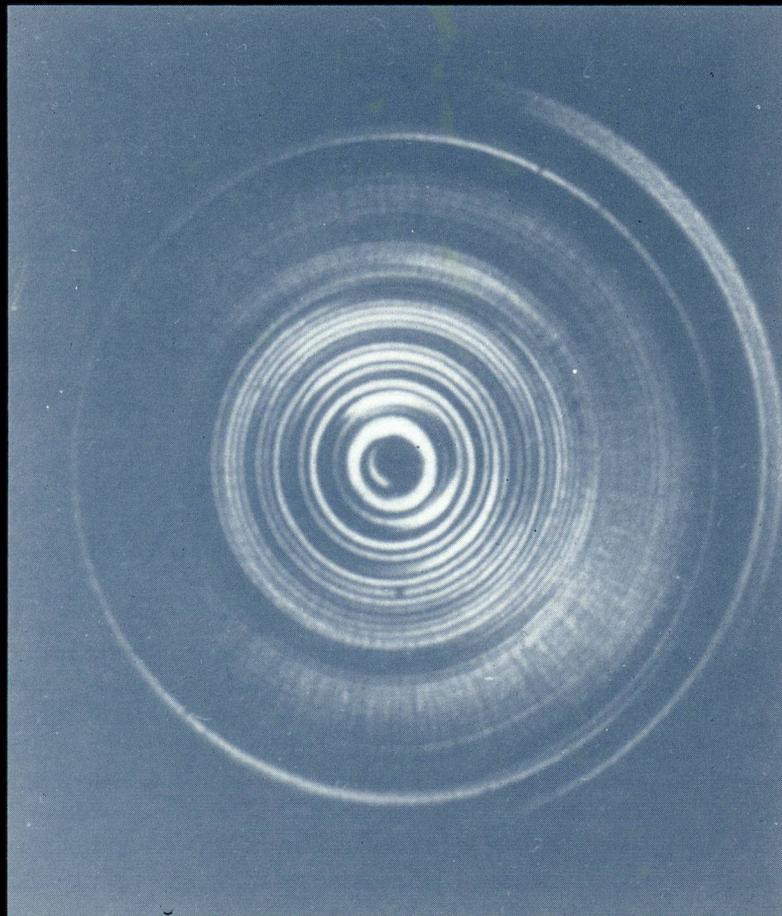


G A Z E T A D E

# FÍSICA

---



SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA

VOL. 18 • FASC. 2 • 1995 • PUBLICAÇÃO TRIMESTRAL • ABRIL/JUNHO

## Gazeta de Física

Propriedade da Sociedade Portuguesa de Física

ISSN: 0367/3561

Registo na DGCS n.º 107280 de 13/5/80

Depósito Legal n.º 51419/91

Publicação Trimestral

N.º 2 — 1995

### Redacção e Administração

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

Telefone (01) 7973251

Fax (01) 7952349

### Directores

João Bessa Sousa (FCUP)

Filipe Duarte Santos (FCUL)

Carlos Fiolhais (FCTUC)

### Comissão de Redacção e Administração

Carlos Matos Ferreira (IST)

Margarida Telo da Gama (FCUL)

Ana Maria Eiró (FCUL)

Maria Margarida Cruz (FCUL)

### Preparação e Revisão de Texto

Florbela Martins Teixeira

### Execução Gráfica

Imprensa Portuguesa

Rua Formosa, 108-116 — 4000 Porto

Telefone (02) 2002466

Fax (02) 2015105

Tiragem: 2000 exemplares

Preço avulso: 600\$00

Assinatura anual (quatro números):

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

35 US dólares (estrangeiro)

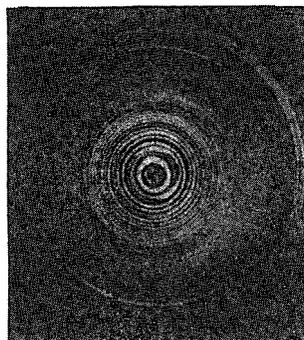
Publicação subsidiada pela Junta Nacional  
de Investigação Científica e Tecnológica

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

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

**Na capa:** *Anéis de vidro (macrofotografia, Leo Derlak).* Anéis concêntricos de vidro, cada um deles ligado ao seu vizinho, constituem o núcleo de uma «préforma» utilizada no fabrico de fibras ópticas. O núcleo em camadas (apresentado aqui em corte) e o revestimento exterior, uniforme, de vidro, tem um diâmetro de cerca de um centímetro. Após estiramento formará uma fibra, fina como um cabelo, com o comprimento de muitos quilómetros.

Fotografia da exposição temporária «MicroScapes ... como a Ciência pode parecer Arte» (AT & T), Museu de Ciência do Porto (até 25 de Julho de 1995)



## SUMÁRIO

2

LEIS DE CONSERVAÇÃO E SIMETRIA

João da Providência

6

CONCEITOS ELEMENTARES DE ÓPTICA GEOMÉTRICA E SUA APLICAÇÃO  
À ÓPTICA DA VISÃO

João A. Ferreira e Sandra Franco

12

FANTASMAS NA NATUREZA

A. Guérin Moreira

17

APRENDER FÍSICA... COM O COMPUTADOR

20

COMO VOLTAR A CRIAR A ENERGIA DO SOL?

22

CIÊNCIA ATRAVÉS DA EUROPA

24

NOVOS PROGRAMAS EUROPEUS PARA A JUVENTUDE

25

FÍSICA NA EUROPA: CONCLUSÕES DA CONFERÊNCIA DE GENT

28

OLIMPIADAS DE FÍSICA

# LEIS DE CONSERVAÇÃO E SIMETRIA

JOÃO DA PROVIDÊNCIA

Departamento de Física, Universidade de Coimbra

**As leis de conservação desempenham em Física um papel primordial. Através de argumentos de carácter elementar mostra-se que estas leis são manifestações de propriedades de simetria dos sistemas físicos. Deste modo, surge a Simetria como o princípio unificador da grande variedade de leis de conservação.**

As leis de conservação desempenham em Física um papel primordial. Recordemos, para apenas referirmos alguns exemplos familiares, a Conservação da Energia, a Conservação da Quantidade de Movimento, a Conservação do Momento Angular, a Conservação da Massa, a Conservação da Carga Eléctrica, etc. Na génese da formulação das leis de conservação encontra-se, como não podia deixar de ser, a adesão sem reservas ao método experimental, segundo o paradigma galiliano. São múltiplos os factores que contribuem para o progresso científico. Assim, importa, também, não ignorar a influência das concepções teórico-filosóficas dominantes. E não foi livre de escolhos o caminho que conduziu ao entendimento que hoje temos destas leis.

Admite-se, presentemente, que subjacente a uma lei de conservação se encontra sempre uma simetria do sistema físico. E o que é simetria? Segundo Weil, simetria «é uma ideia pela qual o homem através dos tempos tem tentado compreender e criar ordem, beleza e perfeição». Quando se refere a um sistema físico, significa invariância das suas propriedades face a determinada transformação. Os princípios de invariância e as leis de conservação estão intimamente relacionados. A célebre matemática alemã do princípio do século, Emmy Noether, provou um teorema famoso que sintetiza essa relação. Se uma certa simetria contínua é realizada em determinado sistema físico, então as propriedades desse sistema obedecem a uma

lei de invariância correlativa. O Teorema de Noether caracteriza precisamente a(s) quantidade(s) cuja conservação é implicada por determinada simetria.

Se aplicarmos uma translação ou rotação espaciais ao equipamento científico utilizado em determinada experiência de Física, e, em seguida, repetirmos essa mesma experiência, esperamos, naturalmente, que os resultados se não alterem. Assim acontece, de facto. Quando afirmamos que o espaço é homogéneo e isotrópico apenas queremos significar que as coisas se passam deste modo. E quando afirmamos que o tempo é homogéneo apenas queremos significar que voltaremos a obter os mesmos resultados se, volvidos segundos ou anos, repetirmos a experiência efectuada.

É sabido que a Conservação da Energia se encontra associada à homogeneidade do tempo. Afirmar que o tempo é homogéneo equivale a admitir que as propriedades dos sistemas físicos não dependem da origem dos tempos, isto é possuem simetria de translação no tempo. Consideremos, a título de exemplo, o modelo mecânico constituído por uma partícula de massa  $m$  sujeita à acção dum potencial externo  $V(\mathbf{r}, t)$ , função da posição  $\mathbf{r}$  e do instante  $t$ . Veremos que, se o tempo é homogéneo para este sistema, então o potencial não depende de  $t$ . Com efeito, se mudarmos a origem dos tempos do instante 0 para o instante  $t_0$  o potencial passa a ser  $V(\mathbf{r}, t - t_0)$ . Mas, ser o tempo é homogéneo, significa que esta operação não vai

Leis de Conservação e Simetria

Translações, Rotações e Reflexões

Conservação de Energia

Conservação da Quantidade de Movimento

Conservação do Momento Angular

Conservação da Carga Eléctrica

alterar o potencial. Por conseguinte,  $V(\mathbf{r}, t - t_0)$  não depende de  $t_0$ . Isto é,  $V(\mathbf{r}, t - t_0) = V(\mathbf{r}, t)$ . Fazendo  $t = t_0$ , vem  $V(\mathbf{r}, t_0) = V(\mathbf{r}, 0)$ . O potencial tem no instante  $t_0$  o mesmo valor que tinha no instante 0. De acordo com um resultado elementar, a energia mecânica, soma das energias cinética  $\frac{1}{2}mv^2$  e potencial  $V(\mathbf{r})$ , conserva-se, isto é, não varia com o tempo.

Analogamente, a Conservação da Quantidade de Movimento, está associada à homogeneidade espacial (inexistência de origem preferencial das coordenadas espaciais) e a Conservação do Momento Angular está associada à isotropia do espaço, (inexistência de direcções espaciais preferenciais). Por exemplo, conserva-se o momento angular dum ponto material sujeito à acção dum campo central (campo isotrópico) e a quantidade de movimento dum ponto material livre.

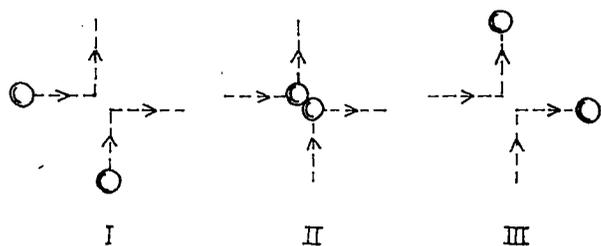


Fig. 1 — A quantidade de movimento conserva-se no choque de duas bolas de bilhar.

A homogeneidade e isotropia do Espaço são propriedades tão importantes que, sem elas, como observou Wigner, ficaria comprometida a própria existência do património científico que a humanidade usufrui. Com efeito, se as equações que descrevem as propriedades dos sistemas físicos flutuassem ao sabor do instante convencionalmente designado por inicial, ou do ponto arbitrariamente escolhido para origem das coordenadas, então careceria a Natureza da regularidade necessária à catalogação e à própria existência de leis científicas.

O estudo das relações entre Leis de Conservação e Princípios de Simetria assume uma importância crucial em Física, porque conduz a uma classificação natural dos fenómenos conhecidos e permite prever novos fenómenos.

Simetrias há que não são susceptíveis duma interpretação no contexto de transformações geométricas do espaço euclidiano ordinário. Embora as respectivas operações de simetria tenham lugar em espaços abstractos onde apenas o espírito nos permite penetrar, são bem palpáveis as respectivas consequências. Encontra-se neste caso a simetria isotópica. São manifestações desta simetria, característica das interacções fortes, a existência de certas famílias de partículas (ou de estados quânticos) que, embora apresentando cargas eléctricas diferentes, pos-

suem massas (energias) muito próximas. Por exemplo, a família do Nucleão com os seus dois membros, Protão e Neutrão, ou a família do mesão  $\pi$  com os seus três membros,  $\pi^+$ ,  $\pi^-$  e  $\pi^0$ . São igualmente manifestações desta simetria as semelhanças notáveis entre as propriedades dos chamados «núcleos espelho» (mirror nuclei, por exemplo, o Lítio  ${}^7\text{Li}$  (3 prótons e 4 neutrões) e o Berílio  ${}^7\text{Be}$  (4 prótons e 3 neutrões)). Do mesmo modo que os multipletos atómicos, cuja existência é revelada pela presença de um campo magnético, constituem indícios seguros da conservação do momento angular e, portanto, da isotropia do espaço físico, assim também a existência dos multipletos de isospin constituem indícios da isotropia do espaço isotópico. Para que uma simetria se manifeste é necessário quebrá-la ligeiramente. Esse papel é desempenhado no caso atómico, relativamente à simetria de rotação, pelo campo magnético e no caso nuclear, relativamente à simetria isotópica, pelas interacções electromagnética e fraca.

