoberta dos Padrões da Natureza*
Gradiva, 2005.

Roger Lewin
Complexidade - A Vida no Limiar do Caos
Caminho, 2004

Rómulo de Carvalho
*Cadernos de Iniciação Científica
Relógio d'Água*, 2004

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

ICONOGRAFIA NONIANA



Nuno Tarcísio Cardoso
Iconografia Noniana
Edição do autor, 2004
Apartado 1005
3001-501 Coimbra

No ano de 2002 comemoraram-se os 500 anos do nascimento de Pedro Nunes (1502-1578), o maior matemático português do século XVI e provavelmente o maior que tivemos em todos os tempos. Habitados a dizer sistematicamente mal do que é português, temos muitas vezes dificuldade ou mesmo relutância em apreender a grandeza de Pedro Nunes. Talvez por isso, passada a comemoração, poucos portugueses, se fossem interrogados informalmente sobre isso, seriam capazes de dizer quem foi e o que fez Pedro Nunes. Mas não falta quem conheça de cor nomes de reis, imperadores, futebolistas, actores de cinema, etc., actuais ou menos recentes.

O livro *Iconografia Noniana* preenche uma falta que se comprova mas não se aceita facilmente. Trata-se de uma obra muito interessante, que se apresenta no formato 15 cm x 21 cm e contém 280 páginas (custa 10,00 euros). Foi editada pelo autor, Nuno Tarcísio Cardoso, com o apoio da Secção Filatélica da Associação Académica de Coimbra, da Comissão Central da Queima das Fitas e do Conselho Cultural da Associação

Académica de Coimbra. É curioso notar que o autor foi seduzido pelo estudo da iconografia noniana a partir da filatelia, actividade a que se dedica intensamente.

O livro está organizado em 16 capítulos bem estruturados, agrupados em 5 partes. A informação foi muito bem sequenciada e a escrita segue um estilo amadurecido e agradável de ler: a obra surpreende-nos agradavelmente a cada página.

A parte I começa por uma biografia meticulosa de Pedro Nunes. Seguimos com particular minúcia muitas peripécias e acontecimentos da sua vida e dos seus sucessos. Admiramo-nos com a importância dos seus trabalhos e com a elevada consideração, para não dizer reverência, que os maiores matemáticos estrangeiros da época tinham por ele. Conhecemos a sua família, os passos que deu, as suas fontes de inspiração e diversos episódios interessantíssimos do seu quotidiano. Somos confrontados com os cargos que desempenhou e com as suas obras geniais, onde se incluem a fundação da navegação teórica (apresentando as famosas "curvas de rumo"), o *Tratado da Sphaera* (1537), *Astronomi Introductorii de Sphaera Epitome* (algures entre 1537 e 1542), *De Crepusculis* (1542), *Petri Nonii Salaciensis Opera* (1566), entre outras. Estas últimas são as mais relevantes e o *De Crepusculis* constitui a sua obra-prima, na qual determina a duração máxima dos crepúsculos para cada lugar do globo, problema muito difícil que apreciaremos melhor sabendo que "*ocupou os irmãos Bernoulli século e meio mais tarde, que levaram cerca de cinco anos para resolver o problema já antes resolvido por Nunes com outras ferramentas matemáticas*".

Ficamos a saber, entre outras coisas, que muitos dos melhores instrumentos de Pedro Nunes foram fundidos para obter o "*metal amarelo*", considerado essencial para enfeitar as grades de uma igreja em Coimbra,

"*e assim acabaram, vítimas de uma ignorante economia, monumentos científicos, preciosos pela sua antiguidade e respeitáveis em consideração ao homem de génio que havia inventado uns, aperfeiçoado outros, e manejado todos com singular habilidade*". No entanto, somos também informados de que há muito para descobrir sobre este matemático. Desconhece-se o paradeiro de muitos dos seus documentos, e há obras perdidas, a que ele faz referência em outros livros. Ignora-se até a sua verdadeira fisionomia, pois não há retratos pintados da época e os numerosos quadros, gravuras, desenhos e esculturas foram mais ou menos inventados, diferindo imenso de uns para outros. Nem se sabe sequer onde está sepultado.

Na parte II, há uma abordagem muito ampla, que se pode considerar praticamente exaustiva, sobre imagens e eventos de várias ordens que estão associados a Pedro Nunes. Não foram esquecidas as numerosas "engenhocas" criadas pelo grande matemático, incluindo, como não podia deixar de ser, o famoso nóvio. A documentação iconográfica contempla tudo o que o autor encontrou (e é muitíssimo, podem crer) com imagens e referências a Pedro Nunes: selos, carimbos, estátuas, a moeda e a nota de 100\$00 (que andaram nos nossos bolsos), postais, medalhas, nomes de navios, aviões, e até de ruas, praças, avenidas e travessas em diversas cidades de Portugal. Surgem ainda, associados ao nome do grande matemático português, o antigo Liceu Pedro Nunes, em Lisboa, diversas escolas e um instituto. Inclui-se ainda um mural, pintado por Lino António (1966), onde Pedro Nunes também aparece, assim como diversos quadros, gravuras e desenhos que "retratam" o grande matemático. Não foram sequer esquecidas as "homenagens inacessíveis" a Pedro Nunes, como a cratera lunar *Nonius* e o asteroide n.º 5313.

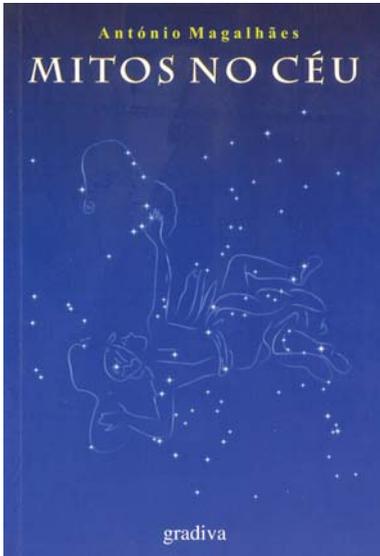
A parte III dedica-se exclusivamente à iconografia específica do próprio matemático. A parte IV faz luz sobre o que falta descobrir e também refere alguns mistérios da vida pessoal de Pedro Nunes. Uma quinta parte é dedicada às fontes e referências bibliográficas. A obra termina com uma base documental sólida: uma bibliografia bem documentada sobre Pedro Nunes, contendo 380 referências de autores portugueses e estrangeiros (incluindo obras do próprio Pedro Nunes), acrescida da indicação de programas de rádio e televisão onde Pedro Nunes foi mencionado e ainda de numerosas referências de sítios na Internet que a ele se referem; segue-se uma bibliografia geral e um amplo índice remissivo.

Iconografia Noniana é um livro muito interessante, completo, bem documentado, muito bem organizado e bastante agradável de ler, fruto de mais de dois anos de uma pesquisa perfeccionista. Diria até que se trata de um livro indispensável a quem queira conhecer este matemático genial e saber "*o que fez Pedro Nunes para ter esta consideração 500 anos depois*". O título da obra é demasiado discreto e esconde uma riqueza imensa de informação que não passa pela cabeça de quem se limite a olhar para a capa.