O estudo das leis gerais que regem as reacções químicas conduziu à teoria atómica de Dalton e à classificação dos elementos de Mendeleev. Do mesmo modo, o estudo de reacções entre hádrões (designação genérica das partículas sujeitas à interacção forte, tais como nucleões, e mesões) conduziu à descoberta de novos hádrões em elevado número, de novas regularidades e de novas leis de conservação as quais, por sua vez conduziram à classificação desses mesmos hádrões, e daqueles que progressivamente iam sendo descobertos, revelando a surpreendente existência de famílias. Essas famílias puderam ser consideradas manifestações de novas simetrias até então desconhecidas. Inversamente, admitindo-se que determinada lei de simetria é obedecida, podem ser identificadas as famílias de partículas que lhe estão associadas, e previstas as propriedades dos seus membros. Deste modo Gell-Mann previu, em 1969, a existência duma partícula de vida curta até então desconhecida, a ressonância  $\Omega^-$ . A simetria  $SU(3)$ <sup>1</sup> postulada por Gell-Mann conduziu à descoberta dos quarks, os «átomos» (isto é, os constituintes «indivisíveis») da estrutura dos hádrões.

Claro que importa submeter sempre à mais rigorosa ratificação experimental todas as leis de conservação, por mais convincentes que sejam os princípios de simetria em que se apoiam. Coincidirão as leis do mundo real com as respectivas reflexões num espelho?

Se substituirmos o equipamento científico utilizado em determinada experiência de Física por novo equipa-

<sup>1</sup> Designa-se por  $SU(3)$  o conjunto das transformações de vectores de componentes complexas que preservam os comprimentos dos vectores. Essas transformações têm lugar em lugares que aos sentidos são inacessíveis. A descoberta do mundo subatómico é uma aventura empolgante onde a imaginação se torna realidade.

mento cujas peças são a imagem no espelho das peças iniciais, e, em seguida, repetimos essa mesma experiência, esperamos, naturalmente, que os resultados se não alterem, ou melhor, que os novos resultados sejam a reflexão no espelho, dos antigos. Quando se afirma que o espaço possui simetria de reflexão, apenas se quer significar que as coisas se passam deste modo. Nada fazia prever que assim não fosse.

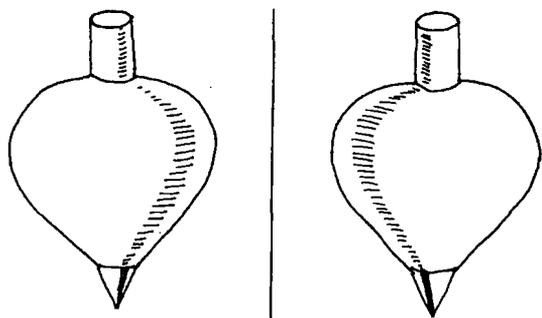


Fig. 2 — O pião em repouso não se distingue da sua imagem no espelho.

E, na verdade, a esta simetria obedecem as interações forte e electromagnética e não é fácil conceber que o mesmo se não passe com as restantes leis físicas. Foi por isso com viva surpresa e estupefacção que, em 1956, a comunidade científica tomou consciência, através de resultados experimentais respeitantes a processos dominados pela interação fraca, da assimetria da Natureza relativamente à operação de reflexão. O chamado enigma  $\theta - \tau$ , que consistia no facto de duas partículas então supostamente distintas, mas que possuíam massas e modos de formação idênticos, decaírem, uma em dois e outra em três mesões  $\pi$ . Tudo apontava para que o  $\theta$  e o  $\tau$  não passassem de dois modos de declínio distintos da mesma partícula. No entanto, tal interpretação, que por um lado parecia ser naturalmente imposta pela evidência experimental, não se coadunava com um pretenso princípio da conservação da paridade, já que os sistemas de dois e três mesões  $\pi$  constituídos pelos produtos do declínio possuíam paridades opostas. Se a paridade se conserva, um estado par ou simétrico (estado associado ao valor próprio  $+1$  do operador paridade) não pode dar origem a um estado ímpar ou antissimétrico (estado associado ao valor próprio  $-1$  do operador paridade). Do mesmo modo que a função  $\sin x$  é ímpar, o mesão  $\pi$  tem paridade intrínseca  $-1$ . A paridade da função  $\sin^n x$ , ou do sistema de  $n$  mesões  $\pi$  é  $(-1)^n$ . Não se compreendia que  $n$  pudesse ser ora par ora ímpar. Lee e Yang resolveram o enigma postulando que a paridade não era conservada nas interações fracas. Apesar da ausência de suporte experimental convincente, a fé na simetria de reflexão era tal que a maior parte da comu-

nidade científica rejeitou de início, a sugestão de Lee e Yang. Feynman fez uma aposta de 50 contra 1 na conservação da paridade. Não tardou que a conjectura de Lee e Yang fosse confirmada sem sombras para dúvidas por factos experimentais. Em 1957, Wu estudou o declínio  $\beta$  do Cobalto 60 que se dá segundo a reacção  ${}^{60}\text{Co} \rightarrow {}^{60}\text{Ni} + e^- + \bar{\nu}_e$ . O cobalto da amostra utilizada na experiência estava polarizado, isto é, o seu spin encontrava-se orientado segundo uma direcção determinada. Observou-se que a emissão de electrões resultantes do declínio era claramente assimétrica em relação ao plano equatorial do Cobalto. Feynman perdeu a aposta.

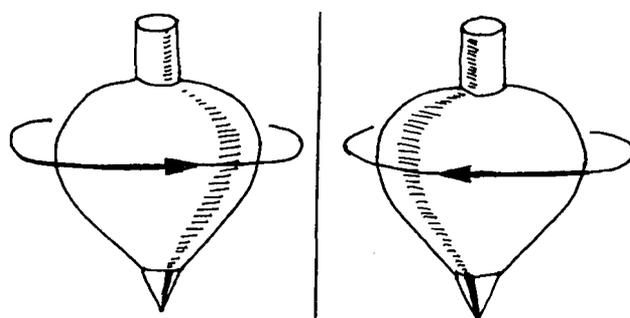


Fig. 3 — Quando o pião roda, o sentido da rotação permite distinguir o pião da sua imagem no espelho. Analogamente, o declínio  $\beta$  do Cobalto 60 não coincide com a reflexo no espelho.

Faremos agora uma breve referência à conservação da carga eléctrica. Que princípio de simetria está subjacente a esta lei de conservação? Nos finais do Sec. XIX, Maxwell unificou as teorias clássicas da electricidade e do magnetismo, mas para isso teve de as modificar e completar de modo a torná-las compatíveis com a equação de continuidade, que exprime a conservação da carga eléctrica. O estado electromagnético do vácuo é caracterizado por um potencial escalar  $\phi$  e por um potencial vector  $\mathbf{A}$ . Estes campos, no entanto, não são univocamente determinados. Se a  $\phi$  subtrairmos a derivada temporal dum campo escalar arbitrário  $\chi$  e a  $\mathbf{A}$  adicionarmos o gradiente de  $\chi$ , os novos campos, obtidos por meio desta transformação denominada transformação de calibre, descrevem o mesmo estado do vácuo. Dizemos que o vácuo electromagnético possui simetria de calibre. Esta propriedade generaliza o facto bem conhecido de ser irrelevante a origem dos potenciais (isto é, o valor arbitrariamente atribuído ao potencial de determinado ponto tomado para referência) e está intimamente relacionada com a conservação da carga eléctrica. Por sua vez, a invariância de calibre do electromagnetismo é completada pela invariância de calibre quântica que afirma a arbitrariedade da fase da função de onda (factor multiplicativo de módulo unitário). Prova-se que a invariância de calibre assegura a con-

servação da norma da função de onda, pelo que permite atribuir a esta função o significado de amplitude da densidade de probabilidade, ou, se preferirmos, da densidade de carga. A invariância de calibre determina, pois, a conservação da carga eléctrica. Admite-se presentemente que as forças fundamentais da natureza, electromagnética, fraca, forte e gravítica, são geradas por mecanismos análogos.

Em Física, o tema da Simetria é inesgotável. Esta nota apenas deve ser entendida como um convite à visita de uma área fascinante da Ciência. Lembramos que não nos detivemos a referir a relevância de muitas outras operações, tais como a conjugação de carga, relativa à troca entre matéria e antimatéria, a inversão no tempo, a transformação de Lorentz, etc. Em jeito de conclusão, diremos apenas que a Simetria é, por excelência, a chave dos segredos da Natureza.

## BIBLIOGRAFIA

- WEYL, Hermann — *Symmetry*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1952.
- MORRISON, P. — *The overthrow of parity*, *Sc. American*, 196, no. 4, 45-53 (1957).
- WIGNER, E. P. — *Violations of Symmetry in Physics*, *Scientific American*, 213, no. 6, 26-36 (1965).
- NAMBU, Y. — *Quarks — Frontiers in Elementary Particle Physics*, World Scientific, Philadelphia, Singapore, 1985.
- BARROSO, A. — *De que são feitas as coisas*, Colóquio/Ciência 2 3 (1988), Fundação Calouste Gulbenkian.
- FEYNMAN, R. P. — *O que é uma lei Física?*, Gradiva 1989 (em especial caps. 3 e 4)

João da Providência é professor catedrático da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Departamento de Física.

## COMEMORAÇÕES DOS 100 ANOS DA DESCOBERTA DOS RAIOS X

### SIMPÓSIO CIENTÍFICO

#### A Radiação X no Desenvolvimento Científico e na Sociedade

Lisboa, 28 a 30 de Setembro de 1995

No âmbito das Comemorações da descoberta de Röntgen, pretende-se congregiar todos os utilizadores de radiação X para fins científicos e técnicos, dando divulgação ao trabalho realizado pelas diferentes instituições. As sessões decorrerão no Anfiteatro Manuel Valadares, Museu de Ciência da Universidade de Lisboa, Rua da Escola Politécnica.

O Simpósio incidirá essencialmente sobre os seguintes temas: 1. Aspectos históricos; 2. Espectroscopias de Raios X: absorção e emissão; 3. Análise química por fluorescência de Raios X; 4. PIXE e suas aplicações; 5. Difusão e difracção de Raios X, em monocristais, policristais, sistemas pouco ordenados; 6. Os Raios X na Arte e Arqueologia; 7. Os Raios X e a Química Forense; 8. Astronomia de Raios X; 9. Novas fontes de Raios X e novas tecnologias de aplicação; 10. Detectores de Raios X; 11. Radiografia e Fractografia; 12. Protecção contra radiação; 13. Outros.

Os temas serão tratados em conferência plenária, conferências convidadas, sessões orais (em número limitado) e painéis. Haverá ainda uma exposição de instrumentação. Pretende-se publicar um volume com as Actas do Simpósio, bem como o resultado de um levantamento sobre o trabalho científico realizado em Portugal neste domínio, nos últimos dez anos, e a instrumentação actualmente disponível, no País. No dia 29 de Setembro, sexta-feira, haverá um jantar-convívio, para o qual se devem inscrever todos os que desejarem participar.

**Comissão Científica:** Luís Alte da Veiga, Manuel Alves Marques, João Bessa Sousa, Fernando Bragança Gil, Ana Margarida Damas, Celso Figueiredo Gomes, José Lima Faria, José Lopes Nunes, Luís Roldán, Lídia Salgueiro.

**Comissão Organizadora:** L.Fraser Monteiro, Pres., M.Teresa Ramos, M.Ondina Figueiredo, M.Arménia Carrondo.

#### Boletim de Inscrição

Nome _____	Instituição _____
Morada _____	
Código Postal _____	
Pretende apresentar:	Comunicação Oral <input type="checkbox"/> Painel <input type="checkbox"/>
Título _____	
Tema n.º _____ (data limite para apresentação de resumos: 31 de Julho)	
Desejo participar no jantar (5000\$00 por pessoa) <input type="checkbox"/>	
Inscrição: 7000\$00 (até 30 de Junho); 10 000\$00 (posterior); 5000\$00 estudantes	
Devolução, em caso de desistência, até 31 de Julho.	
Junto cheque n.º _____, sobre _____	
no valor de _____	
em nome de Maria Teresa Ramos (informações: fax 01 - 795 42 88).	
<b>Enviar para: Prof. Doutora M. Teresa Ramos, Centro de Física Atómica, Av. Prof. Gama Pinto, 1699 Lisboa Codex.</b>	

# CONCEITOS ELEMENTARES DE ÓPTICA GEOMÉTRICA E SUA APLICAÇÃO À ÓPTICA DA VISÃO

JOÃO A. FERREIRA e SANDRA FRANCO

Departamento de Física, Universidade do Minho, 4710 Braga

Recorrendo ao uso dos conceitos simples de vergência de um feixe e de potência dum sistema óptico, obtêm-se as principais características das imagens formadas por sistemas ópticos refractivos simples. As conclusões são exemplificadas pela formação de imagens no olho, referindo-se as ametropias mais correntes e a sua correcção óptica.

## 1. Introdução

O sentido da visão é provavelmente o mais importante no homem. Embora o mecanismo da percepção visual envolva aspectos fisiológicos e psicológicos de grande complexidade, a primeira etapa da percepção dum objecto é o fenómeno puramente físico da formação duma imagem na retina.

É assim natural que uma primeira abordagem do ensino da óptica tenha em conta o processo de formação de imagens, dada a importância deste processo na vida quotidiana. A formação de imagens com características semelhantes às dos objectos pode ser tratada essencialmente através da óptica geométrica, isto é, da propagação rectilínea e do conceito associado de raio luminoso. Não obstante, nunca deverá ser esquecida a natureza ondulatória da luz e o facto de que a óptica geométrica é uma aproximação, válida apenas quando a luz passa por aberturas ou encontra obstáculos cujas dimensões são grandes comparadas com o comprimento de onda da luz.

O ensino da óptica a nível elementar encontra algumas dificuldades, nomeadamente porque os alunos não têm ainda os conhecimentos de matemática, em particular de trigonometria, necessários para entender e utilizar completamente leis tão fundamentais como as leis de

Snell. O percurso da luz através duma lente, por exemplo, não pode ser convenientemente explicado.

Neste trabalho tentou mostrar-se que é possível obter de uma forma simples as posições e características das imagens, recorrendo apenas ao conceito de vergência de um feixe e tratando os sistemas ópticos refractivos como "caixas pretas", que modificam as características do feixe, de acordo com a sua potência. A determinação da potência a partir das características físicas do sistema óptico, bem como uma abordagem mais rigorosa do percurso da luz, são normalmente tratadas num nível mais avançado.

O olho é um sistema ideal para aplicação destes conceitos, uma vez que na maior parte dos casos se pode recorrer a um modelo muito simplificado para descrever o seu comportamento óptico e que permite obter resultados de bastante qualidade.

## 2. Frentes de onda e raios

As ondas emitidas por uma fonte luminosa pontual propagam-se, num meio homogéneo, com a mesma velocidade em todas as direcções (ondas esféricas). Nestas condições, qualquer ponto do espaço é atingido por um raio luminoso

A óptica geométrica

Vergência e potência óptica

Lentes, imagens e aberrações

Óptica da visão

Óculos e lentes de contacto

Visão binocular

proveniente dessa fonte, que é a direcção perpendicular à frente de onda nesse ponto. Se considerarmos as ondas emitidas por uma fonte pontual, os raios luminosos correspondentes divergem da fonte. Uma barreira com uma abertura permite seleccionar apenas uma porção da frente de onda, ou seja, um conjunto de raios ou feixe luminoso (fig. 1).

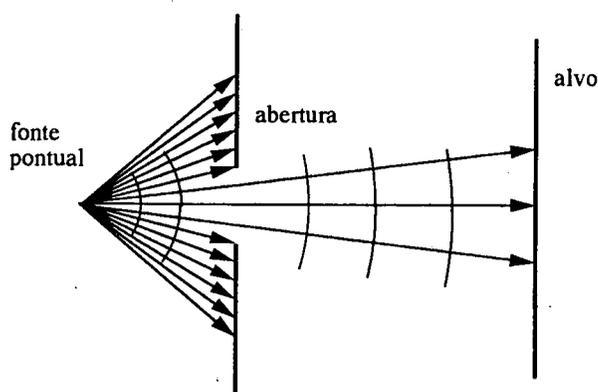


Fig. 1 — Frentes de onda e raios luminosos duma fonte pontual.

Para formar uma imagem pontual da fonte é necessário fazer convergir o feixe num ponto, usando para isso um dispositivo óptico, por exemplo, uma lente ou um espelho. Um objecto extenso pode ser considerado como um conjunto de fontes pontuais. A imagem do objecto é então o conjunto das imagens dos diferentes pontos (fig. 2).

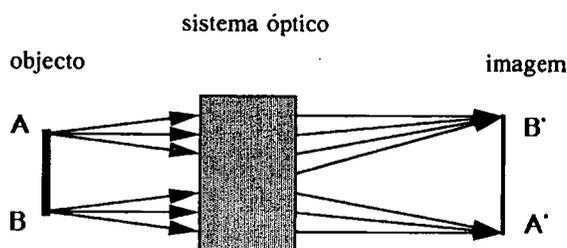


Fig. 2 — Formação duma imagem por um sistema óptico.

### 3. Vergência

Do ponto de vista óptico, um meio transparente é caracterizado pelo seu índice de refração,  $n$ , cujo valor é o quociente entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio, isto é

$$n = \frac{c}{v}$$

Assim, por exemplo,  $n \approx 1$  para o ar,  $n \sim 1,5$  para o vidro e  $n = 1,33$  para a água.

Define-se *vergência* da luz ( $V$ ) como uma quantidade que é numericamente igual ao produto da curvatura da frente de onda pelo índice de refração,  $n$ . Como a curvatura é o inverso do raio de curvatura, podemos escrever:

$$V = \frac{n}{q} \quad (1)$$

em que  $q$  é o *raio de curvatura* da onda (medido em metros). Para o ar, teremos, simplesmente

$$V = \frac{1}{q} \quad (2)$$

A vergência é medida em *dioptrias* ( $D$ ) e tem valor negativo para luz divergente e positivo para luz convergente. À medida que a onda emitida se afasta da fonte, o raio de curvatura vai aumentando e portanto a vergência diminui. Para distâncias muito elevadas entre a fonte e o observador (ou sistema óptico),  $q \rightarrow \infty$  e portanto a vergência é zero. Neste caso a onda é plana e os raios são aproximadamente paralelos.

### 4. Efeito duma interface na vergência

Uma superfície de separação ou interface curva entre dois meios modifica a vergência da onda incidente, uma vez que os raios são refractados em diferentes direcções. Para uma interface esférica e na região paraxial (isto é, para raios próximos do eixo óptico e com pequenas inclinações relativamente ao eixo), as ondas transmitidas para o 2.º meio são também esféricas. Neste caso podemos escrever:

$$V' = P + V \quad (3)$$

em que  $V$  e  $V'$  são as vergências da luz incidente e da luz transmitida para o 2.º meio, respectivamente e  $P$  é a *potência* da interface.

A potência da interface é dada por  $\frac{n' - n}{R}$ , em que  $R$  é o raio de curvatura da interface e  $n$  e  $n'$  são os índices de refração. A eq. (3) é então equivalente a

$$V' = \frac{n' - n}{R} + V \quad (4)$$

No caso particularmente importante em que a superfície de separação entre os dois meios é plana, teremos  $R = \infty$  e consequentemente  $P = 0$ . Uma interface plana não modifica portanto a vergência da onda. Porém, como o índice de refração se altera, a curvatura também se modifica. Considere-se, por exemplo, um objecto que se encon-

tra dentro de água a uma profundidade de 10 cm (fig. 3). A vergência da onda incidente junto à interface é  $V = -1,33/0,1 = -13,3$  D (eq. 1). A onda mantém o valor da vergência ao entrar no ar, mas como aqui o índice de refração é 1, o raio de curvatura passa a ser  $1/13,3 = 0,075$  m (eq. 2). Isto equivale a dizer que, para um observador no ar, o objecto parece estar a 7,5 cm da superfície da água (fig. 3). Esta é a posição da imagem (virtual).

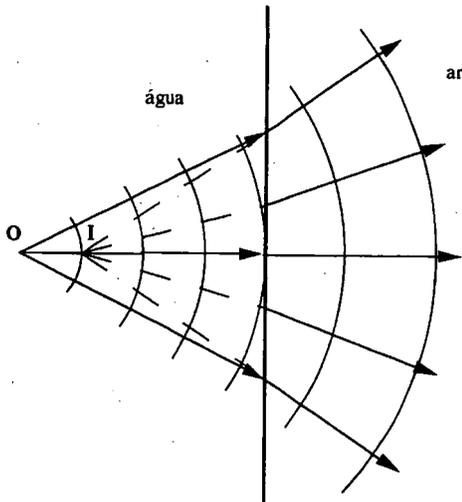


Fig. 3 — Efeito duma interface plana na propagação duma onda esférica; O-objecto, I-imagem.

## 5. Lentes

Uma lente é formada por duas interfaces, das quais pelo menos uma não é plana. Os raios que incidem numa lente são refractados duas vezes e emergem no ar com uma vergência modificada relativamente à inicial. Para pequenas espessuras, a forma da lente não influencia as suas propriedades convergentes ou divergentes e diz-se que a lente é delgada.

A potência duma lente delgada é dada pela expressão:

$$P = (n - 1) \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (5)$$

em que  $R_1$  e  $R_2$  são os raios de curvatura das faces da lente e  $n$  é o índice de refração da lente. Esta expressão admite que o meio exterior à lente é o ar.  $R_1$  e  $R_2$  são positivos se o centro de curvatura estiver à direita da lente e negativos no caso contrário. Admite-se que a luz incide da esquerda para a direita.

Ao inverso da potência chama-se *distância focal*.

A equação (3) é aplicável ao caso das lentes com a definição de potência dada pela eq. (5). O valor da potên-

cia é positivo para as lentes convergentes e negativo para as lentes divergentes.

A aplicação daquela expressão permite determinar facilmente a posição da imagem do objecto pontual. Por exemplo, ao colocar um objecto a 10 cm duma lente, a eq. (2) mostra que a vergência da luz incidente na lente é  $V = 1/(-0,1) = -10$  D. Se a lente tiver uma potência de +15 D, teremos

$$V' = -10 + 15 = 5 \text{ D}$$

isto é, a luz passa a ser convergente e a imagem forma-se a  $1/5 = 0,2$  m da lente. Se o objecto estava à esquerda da lente, a imagem forma-se à direita (fig. 4). A equação (3) é válida para raios paraxiais e portanto aplicável para objectos não pontuais se forem de pequenas dimensões e/ou estiverem localizados longe da lente.

Pode mostrar-se que a ampliação lateral da lente (relação entre as dimensões da imagem e do objecto) é dada pela razão

$$M = V/V' \quad (6)$$

Um sinal negativo para  $M$  significa que a imagem é invertida em relação ao objecto. No exemplo anterior, teríamos  $M = -2$ , isto é, a imagem seria 2 vezes maior que o objecto e invertida.