Por último, há também alguns mistérios neste livro. A cor não é essencial ao brilho da obra, embora a embelezasse; no entanto, podem fazer-se óptimas fotografias a preto e branco. Por isso mesmo, as figuras deste livro (fotografias e desenhos), podiam ter melhor qualidade. A obra merecia ser publicada pelos Correios de Portugal, podendo assim ter cuidados gráficos mais elaborados (como se pode ver no livro *Para a História da Astronomia em Portugal*, de Máximo Ferreira). Quanto ao conteúdo, esse merece a nossa maior admiração: é um livro a não perder!

Guilherme de Almeida
g.almeida@vizzavi.pt

MITOS NO CÉU



António Magalhães
Mitos no Céu
Gradiva, Lisboa, 2004

Embora não seja imediatamente evidente, todos os dias (dia e noite) "*passam sobre as nossas cabeças*" vários heróis e figuras lendárias, princesas e guerreiros, lutas e artefactos geralmente associados a lendas que os nossos antepassados imaginaram para encontrar alguma ordem no caos aparente do céu nocturno. Essa primeira compreensão permitiu-lhes interpretar os ciclos das estações do ano, orientar os seus rumos, organizar sementeiras e migrações, elaborar calendários e até celebrar rituais religiosos. Tais conhecimentos foram-lhes essenciais para sobreviver num mundo nostálgico e talvez romântico, mas também agreste e duro. *Mitos no Céu*, da autoria de António Magalhães, é uma obra grande e completa, com 436 páginas, que nos conta as lendas e mitos associados às constelações e às suas origens. Estas histórias fabulosas têm um encanto muito especial e transportam-nos a um passado distante e glorioso: o céu, visto a olho nu, nunca mais será o mesmo.

O livro está dividido em três partes. A primeira parte esclarece as noções fundamentais de astronomia necessárias

a uma melhor compreensão da obra para quem se aproxima do tema pela primeira vez.

A segunda parte aborda todas as constelações (88), uma a uma, por ordem alfabética, e os seus mitos. Para cada constelação, o autor apresenta-nos a origem mitológica (quando existente), a origem do nome da constelação, uma breve descrição da mesma em termos astronómicos, diversos objectos de interesse para observar com binóculos ou pequenos telescópios, assim como algumas curiosidades relevantes, entre as quais as características das estrelas mais relevantes de cada constelação. Foi também incluído um mapa de cada constelação, acompanhado pela sua representação antiga segundo atlas celestes dos tempos clássicos, de Hevelius ou de Johann Bode. Esta estrutura mantém-se coerente ao longo de toda a obra, o que facilita a sua consulta. O reconhecimento e identificação visual das constelações no céu nocturno sai do âmbito deste livro (e torná-lo-ia demasiado extenso), mas tal informação pode obter-se em obras expressamente dedicadas a essa temática, disponíveis em Portugal.

A terceira parte contempla as constelações obsoletas, que actualmente já não são consideradas pela União Astronómica Internacional (IAU). No final da obra encontramos três apêndices acompanhados pela bibliografia, uma referência aos autores incluídos no texto e um índice remissivo.

António Magalhães é licenciado em medicina desde 1974 e especialista em oftalmologia. Entusiasta da astronomia desde muito jovem, é director da revista *Astronomia de Amadores*, publicada pela *Associação Portuguesa de Astrónomos Amadores (APAA)*, da qual já foi presidente e continua sócio. Também é colaborador do jornal *Diário de Notícias*, onde escreve uma coluna semanal de astronomia (geralmente aos domingos), e da revista do *Automóvel Clube*

Médico Português. O autor tem-se empenhado na divulgação da astronomia e é também um dos autores do livro *Eclipses*, igualmente publicado pela Gradiva (1999). O presente livro é prefaciado por Nuno Crato, professor do Departamento de Matemática do ISEG, conhecido divulgador científico e colaborador do jornal *Expresso*.

O estilo do autor e a riqueza da informação, exposta com entusiasmo, fazem da leitura deste livro um verdadeiro prazer. *Mitos no Céu* é uma obra muito interessante que será procurada por divulgadores do céu nocturno e astrónomos amadores, nostálgicos dos tempos clássicos e muitas outras pessoas que querem saber mais sobre a história da astronomia, sobre as constelações e as curiosidades que lhes estão associadas.

Guilherme de Almeida
g.almeida@vizzavi.pt

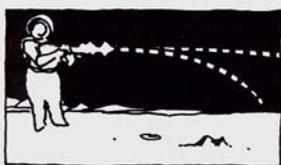
A FÍSICA EM BANDA DESENHADA



AGORA ESTAMOS NA LUA, ONDE NÃO HÁ QUALQUER RESISTÊNCIA DO AR. O ASTRONAUTA DÁ TIROS NA HORIZONTAL COM VELOCIDADE CADA VEZ MAIOR E TODAS AS BALAS DEMORAM O MESMO TEMPO A CHEGAR AO CHÃO! O MOVIMENTO HORIZONTAL NÃO AFECTA A QUEDA NA VERTICAL, MAS, QUANTO MAIS DEPRESSA A BALA SAIR, MAIS LONGE CHEGARÁ.

COM A ARMA A 1,5 m DO CHÃO, A BALA LEVARIA, NA TERRA, 0,55 s A ATINGIR O CHÃO, MAS NA LUA, ONDE A GRAVIDADE É MENOR, LEVA MAIS TEMPO A CAIR (0,2 s).

CONTUDO, À MEDIDA QUE AS BALAS SE AFASTAM, OCORRE ALGO DE NOVO: COMO A LUA NÃO É PLANA, MAS SIM REDONDA, O CHÃO COMEÇA A CURVAR E A BALA TAMBÉM...



UMA BALA PODERÁ TER UMA VELOCIDADE SUFICIENTEMENTE GRANDE PARA QUE, QUANDO CAIR 1,5 m, A SUPERFÍCIE TAMBÉM TENHA CURVADO E A BALA AINDA ESTEJA A 1,5 m DO CHÃO!

A BALA ESTÁ AGORA NUMA ÓRBITA LUNAR DE 1,5 m DE ALTURA. CAI CONTINUAMENTE, MAS O CHÃO TAMBÉM ESTÁ CONTINUAMENTE A CURVAR. PORTANTO, A BALA NUNCA CHEGA AO CHÃO!



CLARO QUE ISTO APENAS FUNCIONA QUANDO NÃO HÁ RESISTÊNCIA AO AR PARA TRAVAR A BALA (NEM OBSTÁCULOS A 1,5 m DE ALTITUDE). ESTA EXPERIÊNCIA ILUSTRA O PRINCÍPIO DO MOVIMENTO DOS SATÉLITES. OS SATÉLITES SÃO LANÇADOS ACIMA DA ATMOSFERA COM A AJUDA DE FOGUETES. DEPOIS SÃO REORIENTADOS: É-LHES COMUNICADA UMA VELOCIDADE HORIZONTAL APROPRIADA PARA QUE A CURVATURA DA TERRA COMPENSE A SUA QUEDA.