Consideremos ainda duas outras situações:

a) Se o objecto estiver muito distante,  $V = 0$  e portanto  $V' = P$ . A distância a que se forma a imagem neste caso é a distância focal. Para a lente considerada,  $V' = 15$  D, isto é, a imagem forma-se a 0,066 m da lente.

b) Suponhamos agora que o objecto se encontra a 5 cm da lente em questão. Neste caso, ter-se-á

$$V' = -20 + 15 = -5 \text{ D}$$

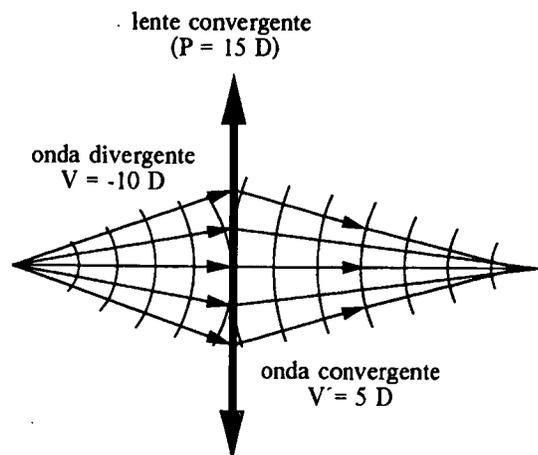


Fig. 4 — Efeito duma lente convergente na propagação duma onda esférica.

Assim, apesar de se tratar duma lente convergente ou positiva, a sua potência não é suficiente para fazer convergir os raios. A imagem forma-se do mesmo lado que o objecto e localiza-se no ponto de encontro dos prolongamentos dos raios, à distância de 20 cm da lente. Trata-se duma imagem virtual, que nunca pode ser projectada num alvo. É, além disso, uma imagem direita e menor que o objecto, dado que  $M = 0,25$ .

A mesma situação ocorre para uma lente divergente, cuja potência é negativa. Neste caso, a imagem é virtual, qualquer que seja a posição do objecto real. Ao interpor uma lente divergente no percurso dos raios provenientes duma fonte qualquer, nunca é possível projectar uma imagem da fonte, em contraste com o que ocorre com uma lente convergente.

## 6. Imagens reais e virtuais

Um objecto é real sempre que os raios divergem a partir desse objecto. Uma imagem é real se os raios convergirem a partir do sistema óptico. No caso da lente convergente anteriormente referida, se  $|V| < 15D$ , isto é, se o objecto estiver a mais de 6,67 cm da lente, a imagem é real, sendo virtual se  $|V| > 15D$ , o que corresponde a colocar o objecto mais próximo da lente que aquele valor.

Uma imagem real pode ser projectada num alvo. Por exemplo, o sistema de lentes dum projector de diapositivos forma uma imagem real do diapositivo. Uma máquina fotográfica forma na película uma imagem real do objecto fotografado. Uma imagem virtual não se pode projectar num alvo, mas é visível pelo olho, porque este faz convergir na retina os raios divergentes provenientes dessa imagem, formando na retina uma imagem real, que é posteriormente interpretada pelo cérebro. O processo é idêntico ao que ocorre quando se vê um objecto.

## 7. Aberrações e função das aberturas

Um sistema óptico perfeito ou estigmático faria corresponder sempre uma imagem pontual a um objecto pontual. As lentes mais usadas são esféricas e são só estigmáticas para pontos situados no eixo óptico. Para raios afastados do eixo óptico, as ondas produzidas já não são esféricas e convergem em pontos diferentes. Esta é a origem de fenómenos que são designados globalmente por aberrações monocromáticas. Para evitar estes efeitos que degradam a qualidade da imagem, limita-se o feixe a uma zona próxima do eixo óptico, usando anteparos com aberturas. Num sistema óptico é desejável que a abertura seja tão pequena quanto possível, para as condições de luminosidade presentes.

## 8. O olho

O olho é um órgão bastante complexo mas, do ponto de vista óptico as estruturas mais importantes são as que se encontram representadas na figura 5.

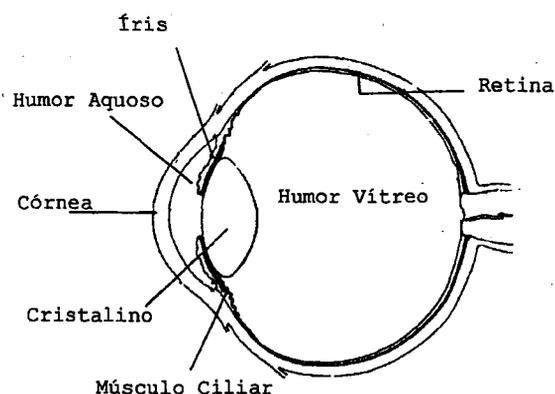


Fig. 5 — Esquema simplificado do olho humano.

A córnea é um tecido transparente cujo índice de refração é 1.376. Funciona como uma lente convergente de aproximadamente +43 D.

Outra lente existente no olho é o cristalino. Tem uma forma biconvexa e o seu índice de refração varia entre 1.41 no centro e 1.38 na periferia. Sob a acção do músculo ciliar, o cristalino pode alterar a sua forma e consequentemente a sua potência. Este mecanismo tem o nome de *acomodação*. Entre a córnea e o cristalino existe uma substância líquida a que se dá o nome de humor aquoso ( $n = 1.336$ ).

Imersa neste líquido encontra-se a íris que serve de diafragma de abertura controlando a quantidade de luz que entra no olho. O diâmetro da abertura circular (a pupila) pode variar entre 2 e 8 mm. A quantidade de luz que penetra no olho depende da área da pupila. Em condições de iluminação muito fraca, a pupila tem o seu diâmetro máximo (cerca de 8 mm). Quando a iluminação é intensa, este valor reduz-se a cerca de 2 mm. No primeiro caso, o olho capta  $(8/2)^2 = 16$  vezes mais luz que no segundo. É claro que um maior diâmetro da pupila corresponde à entrada de mais raios oblíquos, o que, devido às aberrações já mencionadas, reduz a qualidade da imagem. Deste modo, a visão nocturna será em geral menos perfeita que a visão diurna. Há aspectos relacionados com a transmissão da imagem ao cérebro que não estão aqui a ser considerados, nomeadamente o facto de que os receptores de luz que constituem a retina são diferentes nos dois casos.

O humor vítreo ( $n = 1.337$ ) é uma substância gelatinosa que se encontra na câmara posterior do olho.

A retina é o "alvo" onde se deve formar a imagem, sendo constituída por um mosaico de células sensíveis à luz (fotoreceptores).

### 8.1. O olho como lente delgada

O percurso dos raios pode ser calculado com rigor aplicando a equação (4) sucessivamente para as diferentes interfaces. No entanto, é muitas vezes suficiente adoptar um modelo muito simplificado que admite que o olho é constituído por uma lente delgada positiva (equivalente ao conjunto córnea - cristalino) e um alvo, que corresponde à retina. Neste modelo admite-se que existe ar entre a lente e o alvo. A potência da lente é tipicamente de +60 D. Tratando-se duma lente positiva, a imagem formada é naturalmente invertida em relação ao objecto.

Diz-se que um olho é *emétrope* quando a imagem dum objecto distante se forma na retina sem acomodação, isto é, sem qualquer esforço. Isto equivale a dizer que o *ponto remoto* do olho se localiza no infinito.

A acomodação acima referida corresponde a um aumento de potência da lente delgada. O olho necessita acomodação quando o objecto está próximo e portanto quando o feixe que atinge a lente é divergente. Uma vez que a vergência da luz que sai da lente não pode ser modificada (o tamanho do olho não se altera), o aumento de potência da lente deverá compensar a divergência da luz incidente. Recorrendo à eq. (3), pretende-se que  $V'$  seja constante e portanto quando  $V$  varia,  $P$  deverá variar em sentido contrário. O *ponto próximo* é o ponto para o qual se forma uma imagem na retina quando a acomodação é máxima, isto é, quando a potência da lente atinge o seu valor máximo. Se o ponto estiver ainda mais próximo do olho, não é possível obter uma imagem nítida. A perda de capacidade de acomodação corresponde à *presbiopia ou vista cansada*. Ao passar da visão dum objecto longínquo para um objecto próximo, ou vice versa, há necessidade de acomodar o mais rapidamente possível. Trata-se de uma situação que ocorre frequentemente, por exemplo, durante uma aula em que o aluno tem que fixar alternada e repetidamente o quadro e o caderno.

Num olho emétrope com um ponto próximo situado a 25 cm a luz proveniente dum objecto aí colocado chega ao olho com uma divergência de  $-4D$ . A potência do sistema córnea/cristalino deverá assim variar entre +60 D (formação da imagem de objectos muito distantes) e +64 D (objectos localizados no ponto próximo).

### 8.2. Ametropias e sua correcção (lentes de contacto e óculos)

A miopia é um tipo de ametropia em que a imagem do objecto longínquo se forma antes da retina (fig. 6). O olho míope é caracterizado por uma potência demasiado elevada. Assim, o feixe que atinge a retina é já divergente e

portanto a imagem dum ponto muito distante não é pontual mas sim circular (a forma circular é devida à forma circular da pupila). O ponto remoto situa-se a uma distância finita.

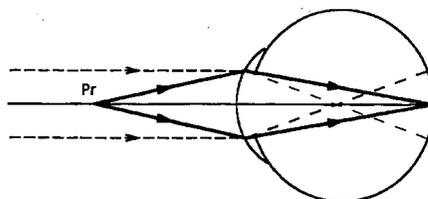


Fig. 6 — Percurso dos raios luminosos no olho míope.

A situação oposta designa-se por hipermetropia (fig. 7) e corresponde a uma potência insuficiente do olho e, nestas condições, a imagem de um objecto distante só se forma depois da retina. Ao encontrar a retina os raios ainda estão a convergir. Qualquer que seja a posição do objecto nunca se forma uma imagem nítida na retina. Isto corresponde a dizer que o ponto remoto é virtual e está atrás do olho.

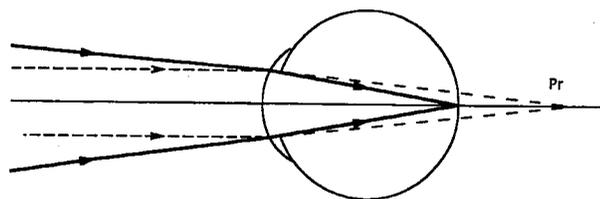


Fig. 7 — Percurso dos raios luminosos no olho hipermetrope.

Para compensar estes erros refractivos é necessário recorrer a lentes que alterem a vergência da luz incidente de modo a que a imagem se forme na retina.

No caso da miopia é necessário colocar uma lente que torne o feixe incidente divergente. Para isso tem que se utilizar uma lente negativa. Para compensação da hipermetropia é necessário recorrer a lentes positivas para fazer convergir o feixe incidente.

A potência da lente a utilizar depende do grau da ametropia e da distância ao olho a que se coloca essa lente, como se pode ver através dos dois exemplos numéricos seguintes.

Considere-se um olho míope com o ponto remoto a 125 mm. Como já foi dito, o objecto tem que estar neste ponto para que seja visto com nitidez. Como não é possível colocar todos os objectos a esta distância, é necessário recorrer a lentes que tornem o feixe proveniente do infinito ( $V = 0 D$ ) num feixe com a mesma vergência que teria se tivesse origem no ponto remoto. ( $V' = 1/-0.125 = -8.00 D$ ).

Se se utilizarem lentes de contacto, a sua potência pode ser deduzida utilizando a equação (3):

$$V' = V + P \quad P = -8.00 \text{ D}$$

Em vez de lentes de contacto podem-se utilizar óculos. Neste caso é necessário saber a que distância a que se colocam as lentes.

Se colocarmos os óculos a 12 mm do plano da córnea, a vergência neste ponto é dada pelo inverso da distância ao ponto remoto (ver figura 8) ou seja,

$$V' = 1/0.113 \quad V' = -8.84 \text{ D}$$

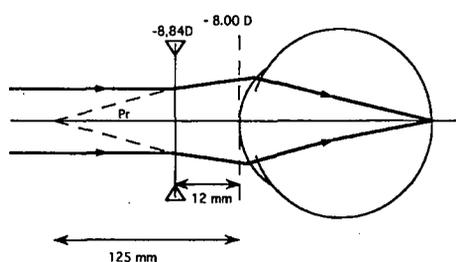


Fig. 8 — Correção da miopia com óculos e lentes de contacto.

E, mais uma vez utilizando a equação (3), pode-se concluir que a potência da lente tem que ser de  $-8.84 \text{ D}$ .

Daqui se pode concluir que um míope precisa de menos potência nas lentes de contacto do que se usar óculos.

Vejam agora o que se passa com os hipermetropes.