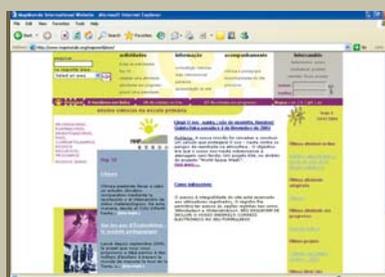


DA MESMA FORMA, O NOSSO SATÉLITE NATURAL, A LUA, CAI CONTINUAMENTE, MAS SEM NUNCA CHEGAR A CAIR NA TERRA! A LUA MANTÉM INALTERADA A SUA ALTURA EM RELAÇÃO À TERRA (A ÓRBITA DA LUA É PRATICAMENTE CIRCULAR).

Larry Gonick e Art Huffman, *A Física em Banda Desenhada*, Gradiva, 2005

SÍTIO DO TRIMESTRE

WWW.MAPMONDE.ORG



Destinado aos docentes do 1º ciclo do ensino básico e outros formadores, cientistas e pais interessados na renovação do ensino das ciências, o sítio <http://www.mapmonde.org/> pretende "apoiar todos aqueles que desejarem praticar as ciências na sala de aulas, juntando para isso os recursos pedagógicos e favorecendo o intercâmbio entre os diversos actores do

ensino das ciências e da tecnologia no mundo".

O sítio está estruturado em quatro áreas:

Actividades: Contém recursos para consulta de actividades *on-line* (recursos testados na sala de aulas e copiáveis), para actividades em curso (documentos de trabalho à espera de validação, por completar e/ou a testar). Estes recursos são propostos pelos próprios utilizadores que aceitem partilhar o seu trabalho.

Depois de uma primeira fase de teste, são validados por um comité editorial e colocados em acesso livre. Podem então evoluir, ser comentados, e/ou serem adaptados ao contexto cultural e educativo de cada país.

Informação: espaço onde é apresentado o projecto MapMonde.

Acompanhamento: disponibiliza ajuda metodológica e científica para os docentes que desejam pôr em prática as diversas actividades sugeridas. Contém documentação e guias que ajudam ao desenvolvimento do próprio sítio.

Intercâmbio: espaço onde os interessados podem participar de projectos comunitários do sítio e entrar em contacto com outros membros da comunidade docente. Esta área contém ainda vários instrumentos pedagógicos para os docentes, como livros, CDs, endereços da Internet, material e programas recomendados pelos utilizadores do sítio.



CARTAS DOS LEITORES

Li no "Público" um artigo sobre o Ano Internacional da Física e o estado do ensino da Física em Portugal e não pude deixar de vos escrever...

Chamo-me Ana, tenho 17 anos, frequento o 12.º ano e estudo Física. Acredito que, nos dias de hoje, eu e os meus colegas sejamos uma raridade, porque lutamos dia após dia por ter a possibilidade de frequentar aulas de Física na nossa escola. Eu explico melhor... Ando numa escola com poucos alunos (700 e poucos, do 7.º ao 12.º), numa zona rural, perto da Guarda, e no último ano a grande maioria opta por disciplinas como Biologia e Química, por darem acesso aos tão ambicionados cursos de Medicina. Os alunos que escolhem Física têm uma conotação um pouco negativa porque são geralmente alunos que se "arrastam" durante alguns anos para fazerem a disciplina e contribuem, tristemente, para a "média" nacional. Foi por isso uma grande surpresa quando eu, aluna de vários 18 e 19, declarei optar por Física e estar a pensar seguir uma carreira na área da engenharia.

O problema veio quando, a meio do ano passado, se levantou a hipótese de não haver Física este ano na escola, por falta de alunos. Eu e uns colegas (muito poucos, na verdade) caminhamos quase todos os dias para o Conselho Executivo tentando tudo para que tal não acontecesse. Felizmente conseguimos.

Éramos apenas dez em Setembro e, após algumas desistências, somos agora ainda menos: só seis... Metade está pela segunda ou terceira vez a fazer a disciplina (por serem de informática não têm alternativa, ao contrário de nós, na área científica). A outra metade (a que lutou, comigo, para a turma abrir) frequenta-a por vocação e verdadeira paixão.

Tive a sorte de ter uma professora excepcional que me mostrou as maravilhas de uma disciplina como esta; este ano, lecciona Química à minha turma e transmite uma

grande paixão naquilo que faz. Foi, talvez, graças a ela, que hoje tenho a certeza que é disto que realmente gosto. Não tem muitos anos de ensino, não é professora há décadas, como professores mais famosos por esse país fora, mas considero que é uma professora que todos deveriam ter, pelo menos uma vez na vida. Valeria a pena! Pelo rigor, pela exigência e sobretudo pela dedicação a nós, alunos, e à sua evidente paixão.

Hoje, aluna de Física numa escola (e num país) que discrimina os alunos de Física, com o pior horário de todo o 12.º ano e um dos piores de toda a escola, com Física sempre aos últimos tempos, com imensos furos a meio do dia, o que me vale deve ser mesmo a paixão. "Abanada", interrogada por meio mundo (porque não hei-de eu ser médica como os meus pais?!), olhada como ET por uma escola inteira, obrigada a ter Técnicas de Biologia (por não haver alunos para ter Técnicas de Física ou de Química), sobrevivo porque tenho um grande objectivo e uma paixão ainda maior.

Paixão é talvez o que mais importa em Física. Ambiciono um lugar em Engenharia Aeroespacial no Instituto Superior Técnico. Espero que tanta luta valha a pena. A Física, essa, sei que não me irá desiludir!

Ana Margarida Raposo
a_pinto_raposo@hotmail.com

Por iniciativa de alguns países, entre os quais Portugal, 2005 foi proclamado pela Organização das Nações Unidas (ONU) Ano Internacional da Física. A Sociedade Portuguesa de Física (SPF) desempenha um papel fulcral nas várias iniciativas a desenvolver. Este espaço noticia estas iniciativas.



A "Gazeta" agradece o envio de informação sobre acções no âmbito do Ano Internacional da Física para Sandra Costa.

scosta@teor.fis.uc.pt

ANO INTER- NACIONAL DA FÍSICA 2005

"PHYSICS FOR TOMORROW"
LANÇAMENTO OFICIAL DO ANO INTERNACIONAL
DA FÍSICA



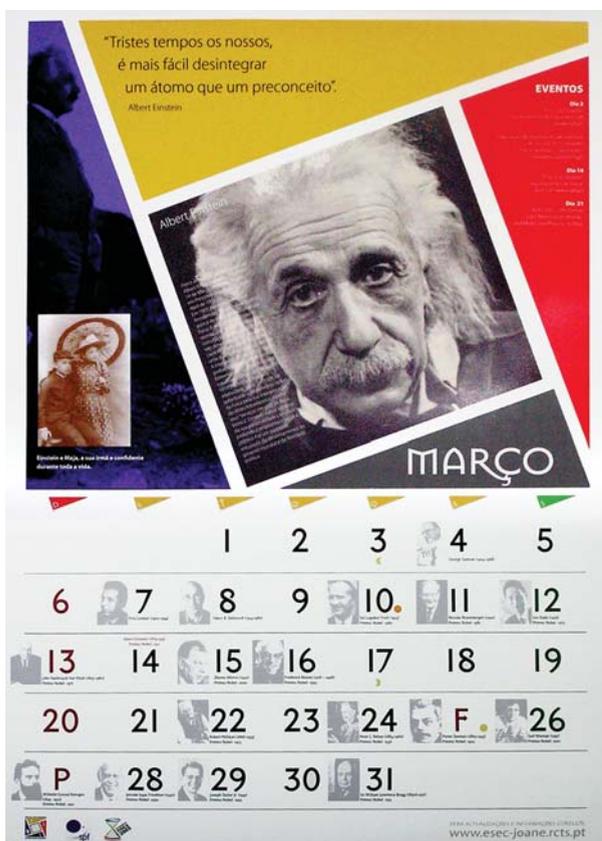
"Physics for Tomorrow"