Se no caso da miopia era difícil colocar os objectos no ponto remoto, no hipermetrópe é completamente impossível fazê-lo pois o ponto remoto é virtual. Por isso, para que um hipermetrópe veja nítido um objecto distante sem acomodar é necessário recorrer sempre a lentes (fig. 9).

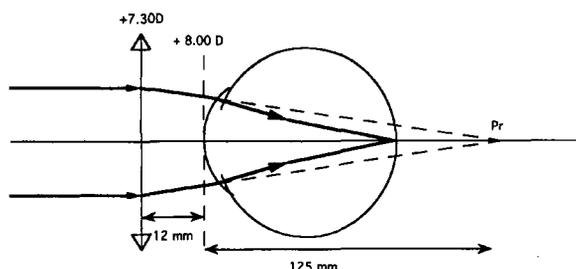


Fig. 9 — Correção da hipermetropia com óculos e lentes de contacto.

A vergência do feixe que incide no olho tem que ser igual à de um feixe que se dirige para o ponto remoto. Se considerarmos um caso em que o ponto remoto está 125 mm atrás do plano da córnea, a vergência do feixe nesse plano será:

$$V' = 1/0.125 = +8.00 \text{ D}$$

Para saber a potência que uma lente de contacto deverá ter basta utilizar a equação (3).

$$V' = V + P \quad P = +8.00 \text{ D}$$

Se utilizarmos óculos a 12mm, potência da lente será igual a vergência nesse ponto:

$$P = V' = 1/0.137 = +7.30 \text{ D}$$

Na hipermetropia as lentes de contacto têm que ter mais potência que os óculos.

### 8.3. Visão binocular

Retomando a eq. (6), que nos dá a relação entre as dimensões lineares da imagem e do objecto, consideremos um objecto à distância de 1 m dum olho emétrepe. Nestas condições,  $V = -1 \text{ D}$  e portanto  $m = -1/60$ . Assim, se o objecto tiver 12 cm de altura, a imagem retiniana terá uma dimensão de 2 mm.

Suponhamos agora que se tem um objecto com 1,20 m à distância de 10m do observador. Como neste caso  $V = -0,1$ , vem  $m = -0,1/60 = 1/600$  e portanto a imagem tem também 2 mm.

Nestes dois exemplos, as imagens retinianas têm as mesmas dimensões, não sendo portanto possível avaliar a distância apenas pelas dimensões da imagem formada.

Acontece, porém, que as imagens formadas nos dois olhos se localizam em pontos diferentes em cada uma das retinas. Esta diferença é tanto maior quanto mais próximo se encontrar o objecto. É este facto, conjuntamente com outros factores (por exemplo, a presença de objectos vizinhos ou o conhecimento prévio das verdadeiras dimensões do objecto) que permite ao cérebro avaliar a distância a que se encontra o objecto ou as distâncias das diferentes partes dos objectos ao observador. Torna-se assim possível, a partir de imagens bidimensionais, obter uma percepção tridimensional do mundo que nos rodeia.

Os autores agradecem os comentários e sugestões da Dra. Helena Lopes.

### BIBLIOGRAFIA

- HECHT, E. — *Optics*, 2nd edition, Addison Wesley Publishing Company, 1987; tradução portuguesa: Óptica, Fundação Calouste Gulbenkian, 1991.
- MEYER-ARENDE, J. R. — *Introduction to Classical and Modern Optics*, 3rd edition, Prentice-Hall, 1989.
- KEATING, M. P. — *Geometrical, Physical and Visual Optics*, Butterworths, 1988.

João A. Ferreira é professor associado do Departamento de Física da Universidade do Minho e Sandra Franco é assistente estagiária na mesma instituição.

# FANTASMAS NA NATUREZA

A. GUÉRIN MOREIRA

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Pr. Gomes Teixeira, 4000 Porto  
e-mail: andre@fis2.fc.up.pt

O problema da não-localidade da teoria quântica é antigo, tendo sido abordada frontalmente pela primeira vez em 1935 por Einstein, Rosen e Podolsky através duma famosa experiência imaginária. Neste artigo, é descrita uma experiência diferente idealizada mais recentemente, que no entanto lida com as mesmas questões.

## Introdução

Desde o início do nosso século, sucessivas gerações de físicos foram descobrindo lentamente que os modelos que melhor se aproximavam quantitativamente do comportamento da Natureza exigiam uma cada vez maior abstração da “realidade” macroscópica diária, um contrariar da nossa maneira de pensar “à Newton”.

Os físicos descobriram (ou pelo menos especularam, com o auxílio de um grande conjunto de ferramentas matemáticas, experimentais e até, às vezes, mentais — as famosas experiências *gedanken*) um mundo complexo e estranho, onde há um total colapso do senso-comum: limites irrefutavelmente impostos para a velocidade máxima de qualquer objecto, variáveis que não podem ser medidas em simultâneo com precisão infinita, gêmeos que têm idades radicalmente diferentes (só porque um deles resolveu passear a velocidades vertiginosas), entidades tão densas que até a luz não lhes escapa, diamantes que saltam da montra da joalheria para um bolso próximo sem a intervenção mafiosa ou esbanjadora de qualquer ser humano... enfim, uma quantidade de coisas que dificultam a vida a qualquer pessoa que se dedique à causa, em particular de duas maneiras: por um lado, não é fácil de se entender; por outro lado, é ainda “menos fácil” de se fazer entender!

Naturalmente, e como em quase todas as revoluções, esse processo não foi pacífico. Até filósofos andaram ao barulho (acerca dos artigos de Heisenberg e Bohr, Popper manifestou-se contra “o generalizado clima anti-racionalista, que se tornou o maior perigo dos nossos tempos, e contra o qual todos os pensadores que se preocupam com as tradições da nossa civilização devem lutar.”). As “lutas” entre Bohr e Einstein tornaram-se legendárias, onde o profundo cepticismo do pai da relatividade punha em prova a inteligência e o sentido físico de Bohr (conta-se que umas das mais espectaculares “vitórias” deste último foi quando usou relatividade para responder a um xeque de Einstein!)

Num artigo anteriormente editado nesta revista, Lopes dos Santos [1] explorou os meandros duma experiência que Einstein, Rosen e Podolsky (EPR) propuseram em 1935 e que punha em causa a mecânica quântica, revelando um dos seus aspectos mais assombrosos: acontecimentos geralmente aleatórios em locais distantes podem estar perfeitamente correlacionados sem que estejam necessariamente em contacto “via luminosa”, isto é, que estão isolados entre si do ponto de vista de comunicação! A experiência de que vos falarei hoje põe também este aspecto em evidência, porém duma maneira, à partida, diferente [2].

«Se me obrigassem a traduzir numa frase o que me diz a interpretação de Copenhaga, eu diria: ‘Cala e calcula!’»

N. D. Mermin

## A experiência de GHZ

Em 1989 Daniel Greenberger, Michael Horne e Anton Zeilinger (GHZ) propuseram uma nova experiência conceptual que também testa aquilo a que chamamos de “não localidade” em mecânica quântica.

Da maneira como foi idealizada, para que consigamos realizar a experiência, precisamos de ter uma fonte de partículas de spin  $1/2$  — por exemplo electrões — que envie três delas em simultâneo e três analisadores tipo Stern-Gerlach (cf. fig. 1). Estes analisadores deverão estar postos de tal modo que possam medir uma das componentes de spin perpendicular em relação ao eixo de viagem de cada uma das partículas. Em particular, devemos medir aquilo que, daqui para a frente, chamaremos a componente  $x$  ou  $y$  (ortogonais entre si) do spin das partículas.

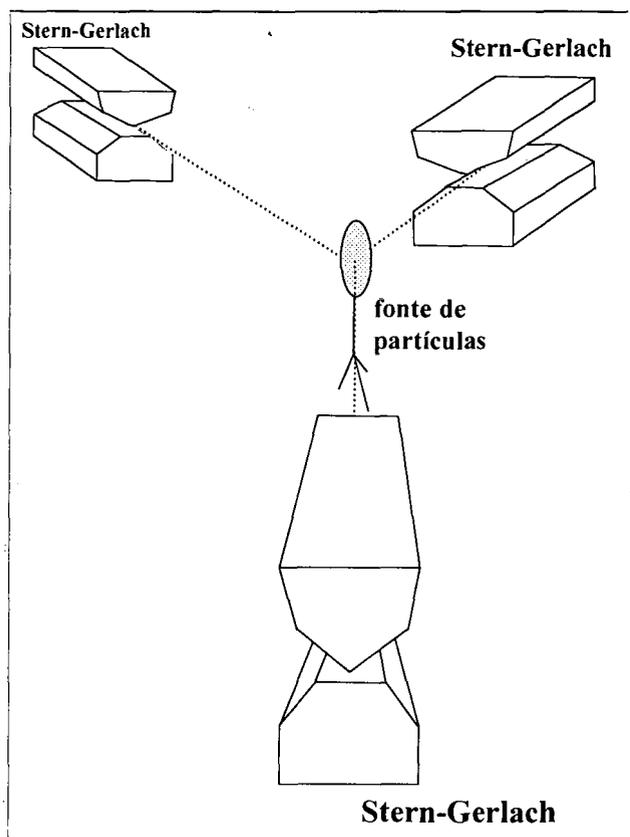


Fig. 1

Vamos dividir, talvez um pouco artificialmente, a experiência em duas partes. Na primeira parte, vamos “calibrar” a nossa montagem, e notar que é possível explicar o comportamento verificado **experimentalmente** a partir de uma teoria baseada no senso comum, onde exigimos algo que é muito simples: as partículas já saem da fonte com uma “estratégia” combinada, isto é, cada uma já

sabe, quando sai da fonte, exactamente como se comportar quando encontrar um detector (seja para medir a componente  $x$  ou  $y$ ). A isto chamamos uma teoria local (note-se que aqui também entra em jogo um outro conceito: o de realismo. Estas questões ficarão claras na analogia que se dará a seguir). Os diversos modelos que podemos criar para explicar a natureza podem ser locais ou não-locais. Para que estejam totalmente de acordo com a relatividade, os modelos físicos têm de ser locais, pois tem-se sempre em mente que existe uma velocidade limite (a da luz) para a comunicação entre as diversas partes do sistema. No entanto, aparentemente a teoria quântica, de acordo com a experiência de EPR (e obviamente com GHZ), **não** seria local!

Se vivessemos num mundo clássico, então, para que tivéssemos uma teoria não local, precisaríamos de por uns “fantasminhas” que permitissem a comunicação instantânea entre sistemas físicos que estivessem fora do mesmo cone de luz. Por outras palavras, se eu tivesse arranjado uma namorada em Alfa Centauro, e se conseguisse comunicar com ela “em tempo real”, de forma a que não precisasse de esperar oito anos por uma resposta, então viveria num mundo onde as leis da Física não seriam *locais*! Por outro lado, o simples facto de ter a certeza de que a minha namorada está lá (sem eu o verificar “experimentalmente”) torna o referido mundo *realista*. Para verificar se é a mecânica quântica ou a nossa teoria local (e realista) que tem razão, precisaremos de uma segunda parte na experiência. Aí vamos confrontar, usando apenas um trio de partículas, as previsões do nosso modelo local com as da mecânica quântica. Enunciemos então a primeira parte.

Ponhamos os detectores de modo a que se meça a componente  $x$  de spin de uma das partículas (com valor  $+1$  ou  $-1$ ) e as componentes  $y$  das outras duas (também com valores  $+1$  ou  $-1$ ). Não há nada que nos impeça, em princípio, de pôr as três partículas com os seus spins arranjados tal que sempre que se utilizem os detectores da maneira descrita, o produto destas medições é  $+1$ . Tomaremos isto como um facto experimental, e portanto não é aqui que surgirão os problemas. Na verdade, a mecânica quântica diz-nos como construir o estado correspondente, como se mostra mais adiante.

Tendo isto em mente, vamos então construir uma teoria local, um esquema que permita às partículas combinar, de alguma forma, o que fazer quando forem sujeitas à medição de maneira a respeitar o que foi dito no parágrafo anterior. Porém podemos argumentar que existe aqui uma arbitrariedade: o que é que nos garante que o esquema que vamos inventar é de facto bom? Isto é, se o modelo local que inventarmos falhar perante a mecânica quântica, será

que podemos encontrar outro melhor e que não esteja sujeito a falhas?

Parece-me que não, pois qualquer que seja a teoria local que criemos, é necessário que as partículas combinem, antes de saírem da fonte, o que vão fazer (e transportem consigo esta informação). Caso não o fizessem, as partículas estariam sujeitas ao arranjo experimental, que poderia estar disposto de tal forma que tornasse impossível para estas a sincronização — tendo em conta a velocidade da luz, não haveria tempo para se comunicarem antes de realizadas as respectivas medidas do spin. Portanto, pomos as partículas a conversarem quando estão juntas! Ainda assim, poderíamos criar diferentes modelos locais. Porém, as únicas diferenças seriam, em princípio: (1) a notação (que é absolutamente irrelevante); (2) os pesos estatísticos e critérios de escolha das partículas (que também serão irrelevantes, como se verá mais adiante). Dito isto, prossigamos.

Como já foi referido, vamos fazer com que o nosso modelo obrigue as partículas a respeitarem o que se obtém experimentalmente na primeira parte da experiência, isto é, haverá coerência na explicação destes resultados, sem a necessidade de existência de comunicações instantâneas, ou *acções fantasmagóricas à distância* (A teoria quântica também explica perfeitamente esta primeira parte, tornando então impossível de se dizer nesta altura quem é que tem razão). Para isto, vamos criar um conjunto de “tabelas de comportamento”. Uma vez fixada uma dada tabela, as três partículas saem da fonte — cada uma com a sua respectiva “cópia” — e devem obedecer-lhe quando sujeitas a medição (não interessando neste momento qual é o processo de escolha de uma dada tabela entre as várias possíveis).

Cada tabela será formada por três pares de valores que definirão os comportamentos das partículas no acto de medição. Assim, cada par de valores referir-se-á ao comportamento de cada uma das três partículas, definindo como cada uma se deverá comportar ao encontrar o detector segundo  $x$  (1.º valor do par) ou segundo  $y$  (2.º valor do par). Mais uma vez surge um problema: se as partículas forem indistinguíveis, então quem é que segue o primeiro par de valores (ou o segundo ou o terceiro)? Podemos dar a volta à questão tornando os **detectores** distinguíveis. Assim, o primeiro par de valores será satisfeito pela partícula que for lida pelo medidor 1, o segundo par pela partícula que for lida pelo medidor 2, etc. Como temos em cada tabela  $3 \times 2$  entradas que podem tomar os valores  $+$  ou  $-$ , são então possíveis  $2^6 = 64$  combinações de valores, isto é, 64 tabelas possíveis. Porém, levando em conta o facto experimental que está na base desta parte da experiência (o produto das medidas ser sempre  $+1$  ao medir o spin de uma das partículas segundo  $x$  e das outras duas

segundo  $y$ ), chega-se à conclusão (fica como exercício para o leitor) de que necessariamente apenas 8 dentre estas 64 tabelas satisfazem a esta condição. Se tivermos as tabelas organizadas da seguinte forma...

	Detector 1	Detector 2	Detector 3
x	+	-	-
y	-	+	+

...então podemos representar as oito “eleitas” da seguinte forma:

1	2	3	4
+++	+- -	-+-	- - +
+++	+- -	-+-	- - +
5	6	7	8
+ - -	+++	- - +	- + -
- + +	- - -	+ + -	+ - +

A tabela 5, por exemplo, significa que a partícula medida no detector 1 deverá ter spin  $+1$  se a medição for segundo  $x$  e  $-1$  se a medição for segundo  $y$  (note que a primeira vertical é formada pelos símbolos  $+ -$ ). No detector 2 (segunda coluna) a partícula deverá ter, segundo esta convenção, spin  $-1$  se medida segundo  $x$  e spin  $+1$  se medida segundo  $y$ . O mesmo tipo de raciocínio aplica-se à terceira coluna (portanto, refere-se ao detector 3). É fácil verificar que todas as oito tabelas propostas permitem que, qualquer que seja a combinação que se faça com os detectores (contanto que se meça uma componente  $x$  e duas  $y$ ), o produto das medições será sempre  $+1$ . Note-se que, mesmo que associemos um peso estatístico a cada uma das tabelas, de modo a que o processo de escolha na fonte siga uma determinada distribuição, não altera nada do que se disse até aqui. Portanto, vamos no bom caminho!

Será que vamos? E se, subitamente, resolvermos medir as três componentes segundo  $x$ ? Será que a hipótese local que acabamos de criar não cai por terra?

Pois bem, esta é a segunda parte da experiência. Olhando para a primeira linha das oito tabelas, notamos que o produto das medições apenas segundo  $x$  é sempre  $+1$ . Mas isto é o que prevê este raciocínio. O que é que nos diz a mecânica quântica?

### A abordagem quântica

A abordagem quântica formal do problema deve ser baseada nas propriedades das matrizes de Pauli  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$ , que estão relacionadas com os operadores de spin através de uma constante de proporcionalidade ( $\hbar/4\pi$ ). A cada

tipo de medição associamos, como é natural, um operador. Assim, teremos três operadores

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &= \sigma_x^1 \sigma_x^2 \sigma_x^3 \\ \mathbf{B} &= \sigma_y^1 \sigma_x^2 \sigma_y^3 \\ \mathbf{C} &= \sigma_y^1 \sigma_y^2 \sigma_x^3 \end{aligned}$$

O operador  $\mathbf{A}$ , como se pode notar, mede, dado um estado  $|\Psi\rangle$  do conjunto das três partículas, a componente de spin da partícula detectada em 1 segundo  $x$  e o das partículas detectadas em 2 e 3 segundo  $y$ . A interpretação de  $\mathbf{B}$  e  $\mathbf{C}$  é análoga.

Dadas as (boas) propriedades de comutação e anti-comutação das matrizes de Pauli (e não esquecendo que matrizes que dizem respeito a detectores diferentes comutam sempre), é fácil verificar que

$$[\mathbf{A}, \mathbf{B}] = [\mathbf{A}, \mathbf{C}] = [\mathbf{B}, \mathbf{C}] = 0$$

Estas relações de comutação entre os operadores  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$  e  $\mathbf{C}$  demonstram que estes são compatíveis, permitindo-nos criar uma base de estados próprios dos três operadores. Como estes operadores são hermiticos (pois as matrizes de Pauli o são) e  $\mathbf{A}^2 = \mathbf{B}^2 = \mathbf{C}^2 = \mathbf{I}$ , os valores próprios destes estados são forçosamente  $\pm 1$ . O tal produto entre medidas de spin, que valia sempre  $+1$ , simplesmente mostra que escolhemos o estado que é simultaneamente estado próprio de  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$  e  $\mathbf{C}$  com valores próprios  $+1$ ,  $+1$  e  $+1$ . É possível demonstrar que esse estado é dado pelo ket

$$|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} [|+, +, +\rangle - |-, -, -\rangle]$$

construído no espaço de Fock das partículas detectadas em 1, 2 e 3, e usando como suporte os estados próprios de  $\sigma_z$ .

Agora chegou o momento mais interessante. Notemos, em primeiro lugar, que o processo de medição do spin das três partículas segundo  $x$  é dado pelo operador

$$\mathbf{D} = \sigma_x^1 \sigma_x^2 \sigma_x^3$$

que, usando as propriedades de anticomutação das matrizes de Pauli, é dado pelo produto  $\mathbf{ABC}$  vezes  $-1$  (cf. Apêndice). Isto é, se tivermos o estado  $|\Psi\rangle$  próprio de  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$  e  $\mathbf{C}$  com valores próprios  $+1$  para os três, teremos

$$\mathbf{A} \mathbf{B} \mathbf{C} |\Psi\rangle = \mathbf{A} \mathbf{B} |\Psi\rangle = \mathbf{A} |\Psi\rangle = |\Psi\rangle$$

que nos levará ao resultado que tanto esperávamos,

$$\mathbf{D} |\Psi\rangle = -\mathbf{A} \mathbf{B} \mathbf{C} |\Psi\rangle = -|\Psi\rangle$$

Que quer dizer esta última expressão? Que o estado  $|\Psi\rangle$  que construímos anteriormente também é estado próprio de  $\mathbf{D}$ , porém com valor próprio  $-1$  !!! Portanto, a previsão da mecânica quântica para a segunda parte da

experiência dá o valor simétrico do previsto pelo esquema local que inventamos. Assim, ao realizarmos a segunda parte da experiência, estaremos aptos a distinguir, sem ambiguidade, se é o nosso esquema ou se é a teoria quântica que tem razão!

## Conclusão

No tratamento de questões fundamentais como esta, é extremamente difícil ser-se conclusivo quanto à interpretação dos dados obtidos pela experiência. O que querará isto tudo dizer? Será que existe uma espécie de “acção fantasmagórica à distância” (*spukhafte fernwirkungen* — expressão do próprio Einstein) que liga o que acontece a uma partícula ao que acontece a outra, já que estas não se podem comunicar de uma maneira fisicamente mensurável? Ou será que os problemas simplesmente estão mal propostos?

A dificuldade não está no acto de especular, mas sim em testar aquilo que se imaginou. Por exemplo, poderíamos avançar com a hipótese de que o conceito de comunicação é um conceito intrinsecamente clássico, que perde o seu significado quando estamos no limite quântico. Quer dizer, quando estamos no mundo quântico, a função de onda de um determinado sistema não está presa ao conceito de espaço: quando colapsa, devido à medição de uma das suas variáveis, todas as outras assumem valores únicos, independentemente de onde e como serão feitas as medições destas! Por outras palavras, não podemos medir “parte” da função de onda (o que corresponderia a uma das partículas) sem interferir imediatamente com o resto.

No fundo, a ideia de “acção fantasmagórica à distância” resume-se ao facto de a função de onda não precisar de comunicar com as suas diversas “partes” para colapsar. Mesmo assim, continuamos com os “fantasmas” na teoria! Na verdade, esta ideia é menos bizarra do que possa parecer. Afinal, se a função de onda não tem uma existência física, porque sujeita-la às leis? Claro que se poderia argumentar que a função de onda de dois sujeitos a conversar não tem existência física, e portanto poder-se-ia passar informação a velocidades infinitas. Mas é preciso levar em conta questões importantes: 1) o papel da consciência no acto da medida e da passagem de informação; 2) a distinção, se é que possível, de sujeito e objecto; 3) a distinção entre domínios clássico e quântico. E portanto, o mais simples e francamente possível, só consigo tirar uma conclusão: nada sei!

Será que esta experiência traz algo de realmente novo relativamente à experiência de EPR? Penso que não. Note-se que EPR depende de uma análise estatística dos resultados. Idealmente, GHZ não necessita de tal análise, pois afinal só precisamos saber se uma dada quantidade, acessível através de uma única experiência, vale  $+1$  ou  $-1$ .

Porém, existem dois factores que podem tornar esta experiência pouco atraente: não me parece fácil, contrariamente a EPR, a sua realização experimental. Por exemplo, que tipo de fonte de partículas poderíamos usar? Tanto quanto saiba, a experiência de GHZ ainda não se “materializou”. Por outro lado, acabamos sempre por depender de uma análise estatística dos resultados. Vejamos: *Idealmente*, é possível preparar a experiência de forma a que, do ponto de vista da mecânica quântica, estejamos num estado próprio dos operadores A, B e C, garantindo assim que o valor que vamos obter na primeira parte será sempre +1. No entanto, *experimentalmente*, não é certo que consigamos pôr o sistema neste estado. Portanto, só conseguimos ter alguma confiança na experiência se a repetirmos várias vezes e fizermos a sua estatística. Assim, podemos em certa medida dizer que se trata simplesmente de uma variação engenhosa do mesmo *puzzle*, que não será nem mais nem menos conclusiva relativamente à questão da não localidade da teoria quântica!

Perante este comportamento bizarro do mundo, é fácil compreender a posição de Einstein quando escreveu: “I cannot seriously believe in [the quantum theory] because it cannot be reconciled with the ideia that physics should represent a reality in time and space, free from spooky actions at a distance” [3].

O autor agradece a J. M. B. Lopes dos Santos e a C. M. Vale o auxílio prestado em discussões acerca deste problema.