Mil e quatrocentos participantes, entre os quais oito Prémios Nobel (sete da física e um da química), personalidades do mundo científico e empresarial e cerca de quinhentos estudantes de setenta países, participaram na conferência "Physics for Tomorrow" que se realizou de 13 a 15 de Janeiro, na sede da UNESCO em Paris, e que assinalou o lançamento oficial do Ano Internacional da Física.

A delegação portuguesa foi constituída pelo Secretário de Estado da Ciência e Inovação, um dos oradores da sessão inaugural, pelo Secretário de Estado da Educação, pelo Comissário Nacional para o Ano Internacional da Física 2005 e Presidente da Sociedade Portuguesa de Física, por 10 professores e por 17 estudantes de Física e de Engenharia Física escolhidos pelos respectivos Departamentos de acordo com critérios definidos pelos organizadores e pela Sociedade Portuguesa de Física.

Durante a conferência, debateram-se tópicos de grande actualidade, entre os quais: o ensino da Física; o papel desta disciplina no progresso científico, na inovação tecnológica e na sustentabilidade do desenvolvimento, a Física e as ciências da vida, as novas tendências da Física e as questões em aberto.

CONCURSO CALENDÁRIO 2005 DE FÍSICA



Várias turmas do ensino secundário, por todo o país, aderiram ao desafio lançado pela Sociedade Portuguesa de Física para a elaboração de um calendário, de parede ou de mesa, em que aparecessem associados aos diversos dias, semanas ou meses, eventos relevantes da física. Os trabalhos submetidos a concurso foram analisados por um júri constituído por dois investigadores de História da Física, um especialista da área artística e um membro da Direcção da Sociedade Portuguesa de Física. A apreciação e selecção dos calendários foi feita de acordo com os seguintes critérios: rigor científico, qualidade e quantidade de informação e composição artística.

A turma B do 11º ano da Escola Secundária Padre Benjamim Salgado de Vila Nova de Famalicão foi a vencedora deste concurso. O professor que coordenou a turma recebeu uma viagem a Berna para participar na Conferência Internacional *Trends in Physics*. A turma recebeu um computador e os alunos DVDs de jogos e livros da Editora Gradiva.

Foram ainda atribuídas três menções honrosas:

- a 1ª menção honrosa à turma I do 12º ano da Escola Secundária Engenheiro Calazans Duarte da Marinha Grande;
- a 2ª menção honrosa às turmas 1 e 2 do 12º ano da Escola Secundária de Gondomar;
- a 3ª menção honrosa à turma H do 11º ano da Escola Secundária de Monserrate de Viana do Castelo.

PALESTRAS DA SPF PARA O ANO INTERNACIONAL DA FÍSICA

No sítio da Sociedade Portuguesa de Física (<http://www.spf.pt>) pode consultar-se a lista de palestras destinadas a alunos e professores do ensino básico e secundário, a alunos do ensino superior e à população em geral, oferecidas pelos docentes dos Departamentos de Física de algumas das universidades portuguesas, no âmbito do Ano Internacional da Física 2005.

JORNADAS DE ENGENHARIA - A ENGENHARIA E O ENSINO DA MATEMÁTICA E DA FÍSICA

A Delegação do Centro da Ordem dos Engenheiros promoveu, no dia 29 de Janeiro no Luso e em colaboração com as Sociedades Portuguesas de Física e de Matemática, as Jornadas de Engenharia. Debateu-se o ensino da Física e da Matemática na formação de um futuro engenheiro. Fizeram parte da mesa o Engenheiro Celestino Quaresma, Presidente da Delegação da Ordem dos Engenheiros, os Doutores Dias Urbano e José Paixão, representantes da Sociedade Portuguesa de Física, e os Doutores João Queiró e Ercília da Costa e Sousa, em representação da Sociedade Portuguesa de Matemática.

O Engenheiro Celestino Quaresma salientou que a formação científica de um engenheiro é condição necessária, mas não suficiente, para o exercício da sua profissão. Essenciais são ainda a criatividade e a inovação, que são a base da competitividade das empresas. Realçou a importância de cativar os jovens para o estudo da Física e da Matemática, para que não se acentue mais a degradação da qualidade dos estudantes de engenharia.

Em consonância com estas ideias, os intervenientes nestas jornadas manifestaram preocupações relativamente:

- às consequências das sucessivas reformas curriculares que têm ocorrido no ensino básico e secundário, em particular no que diz respeito à preparação que é dada aos estudantes nas áreas da Física e da Matemática;
- à Matemática que deve ser ministrada aos estudantes de engenharia e às metodologias a utilizar, tendo em conta que as capacidades computacionais postas ao dispor dos engenheiros permitem aplicar modelos físico-matemáticos

cada vez mais complexos a problemas de engenharia, incrementando as necessidades de formação;

- à implementação da Declaração de Bolonha e suas possíveis consequências.

Foi ainda realçada a declaração de 2005 como Ano Internacional da Física em reconhecimento da importância desta ciência e do pensamento científico no mundo moderno, e o impacto que esta iniciativa poderá ter, a nível nacional, para cativar os jovens para a física e as engenharias.

Anunciou-se a realização de umas jornadas nacionais congéneres, para o próximo mês de Setembro, ainda integradas na programação do Ano Internacional da Física.

SEMANA DA FÍSICA



**INSTITUTO
NUN'ALVRES**

No Instituto Nun' Alvres (Santo Tirso) teve lugar de 21 a 25 de Fevereiro, e no âmbito da comemoração do Ano Internacional da Física, a Semana da Física. Esta iniciativa teve como intuito despertar a curiosidade pela prática das Ciências, e em particular pela Física, promover a criatividade, a transdisciplinaridade e o envolvimento e a participação de toda a Escola e comunidade envolvente.

Das várias actividades desenvolvidas ao longo da semana, destacam-se:

- Declamação de poemas de António Gedeão.
- Espectáculo de Dança Contemporânea, que teve como base o *contact improvisation*: prática corporal desenvolvida pelo dançarino norte-americano Steve Paxton, discípulo de Merce Cunningham. Esta consiste na progressão harmoniosa de duas ou mais pessoas no espaço, em movimentos influenciados por vários factores, tais como: o tempo, a aceleração, a velocidade inicial, o ritmo, o peso, os pares acção-reacção, etc.
- Apresentação de experiências interactivas de Física em diversos *stands* por instituições de ensino superior.
- Projecção de filmes dedicados a vários tópicos de ciência na Praça Einstein.
- *Peddy-paper* - Física², dinamizado pelos docentes de Físico-Química.
- "Física com Livros", que pretendeu dar a conhecer obras e autores, assim como biografias de alguns físicos.