#### REFERÊNCIAS

- [1] LOPES DOS SANTOS, J. M. B. — *Gazeta de Física*, vol. 12, fasc. 1  
 [2] Alguns artigos que também tratam deste problema são dados a seguir:
- MERMIN, N. D. — “Bringing home the atomic world: Quantum mysteries for anybody”, *Am. J. Phys.*, Outubro 1981;
  - MERMIN, N. D. — “Quantum mysteries revisited”, *Am. J. Phys.*, Agosto 1990;
  - MERMIN, N. D. — “Is the moon there when nobody looks? Reality and the quantum theory”, *Physics Today*, Abril 1985;
  - J.S.BELL, J. S. — “Bertlmann’s socks and the nature of reality”, *Journal de Physique*, C2, sup. 3, tome 42, Março 1981.
- [3] “The Born-Einstein letters”, *Walker*, New York, 1971.

#### Apêndice

Vamos rapidamente, baseados nas relações de anticomutação das matrizes de Pauli; mostrar a relação entre os operadores A, B e C com o operador D.

Por um lado, sabemos que  $[\sigma_i, \sigma_j]_+ = 2\delta_{ij}$ . Portanto, as matrizes x e y que dizem respeito a mesma partícula obedecem à relação  $\sigma_x \sigma_y = -\sigma_y \sigma_x$ . Por outro lado,  $(\sigma_i)^2 = 1$ . Assim

$$A B C = (\sigma_x^1 \sigma_y^2 \sigma_y^3) (\sigma_y^1 \sigma_x^2 \sigma_x^3) (\sigma_y^1 \sigma_y^2 \sigma_x^3) = \sigma_x^1 \sigma_y^2 \sigma_y^3 \sigma_x^2 \sigma_y^1 \sigma_x^3 = \\ = \sigma_x^1 \sigma_y^2 \sigma_x^2 \sigma_y^1 \sigma_x^3 = -\sigma_x^1 \sigma_x^2 \sigma_y^2 \sigma_y^1 \sigma_x^3 = -\sigma_x^1 \sigma_x^2 \sigma_x^3 = -D$$

A. Guerin Moreira é aluno finalista do Curso de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

## Niels Bohr e a bomba atômica

Em 6 de Agosto de 1945, explodiu a 1.<sup>a</sup> bomba atômica sobre Hiroshima; 3 dias depois, outra bomba, sobre Nagasaki, punha termo à 2.<sup>a</sup> Guerra Mundial. A invenção da bomba atômica mudou, para sempre, a História da guerra e da humanidade. Mas a história completa da bomba atômica está por escrever — há, ainda, muito material classificado nos arquivos militares ocidentais e só recentemente começaram a ficar disponíveis os ficheiros secretos da ex-União Soviética.

Foi o medo de uma bomba nuclear alemã que fez desencadear o célebre Projecto Manhattan, esforço gigantesco de ciência, tecnologia e organização, conduzindo à construção das bombas referidas. Medos que tinham alguma justificação, pois na Alemanha nazi ficaram alguns dos maiores físicos nucleares da época, como Heisenberg ou Hahn, o descobridor, em 1938 da fissão induzida do urânio. E seria precisamente Heisenberg a ter um importante e misterioso encontro com N. Bohr, em Setembro de 1941, onde lhe terá mostrado um desenho de um reactor nuclear capaz de produzir plutónio, o explosivo empregue em Nagasaki. Desse encontro saiu Bohr convencido da existência de um esforço nuclear alemão. Dado o enorme peso científico de Bohr e a sua integração (embora como consultor, apenas) no Projecto Manhattan, que então se iniciava, compreende-se o alarme que aquele desenho criou. Mas qual foi a motivação de um encontro entre dois eminentes cientistas, amigos, é certo, mas representando duas nações em guerra? Desse misterioso encontro nos relata J. Bernstein (*Sc. Am.*, p. 72, Maio 95) num artigo onde História e Física se cruzam com emoção.

Finda a 2.<sup>a</sup> Guerra Mundial, começou a guerra fria e, em Novembro de 1945, o KGB assedia Bohr procurando informações sobre o processo nuclear americano. Dessas reuniões, realizadas em verdadeiro ambiente Bondiano, existem transcrições, hoje tornadas públicas, e que recentemente originaram graves acusações sobre a integridade de Bohr (e, também, Oppenheimer e Fermi), apontando-o como colaborador dos soviéticos. Num outro artigo muito interessante (*Sc. American*, p. 65, Maio 95), H. A. Bethe *et al.* desmontam, como se num tribunal estivessemos, as provas da acusação, pronunciando-se pela absoluta honestidade de N. Bohr, figura cuja estatura científica e moral se mantém exemplarmente para as gerações futuras. Sobre o grande físico dinamarquês, encontrará o leitor interessado um excelente retrato histórico em A. Pais «N. Bohr’s times: in Physics, Philosophy and Polity», Oxford University Press, 1991.

Eduardo Seabra Lage

# UTILIZAR O QBASIC PARA APRENDER FÍSICA

Numa altura em que há já tantos e tão sofisticados programas de computador, desde folhas de cálculo como o EXCEL até programas tão fáceis de utilizar e tão poderosos como o INTERACTIVE PHYSICS, pode parecer algo estranho utilizar uma linguagem de programação para analisar fenómenos físicos e explorar modelos matemáticos. Uma linguagem de programação, como o QBASIC, apresenta, no entanto, várias vantagens na exploração de certos modelos matemáticos de situações físicas, nomeadamente: é fornecido com *todos* os computadores IBM e compatíveis IBM que utilizam o sistema operativo MS-DOS; permite a escrita do modelo matemático de uma forma muito próxima da normalmente utilizada; e permite o controlo do modelo e dos parâmetros do modelo de um modo directo e fácil.

A utilização do QBASIC para aprender Física pode ser feita a partir do 10.º ano de escolaridade, uma vez que não exige conhecimentos matemáticos muito aprofundados. Em alguns dos exemplos a seguir apresentados, recorre-se a um método numérico muito simples, compreensível pela maior parte dos alunos do 10.º ano.

Com um pequeno número de instruções do QBASIC (não mais do que 1%!) é possível explorar um grande número de conceitos físicos, como se procura mostrar neste artigo através de dois exemplos.

### O que é o QBASIC

O QBASIC é uma versão reduzida da linguagem de programação Quick BASIC da Microsoft, sendo instalado automaticamente na directoria DOS do disco duro,

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

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

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

Todos os artigos não assinados são da responsabilidade do coordenador.

aquando da instalação do sistema operativo. Se a versão do sistema operativo for a versão em português, os menus do QBASIC surgem em português, bem como o respectivo «help».

Para executar o QBASIC, com o cursor no drive do disco duro (C:>), faz-se «cd dos» e escreve-se «qbasic».

Uma vez escrito um programa no editor do QBASIC (um programa é uma sequência de instruções que a linguagem de programação executa), este pode ser "corrido" utilizando a opção «Start» (ou «Começar», na versão em português) do menu «Run» (ou «Executar»).

### A estrutura de um programa simples em QBASIC

Nas duas situações da mecânica clássica a seguir apresentadas, o programa escrito em QBASIC tem a seguinte estrutura:

- define-se um conjunto de parâmetros do modelo matemático que se vai utilizar;
- desenha-se um gráfico (ou um referencial), numa escala adequada;
- faz-se uma série de cálculos repetitivos no «ciclo FOR ... NEXT», na variável  $t$ , que toma valores entre  $t = 0$  e  $t = t_{\max}$ .

A «Física» está «toda» nesta última parte do programa. É no *ciclo* que se calculam os valores das diversas variáveis, nos instantes sucessivos.

Nos dois exemplos apresentados, o cálculo dos valores das grandezas nos sucessivos intervalos de tempo faz-se de duas maneiras diferentes. Na primeira, os valores são calculados a partir de *funções* da variável tempo. No segundo caso, os valores são calculados a partir da determinação de *pequenas variações* das grandezas num intervalo de tempo muito pequeno, que é representado nos programas por  $dt$ . O valor de  $dt$  deve ser tão pequeno quanto necessário, mas convém não ser inferior a 0.001 para evitar certos erros de cálculo próprios dos computadores.

### Investigar a trajectória de uma bola lançada para o ar na vertical, sendo desprezável a resistência do ar

Neste primeiro exemplo, mostra-se a trajectória num referencial  $Oxy$  de uma bola lançada verticalmente, com velocidade inicial de valor 20 m/s, a partir da posição de coordenadas  $x = 10$  m e  $y = 0$  m.

Na primeira parte do programa definem-se os parâmetros físicos necessários à simulação, bem como as escalas dos eixos, o tempo máximo, o tamanho da bola, etc.

Na segunda parte desenha-se um referencial no ecrã. A instrução «SCREEN 12» significa que o ecrã segue a

norma VGA (ecrã de 640 por 480 pontos). A instrução «VIEW (100, 100)-(400, 400), branco, preto» desenha uma «janela» no ecrã, entre os pontos de coordenadas (100, 100) e (400, 400). A instrução WINDOW (0, 0)-(escalax, escalay) define as escalas nesta janela, que vai funcionar como referencial. As instruções seguintes nesta parte do programa escrevem o nome dos eixos e o valor máximo das escalas.

No ciclo «FOR ... NEXT» determinam-se as posições nas coordenadas  $x$  e  $y$ , com passo («STEP»)  $dt$  — isto é, de 0.1 s em 0.1, que foi o valor definido para  $dt$ . A instrução «CIRCLE (x, y), RaioDaBola, preto» desenha uma circunferência com centro nas coordenadas (x,y) e raio igual ao valor do parâmetro «RaioDaBola», na cor «preto». A linha «FOR i = 0 TO 1000: NEXT i: REM (pausa durante um certo intervalo de tempo)» é, simplesmente, um modo de «fazer o computador demorar um certo tempo até desenharmos a circunferência seguinte» — se se pretender aumentar ou diminuir este intervalo de tempo, aumenta-se ou diminui-se o valor máximo da variável «i» neste ciclo. Com a instrução seguinte, «CIRCLE (x, y), RaioDaBola, branco», apaga-se a circunferência desenhada a preto. Finalmente, nas três linhas seguintes, escreve-se os valores de tempo e das coordenadas, no topo do ecrã.

A primeira das figuras junto, mostra o ecrã no instante  $t = 2,0$  s, quando se atinge a altura máxima.

Se se pretender uma representação estroboscópica, apaga-se a linha «CIRCLE (x, y), RaioDaBola, branco» (ou desactiva-se a linha colocando REM no seu início). Obtém-se, então, um ecrã como o da segunda figura.

Facilmente se pode efectuar a análise pormenorizada deste modelo, mudando os valores dos parâmetros no início do programa: que sucede se se aumentar a velocidade inicial? E se se partir de outra posição? Como transformar o modelo numa queda livre de uma certa altura? Que sucede se não houver aceleração da gravidade? Etc. Em alguns casos, pode ser necessário alterar as escalas dos eixos...