- Ciclo de palestras:

- "Do átomo aos raios X e às microondas", Cacilda Moura (Universidade do Minho).
- "Isolamento Sonoro na Construção Civil", Eng.º Manuel Fonseca.
- "A magia da visão", Sérgio Nascimento (Universidade do Minho).
- "O Tempo e o Universo", Luís Cunha (Universidade do Minho).
- "Alterações Climáticas", Jorge Mendes (Universidade do Minho).

- Apresentação da peça de teatro "Uma explicação militar sobre um eclipse", ensaiada por João Regueiras e com a participação de alunos.

- Sessões no Planetário Portátil - *Starlab* (Centro de Astrofísica da Universidade do Porto), integradas no programa "Astronomia nas Escolas".

- Sessões sobre Prevenção e Segurança Rodoviária, com a colaboração da PSP, recorrendo-se à física para compreender, por exemplo, a importância dos dispositivos de segurança nos automóveis.

Foram, ainda, divulgados em vários *stands* os trabalhos realizados pelos alunos em diferentes áreas disciplinares. O Departamento de Línguas Estrangeiras apresentou biografias de físicos ingleses e franceses, trabalhos de pesquisa sobre nomenclatura de origem inglesa, tabelas de conversão do sistema imperial e decimal, e artefactos como, por exemplo, uma réplica da calculadora de Pascal.

O Departamento de Português/Latim divulgou um trabalho sobre Etimologia da Linguagem Científica que consistiu num glossário etimológico dos principais termos utilizados na disciplina de Físico-Químicas.

O grupo de Ciências Naturais associou-se à Semana da Física, dando o seu contributo com a exposição de trabalhos sobre os temas: descoberta dos raios X, evolução e aplicação dos raios X à saúde, ecografia aplicada ao desenvolvimento embrionário.

Poderá encontrar no sítio <http://www.semanafisica.blogspot.com> informações mais detalhadas sobre as diversas actividades dinamizadas no Instituto Nun' Alvres.

CALENÁRIO DA FÍSICA ON-LINE

No sítio do Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (<http://www.fc.up.pt/fis/>) está disponível on-line o Calendário da Física. Assim, diariamente, poderá ficar a saber mais sobre a efeméride da física que constitui o acontecimento do dia. Encontrará, ainda, as páginas referentes aos vários acontecimentos dos meses e dias anteriores.

FISICUM 2005



O Departamento de Física da Escola de Ciências da Universidade do Minho promoverá, no âmbito do Ano Internacional da Física e ao longo do ano de 2005, o programa FISICUM-2005, que consiste num conjunto de iniciativas tais como palestras, exposições e concursos científicos. Do programa destacamos:

- Exposição de material didáctico de escolas secundárias de Guimarães, que decorreu de 1 a 15 de Março, no Posto de Turismo da cidade de Guimarães. Pretende-se com esta iniciativa divulgar o património dos laboratórios das escolas da cidade e mostrar a evolução do ensino experimental ao longo dos tempos, em especial no que diz respeito ao magnetismo e à electricidade.

- Exposição "Física na cidade", que estará patente na cidade de Braga de 1 de Abril a 31 de Julho. Esta exposição está organizada em três temas: Física Clássica, Física do século XX e Física para o século XXI. Estes serão apresentados ao público através de 20 a 25 painéis colocados em diversos espaços da cidade como, por exemplo, cafés, hipermercados, bancos. Poder-se-á encontrar, igualmente, painéis alusivos a alguns dos físicos mais influentes desde a Antiguidade até ao limiar do século XXI.

- Concurso "Física em Acção", que tem como objectivo a apresentação, a exploração e a experimentação da Física, envolvida nos fenómenos do nosso quotidiano, por parte de alunos do 2º e 3º ciclos do ensino básico e do ensino secundário. Decorrerá de 29 de Abril a 1 de Maio no Parque de Exposições de Braga.

- Concurso "Lançamento de projecteis". Neste concurso serão considerados dois escalões: no 1º escalão participarão alunos que frequentam o 2º e 3º ciclos do ensino básico e do ensino secundário e no 2º escalão alunos que frequentam a Universidade do Minho. O desafio, lançado aos alunos de ambos os escalões, consiste em construir uma máquina de lançamento de projecteis. No dia 1 de Maio os dispositivos a concursos serão apresentados no Estádio 1º de Maio e avaliados nas modalidades de alcance e de precisão.

Para mais informações consultar: <http://www.fisica.uminho.pt/fisicum2005>

EXPOSIÇÃO RADIOACTIVIDADE α β γ : SINAIS DA NATUREZA NO PORTO

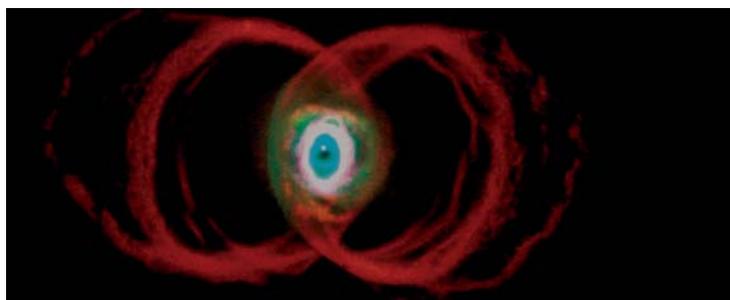
Esta exposição foi patrocinada pela organização europeia NuPECC (Nuclear Physics European Collaboration Committee). É apresentada em três grandes cubos, iden-

tificados como α β γ , abordando múltiplas questões: A Radioactividade e o Universo, a Radioactividade e a Natureza, A Radioactividade e as Aplicações.

Desenvolvida em três laboratórios europeus, IN2P3 (Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules, França), INFN (Istituto Nazionale di Física Nucleare, Itália), GSI (Gesellschaft für Schwerionenforschung, Alemanha), esteve patente não só naqueles países como em alguns outros, nas correspondentes línguas. A tradução portuguesa foi preparada no Museu de Ciência da Universidade de Lisboa, onde a exposição esteve patente nos últimos meses.

No Porto, à "exposição internacional" foi possível juntar uma câmara de nevoeiro (que também esteve, por empréstimo, na exposição de Lisboa), algum equipamento das primeiras décadas de trabalho em radioactividade, fotografias, livros, e outros suportes de informação. Ao invocar nomes de alguns físicos recordou-se que o primeiro português a estagiar no Laboratório Curie, em 1914, foi um jovem assistente da então recém-criada (1911) Faculdade de Ciências do Porto, Manuel Marques Teixeira de Oliveira (1889-1967).

A Exposição, patente de 9 de Fevereiro a 16 de Março de 2005, pôde ser visitada de segunda a sábado, das 10 às 17 horas. Esta iniciativa foi uma das acções programadas para assinalar, no nosso país, o Ano Internacional da Física.

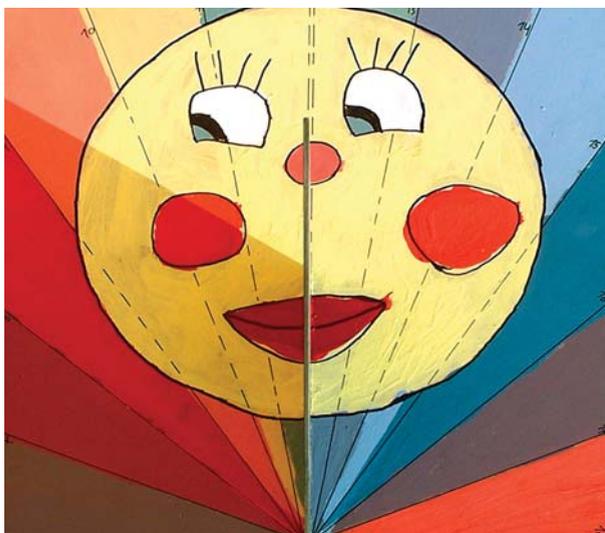


EXPOSIÇÃO DE RELÓGIOS DE SOL: À SOMBRA DO TEMPO

Estará patente ao público, de 13 a 19 de Junho na Praça Gomes Teixeira da cidade do Porto, a exposição Relógios de Sol: À sombra do tempo. Esta exposição será uma reposição de uma outra organizada pela Secção de Astronomia, Divulgação e Estudo do Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da Escola Superior de Tecnologia de Viseu. Nesta exposição serão expostos 31 relógios de sol, acompanhados por esquemas explicativos do respectivo funcionamento.

Como evento paralelo, o Doutor Luís Bernardo (Professor do Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto) proferirá no dia 18 de Junho a palestra "À sombra do tempo - medindo o tempo com relógios de sol" sobre a história dos relógios de sol.

Com esta iniciativa pretende-se aumentar o apreço público pela ciência ligada à arte e a história.



ANO INTERNACIONAL DA FÍSICA NO CONCELHO DE LEIRIA

Como resultado de um trabalho de parceria entre diversas entidades (escolas do ensino básico, secundário e superior, Câmara Municipal, Casa - Museu João Soares, Órfeão de Leiria, Arquivo distrital, Biblioteca Municipal, Direcção Regional de Educação do Centro, Editora Gradiva, jornais e rádios locais), o concelho de Leiria terá um vasto conjunto de eventos para comemorar o *annus mirabilis* de Einstein.

Destacam-se as seguintes iniciativas:

- Concurso de trabalhos sobre Física/físicos, destinado aos alunos de qualquer grau de ensino do concelho de Leiria. Os trabalhos, a submeter a concurso, deverão ser de divulgação, podendo ser dedicados a um físico, a um tema específico de Física, ao papel desta ciência no dia-a-dia ou às comemorações do Ano Internacional da Física no concelho. Os trabalhos deverão ser entregues até 30 de Maio na Escola Secundária Francisco Rodrigues Lobo de Leiria.

- Concurso de cartazes, autocolantes e marcadores de livros, destinado aos alunos de qualquer grau de ensino do concelho. O tema geral deste concurso é o Ano Internacional da Física e, em particular, a sua comemoração no concelho de Leiria. Os concorrentes podem apresentar os seus trabalhos nas modalidades cartaz, autocolante ou marcador, simultaneamente. Os trabalhos deverão ser entregues até 8 de Abril na Escola Secundária Francisco Rodrigues Lobo de Leiria.

- Concurso "Saber mais Física", em Abril, destinado a equipas de quatro alunos do ensino básico ou secundário.

-A feira "A Física e as vocações", a 21 e 22 de Abril, em que serão divulgadas as profissões ligadas à Física e estará patente uma exposição de invenções.

- "A Física na economia e no lazer", que será apresentada na Feira de Maio, no *stand* do Ano Internacional da Física.

- Cursos de Verão na Escola Superior de Tecnologias e Gestão, em Junho e em Julho, destinados a alunos e a professores do ensino básico e secundário.

- Exposição de livros de Física, em Junho, dinamizada pela Escola Secundária Francisco Rodrigues Lobo em parceria com a Biblioteca Municipal, e onde serão apresentados livros didácticos e de divulgação de Física.

Para mais informações consultar o sítio do Instituto Politécnico de Leiria: <http://www.ipleiria.pt/fisica2005>.

CICLO EINSTEIN

O Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa organiza, a partir do dia 14 de Março, o "Ciclo Einstein", com o seguinte programa:

- 14 de Março, "Cem anos de Teoria da Relatividade", Paulo Crawford (Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa)
 - 21 de Março, "Einstein e o nascimento da Mecânica Quântica", Augusto Barroso (Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa)
 - 4 de Abril, "Buracos negros e Física Fundamental", José Sande Lemos (Instituto Superior Técnico)
 - 11 de Abril, "Que diria Einstein da teletransportação?", João Lopes dos Santos (Faculdade de Ciências da Universidade do Porto)
 - 18 de Abril, "Einstein e o Universo Dinâmico", João Pedro Mimoso (Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa)
- As palestras decorrerão no Anfiteatro 8.2.38 - Edifício C8 da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, pelas 12 horas.

Para mais informações consultar: <http://fisica.fc.ul.pt/>.

SEMINÁRIOS "+FÍSICA"

O Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade Nova de Lisboa dinamiza, no âmbito das comemorações do Ano Internacional da Física, o ciclo de Seminários "+ Física". Terão lugar os seguintes seminários:

- 9 de Março, "A condensação de Bose-Einstein", Fernando Parente (Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa)
- 13 de Abril, "As interações de curto alcance: fraca e forte", Augusto Barroso (Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa)
- 11 de Maio, "Supercondutores e Superfluidos", Grégoire

Bonfait (Faculdade de Ciências da Universidade Nova de Lisboa)

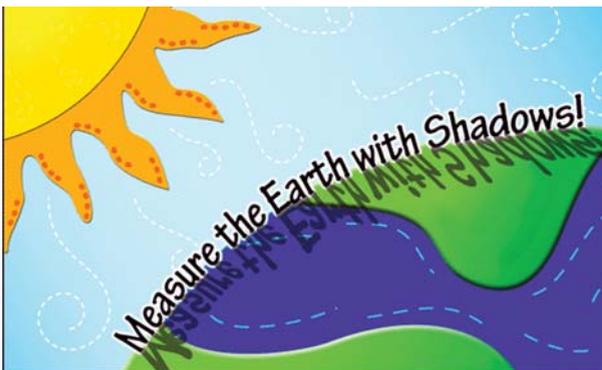
- 8 de Junho, "A Génese da Relatividade Generalizada", Paulo Crawford (Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa).

Os seminários decorrerão das 14 h 30 min às 15 h 30 min, na Sala dos Actos, no Edifício IV da Universidade Nova de Lisboa.

Para mais informações consultar: <http://www.df.fct.unl.pt/>.

RELEMBRANDO ERATÓSTENES

No ano lectivo 2003 / 2004 a Escola Secundária da Cidadela de Cascais e o Planetário do Rio de Janeiro iniciaram o projecto multidisciplinar - Revivendo Eratóstenes. Este projecto, cujo objectivo principal é inserir nos alunos na metodologia científica, demonstra que a partir de algum conhecimento de Geometria, Matemática, Geografia, Física e Astronomia é possível obter uma estimativa do tamanho do nosso planeta por um processo muito semelhante ao usado por Eratóstenes, 200 anos antes de Cristo.



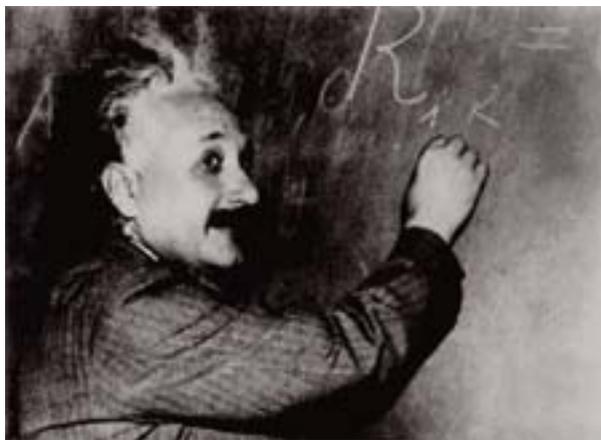
Na revista *Physics World*, em Setembro de 2002, esta experiência de Eratóstenes foi considerada como uma das dez mais belas experiências da Física. Os coordenadores deste projecto, Fernando Vieira e Paulo César Pereira (Planetário do Rio de Janeiro no Brasil) e Manuela Amaral (Escola Secundária da Cidadela), integrando-se nas comemorações do Ano Internacional da Física, decidiram alargar as participações nesta iniciativa a outros países, de modo a incutir nos alunos do ensino secundário o carácter internacional dos conhecimentos científicos e da partilha de dados. Várias escolas europeias de Espanha, França, Reino Unido, Alemanha, Bulgária e planetários do Brasil aderiram a esta iniciativa. Assim, de 14 a 18 de Março, ao meio dia solar de cada local e de cada país, cada grupo foi responsável por obter os seguintes dados, que deverão ser partilhados com os restantes grupos:

- Determinação da orientação geográfica usando o método de Vitruvius;
- Determinação da latitude;
- Determinação da diferença entre as longitudes dos dois grupos;

d) Finalmente, determinação do tamanho da Terra, fazendo uma escala numa bola.

Mais informações em <http://www.rio.rj.gov.br/planetario/eratostenes/english/era1.html>.

QUINTAS DA CIÊNCIA



Guilherme Valente, Jorge Dias de Deus e João Mário Mascarenhas, com o apoio da Câmara Municipal de Lisboa, das Bibliotecas Municipais e da Editora Gradiva, promovem o Quintas da Ciência. Esta iniciativa consiste numa série de colóquios subordinados ao tema "Einstein - um colóquio, um livro". Decorrerá, mensalmente, a uma quinta-feira, pelas 18 h 30 min na Biblioteca-Museu da República e da Resistência (Rua Alberto de Sousa, nº10-A em Lisboa) e em cada sessão será apresentado um livro por um físico:

- 31 de Março, José Mariano Gago sobre a obra $E=mc^2$ de David Bodanis.
- 28 de Abril, João Caraça sobre a obra *Os Relógios de Einstein, os Mapas de Poincaré* de Peter Galison.
- 26 de Maio, Filipe Duarte Santos sobre a obra *O Nosso Habitat Cósmico* de Martin Rees.
- 30 de Junho, Jorge Dias de Deus sobre a obra *Viagens no Espaço-Tempo* de Jorge Dias de Deus.
- 7 de Julho, Jorge Buescu sobre a obra *Entre a Física e a Matemática* a partir das obras *O mistério do Bilhete de Identidade e Outras Histórias* e *Da Falsificação de Euros aos Pequenos Mundos* de Jorge Buescu.

Poder-se-á visitar uma Feira do Livro Científico patrocinada pela Editora Gradiva.

Para mais informações contactar: m.resistencia@netcabo.pt.

ANO INTERNACIONAL DA FÍSICA EM COIMBRA

O Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, no âmbito das comemorações do *annus mirabilis* de Einstein e através da Associação para o Desenvolvimento do Departamento de Física, dinamizará um conjunto de actividades de divulgação

científica, de âmbito nacional e regional. Com essas actividades pretende-se contribuir para mudar a atitude de indiferença que muitas vezes os jovens manifestam face à Física, dando destaque às inúmeras aplicações das Ciências Físicas.

Descrevem-se a seguir, algumas das actividades previstas:

- Concurso de fotografia "Imagens da Física"

Este concurso de fotografia digital, dedicado ao tema "Imagens da Física", destina-se a estudantes e professores do 3º ciclo do ensino básico e do ensino secundário (categorias a) e b) e ao público em geral (categoria a)). Os concorrentes poderão apresentar trabalhos nas seguintes categorias:

- a) Fotografia de fenómenos físicos naturais.
- b) Fotografia de uma montagem experimental ou experiência de Física.

Os participantes deverão submeter o trabalho fotográfico em formato digital e apresentar uma descrição sucinta do fenómeno físico fotografado com a respectiva explicação. A recepção de trabalhos decorrerá de Abril a Outubro de 2005. Serão atribuídos 6 prémios (1º, 2º e 3º lugar) nas duas categorias e 10 menções honrosas em cada categoria. Os vintes e seis trabalhos premiados serão exibidos numa exposição que decorrerá no Departamento de Física da Universidade de Coimbra durante o mês de Dezembro de 2005.

- **Ciência dos 6 aos 10 - Workshops** de formação de professores Realizar-se-à um conjunto de *workshops*, destinadas a professores do 1º ciclo do ensino básico em que os participantes efectuarão diversas actividades experimentais relacionadas com os conteúdos programáticos dos actuais programas de ciências do 1º ciclo.

- Einstein na Web

Estarão disponíveis no sítio do Departamento de Física conteúdos didácticos sobre temas relacionados com os trabalhos de Einstein, nomeadamente a teoria da relatividade, o efeito fotoeléctrico e o movimento browniano. Os conteúdos contemplam simulações dos fenómenos e descrição dos fundamentos físicos envolvidos.

- Construção de um pêndulo de Foucault

Será instalado um pêndulo de Foucault no Departamento de Física. A concepção do projecto, a sua execução e instalação estarão a cargo do núcleo de estudantes do Departamento.

- Pergunte a um Físico!

Será implementada uma plataforma na *Internet* através da qual o público em geral e os estudantes e professores, em particular, poderão colocar *on-line* questões sobre qualquer assunto de Física. Todas as questões colocadas e as respectivas respostas estarão disponíveis *on-line* no sítio do Departamento.

- Aprender Física com os *Mindstorms*

O sistema *Mindstorms*, desenvolvido pela *Lego Systems*, consiste num módulo com um microprocessador

autónomo, associado a sensores e actuadores variados, e de um pacote de *software* de programação gráfica, que permite desenvolver programas de controlo para pequenos robôs construídos com peças de *Lego*. O Departamento de Física pretende realizar, com alunos do 8º ao 11º anos de escolaridade, sessões com este sistema. Nestas serão ensinados vários princípios básicos de Física e iniciar-se-ão os jovens no controlo e aquisição de dados, assim como em alguns aspectos de robótica elementar. A duração de cada sessão experimental será de 4 horas por turma.

- Actividades *hands-on* para jovens

Esta iniciativa engloba um conjunto de sessões experimentais "mãos na massa" destinadas a turmas do 10º e/ou 11º anos de escolaridade. As actividades previstas são:

- "Constrói o teu receptor de rádio!", em que os alunos aprenderão a utilizar o osciloscópio, os conceitos básicos sobre ondas electromagnéticas e sua utilização em comunicação a longas distâncias.
- "Faraday e Lenz", em que os alunos apreenderão e verificarão experimentalmente as leis da indução electromagnética e o funcionamento de dispositivos como o transformador eléctrico, o travão electromagnético, o dínamo de uma bicicleta.
- "Electrostática e electrómetros", em que os alunos construirão o seu gerador electrostático e um detector de carga, sensível à polaridade, com o auxílio de um electrómetro simples de tecnologia FET.

Cada uma destas actividades terá a duração de 4 horas por turma.

- **Ciclo de conferências "Os desafios da Física para o século XXI"**, de Maio a Novembro, em que se abordarão alguns dos problemas em aberto na Física e que se julgam mais relevantes no início deste novo século.

Para obter informações mais detalhadas sobre o programa do Departamento de Física para as comemorações do Ano Internacional da Física consultar: <http://www.fis.uc.pt/>



NO MUNDO DA LUA



A Secção de Astronomia, Astrofísica e Astronáutica da Associação Académica da Universidade de Coimbra (SAC) dinamizou, durante o mês de Março, a actividade "No Mundo da Lua". Este evento contribuiu para divulgar o papel que a Astronomia teve e tem no mundo actual. Estiveram patentes as Exposições:

- Astro Fotografia com o que de melhor se faz na captura de imagens do nosso Universo.
- exposição de pintura, mostrando como a arte encontra na Astronomia a sua musa inspiradora.
- exposição sobre a Lua, composta por fotografias, ilustrações e documentos explicativos sobre este astro, em que se tenta reflectir sobre a evolução do conhecimento da Lua até aos nossos dias.

Foram, ainda, organizadas as "Conversas lunáticas" sobre os temas:

- "Astronomia versus Astrologia", no dia 2 de Março.
- "O impacto da Astronomia na evolução da sociedade", no dia 9 de Março.
- "Investigação em Portugal" no dia 16 de Março.
- "A adaptação do ser humano às condições espaciais", no dia 23 de Março

Para além das actividades já referidas, no dia 16 de Março foi representada a peça "No Mundo da Lua". Para mais informações contactar a SAC através do e-mail: sac@ci.aac.uc.pt.

ROBÓTICA 2005

Decorrerá na cidade de Coimbra, de 29 de Abril a 1 de Maio, no Pavilhão Multiusos, a quinta edição do Festival Nacional de Robótica. Este tem como objectivo promover a ciência e a tecnologia junto dos jovens através da realização de competições e demonstrações relacionadas com Robótica Móvel.

No âmbito das comemorações do Ano Internacional da Física, o Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, juntamente com a Sociedade Portuguesa de Física, associam-se a este evento, organizando um atelier de física. Este constituirá um espaço de divulgação das aplicações tecnológicas desta ciência à robótica.

Em paralelo com estas actividades, decorrerá um Encontro Científico com apresentação de artigos e palestras, por parte de convidados, relacionados com ou aplicados à Robótica Móvel. Os temas que o Encontro Científico pretende tratar incluem:

- Navegação e controlo de robôs móveis
- Sensores e integração sensorial
- Robótica cooperativa
- Sistemas em tempo real
- Sistemas de desenvolvimento de missão
- Inteligência artificial aplicada à robótica
- Visão por computador
- Arquitecturas de integração de sistemas
- Aplicações de robótica móvel

Destacam-se as seguintes conferências:

- 29 de Abril, "Uma viagem ao mundo dos robôs" em que a Doutora Maria Isabel Ribeiro (Instituto de Sistemas e Robótica, Instituto Superior Técnico) dará resposta às questões: O que é e como funciona um robô? Para que servem os robôs? Será que só se usam robôs na indústria? Como serão os robôs daqui a 50 anos e de que modo estarão integrados na vida dos cidadãos?
- 30 de Abril, "A Física e a Robótica", em que o Doutor Carlos Fiolhais, num trabalho de colaboração com o Doutor Norberto Pires, divulgará a física envolvida na robótica de uma forma acessível.
- 1 de Maio, "Recent Experiments on Robotics at the RobinLAB", apresentada pelo Doutor Pedro Sanz, da Universidade Jaime I de Espanha.

Será, também, distribuído aos participantes deste festival uma Agenda do Ano Internacional da Física editada pela Universidade de Coimbra.

Para mais informações consultar:
<http://robotica2005.dem.uc.pt/>.

robótica 2005

5º Festival Nacional de Robótica

● ENCONTRO CIENTÍFICO

● CLASSE JÚNIOR

Futebol Robótico (FRJ), Dança (DJ), Seguimento de Pista (SP),
Busca e Salvamento (BS) / Rescue Junior (RJ)



● CONDUÇÃO AUTÓNOMA



● FUTEBOL ROBÓTICO

Tamanho Médio (FRM) e Pequeno (FRP)



COIMBRA

29 de Abril a 1 de Maio de 2005

<http://robotica2005.dem.uc.pt>



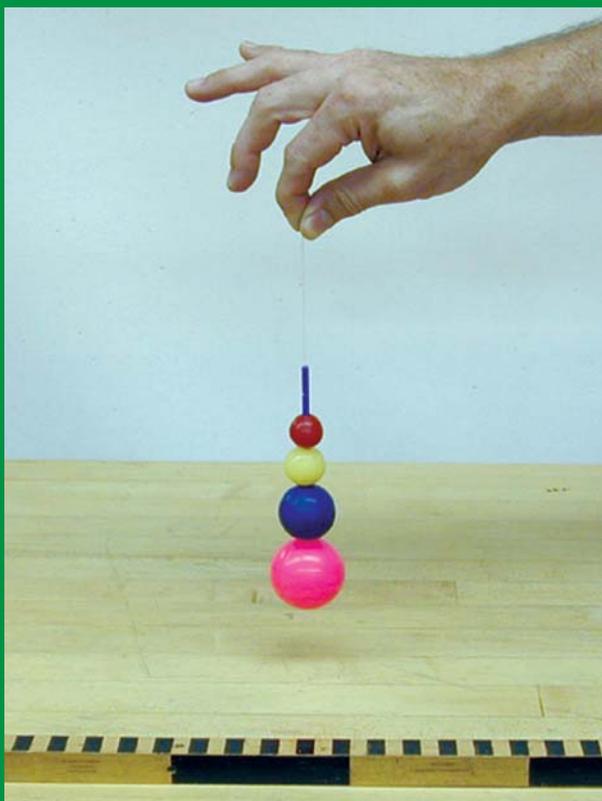
Organização:



Apoio:



NOS PRÓXIMOS NÚMEROS



BRINCANDO COM O "ASTROBLASTER"

P. Patrício e J. P. Silva

O ENSINO SUPERIOR HOJE

Ludwig Streit