Sugere-se ao leitor que copie o programa para o seu computador e tente explorar as suas possibilidades didácticas.

```

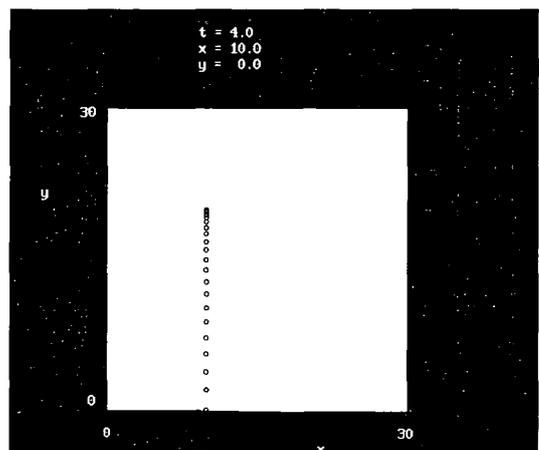
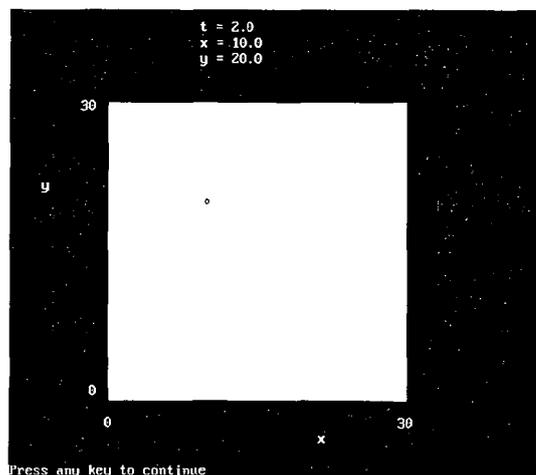
REM lançamento de uma bola na vertical visto num referencial Oxy

REM parametros
x0 = 10
y0 = 0
v0y = 20
g = 10
ay = -g
dt = .1
tmax = 4
escalax = 30
escalay = 30
RaioDaBola = .2
preto = 0
branco = 7

REM referencial
SCREEN 12
VIEW (100, 100)-(400, 400), branco, preto
WINDOW (0, 0)-(escalax, escalay)
LOCATE 28, 40: PRINT "x"
LOCATE 12, 5: PRINT "y"
LOCATE 27, 12: PRINT 0: LOCATE 27, 49: PRINT escalax
LOCATE 25, 10: PRINT 0: LOCATE 7, 9: PRINT escalay

FOR t = 0 TO tmax STEP dt
  x = x0
  y = y0 + v0y * t + (1 / 2) * ay * t ^ 2
  CIRCLE (x, y), RaioDaBola, preto
  FOR i = 0 TO 1000: NEXT i: REM(pausa durante um certo int. tempo)
  CIRCLE (x, y), RaioDaBola, branco
  LOCATE 2, 25: PRINT USING "t = ##.## "; t
  LOCATE 3, 25: PRINT USING "x = ##.## "; x
  LOCATE 4, 25: PRINT USING "y = ##.## "; y
NEXT t

```



## Estudar um oscilador no laboratório... e no computador

O estudo dos osciladores é um tópico que, aparentemente, exige conhecimentos matemáticos avançados. Vamos apresentar uma actividade relativamente simples envolvendo a determinação do período de um oscilador, primeiro com um cronómetro e depois com o modelo matemático do oscilador.

Utiliza-se uma das várias molas que existem nos laboratórios escolares. Com pesos adequados e uma régua, determina-se a *constante da mola* em newtons por metro. Para uma certa mola, obteve-se  $k = 2,9 \text{ N/m}$ .

Coloca-se a mola a oscilar, suspendendo um corpo de 100 g, por exemplo, e esticando-a até um certo valor. Esse valor é a ordenada mínima ( $y = -0,13$ ; a origem é o ponto de equilíbrio, com o corpo suspenso).

A componente, segundo o eixo dos  $yy$ , da força elástica na mola é  $F_{\text{elástica}} = -ky = -2,9y$ . A esta força há que somar o valor de 1,0 N, a força exercida pela mola na posição de equilíbrio — ver esquema.

Além da força elástica e da força da mola, há a considerar a força gravítica sobre o corpo, cuja componente segundo o eixo vertical é:  $F_{\text{grav}} = -mg = -0,100 \times 10 = 1,0 \text{ N}$ .

No programa ao lado, no ciclo «FOR ... NEXT», depois de se calcularem estas componentes das duas forças que actuam no oscilador, calcula-se a componente da resultante das forças e utiliza-se esse valor para calcular a aceleração nesse instante.

Em seguida, calcula-se a velocidade no instante seguinte, admitindo que é igual à soma da velocidade no instante anterior com a *variação* de velocidade num *pequeno* intervalo de tempo  $dt$ , que é dada pelo produto  $ay * dt$  — a aceleração *mede* a variação de velocidade em cada *instante*.

Por fim, calcula-se a coordenada  $y$  no instante seguinte, admitindo que é igual à soma de  $y$  no instante anterior com a *variação* de ordenada num *pequeno* intervalo de tempo  $dt$ , que é dada pelo produto  $vy * dt$  — a velocidade *mede* a variação de posição em cada *instante*.

Estes cálculos repetem-se em intervalos de tempo sucessivos  $dt$  em  $dt$ . Quanto mais pequeno for este intervalo de tempo, melhor é, em princípio, a aproximação conseguida por este processo. Cuidado, no entanto, com os  $dt$  muito pequenos...

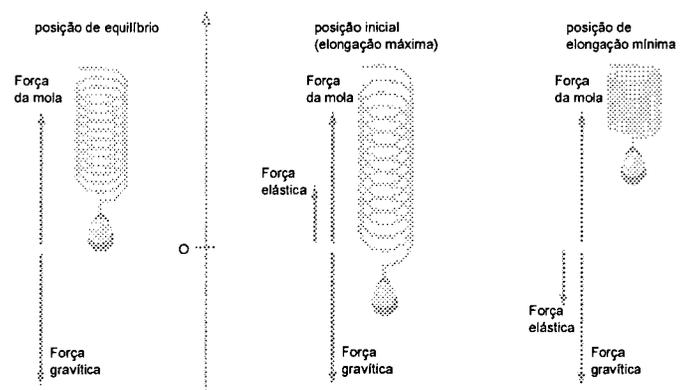
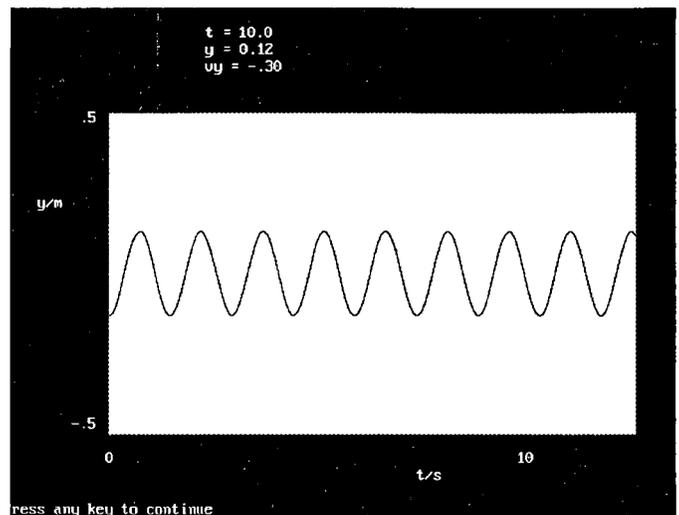
Utilizando o gráfico, é possível verificar se o valor que se obtém para o período do oscilador está de acordo com o valor determinado experimentalmente — se a experiência for feita com cuidado, a diferença não excede os 5%! Pode controlar-se o valor do parâmetro «tmax» para determinar o período de oscilação, a partir do gráfico.

```

REM simulacao do movimento de um oscilador

REM parametros
y = -.13
vy = 0
m = .1
g = 10
k = 2.9
dt = .001
tmax = 10
escalay = .5

REM Grafico e calculo
SCREEN 12
VIEW (100, 100)-(600, 400), 6, 2
WINDOW (0, -escalay)-(tmax, escalay)
LOCATE 28, 50: PRINT "t/s"
LOCATE 12, 5: PRINT "y/m"
LOCATE 27, 12: PRINT 0: LOCATE 27, 61: PRINT tmax
LOCATE 25, 9: PRINT -escalay: LOCATE 7, 9: PRINT escalay
FOR t = 0 TO tmax STEP dt
  Felastica = k * y
  Fmola = m * g
  Fgrav = -m * g
  Fresultante = Felastica + Fgrav + Fmola
  ay = Fresultante / m
  vy = vy + ay * dt
  y = y + vy * dt
  PSET (t, y), 0
  LOCATE 2, 25: PRINT USING "t = #.#"; t
  LOCATE 3, 25: PRINT USING "y = #.##"; y
  LOCATE 4, 25: PRINT USING "vy = #.##"; vy
NEXT t
    
```



# COMO VOLTAR A CRIAR A ENERGIA DO SOL?

*Exposição itinerante sobre a fusão nuclear controlada*

Instituto Superior Técnico – Abril / Maio 95

A fusão termonuclear é uma das poucas opções energéticas em grande escala para o século XXI. A fusão é o processo nuclear de que resulta a energia das estrelas como o sol: núcleos de átomos ligeiros (como o hidrogénio) combinam-se — ou “fusionam” — para formar átomos mais pesados. O sol é uma enorme bola de fogo “confinada” pelas forças da gravidade, na qual se produzem em permanência reacções de fusão. Para que os núcleos (com carga positiva) possam aproximar-se uns dos outros (isto é, superar a força de repulsão electrostática entre eles) e as reacções de fusão se produzam a um ritmo suficiente, é necessário obter em laboratório temperaturas da ordem dos 100 milhões de graus Celsius ou mais, o que corresponde a cerca de dez vezes a temperatura no centro do sol.

## O desafio da fusão

Segundo estimativas realistas, a população mundial será de cerca de 10 biliões em meados do próximo século e um tal aumento (em relação aos 5 biliões e meio actuais) verificar-se-á quase exclusivamente nos países em vias de desenvolvimento. Neste contexto, as necessidades de energia primária poderão duplicar (ou mesmo triplicar) em meados do próximo século. As fontes de energia capazes de satisfazer uma parte importante de tais necessidades no próximo século são:

- os combustíveis fósseis, sobretudo o carvão, devido ao esgotamento progressivo das reservas de gás e de petróleo;
- as energias renováveis (solar, ventos, marés, geotérmica, biomassa, hidroeléctrica); porém, é mais do que improvável que possam satisfazer todas as nossas necessidades;
- a fissão e a fusão nucleares.

É necessário desenvolver opções novas e aperfeiçoadas para o futuro. Potencialmente, a fusão é uma fonte de energia em grande escala com as seguintes vantagens:

- Os combustíveis primários da fusão são abundantes, baratos, estão repartidos geograficamente de maneira uniforme e não são radioactivos (a água dos lagos e dos oceanos contém hidrogénio pesado em quantidades suficientes para satisfazer as nossas necessidades actuais de energia durante milhões de anos).
- A energia de fusão é inerentemente segura: em qualquer momento, o combustível dentro do reactor só pode manter a combustão durante algumas dezenas de segundos, se o reabastecimento de combustível “fresco” for interrompido. A fusão apresenta também vantagens relativas ao meio ambiente: qualquer poluição atmosférica que provoque chuvas ácidas ou efeito de estufa é impossível.

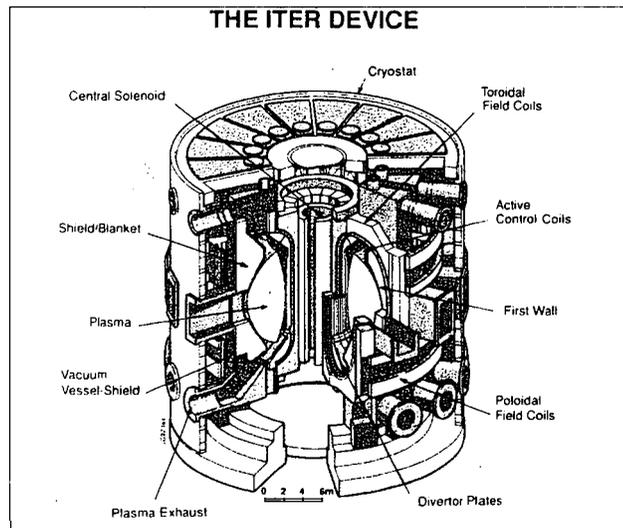
A energia do Sol  
Como recriar estrelas?  
Fusão termonuclear controlada  
Confinamento magnético de plasmas  
Confinamento inercial de plasmas  
Reactor experimental ITER  
Reactores e meio ambiente

- Os neutrões produzidos durante as reacções de fusão tornam a estrutura do reactor radioactiva, mas este efeito pode ser minimizado mediante uma selecção judiciosa de materiais de fraca activação. A armazenagem a muito longo prazo de elementos de estrutura mecânica (radioactiva) não é necessária.

É razoável pensar que a fusão será um dia uma fonte de energia praticamente inesgotável, aceitável em termos de efeitos sobre o meio ambiente, economicamente viável e especialmente conveniente para a produção de electricidade.

## O Projecto ITER

A exposição dedica uma secção própria aos grandes dispositivos laboratoriais para investigação sobre fusão nuclear existentes no mundo.



Uma referência especial é feita à colaboração mundial relativa às actividades ligadas ao ambicioso projecto de construção de um reactor termonuclear experimental internacional, chamado ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). Uma tal colaboração neste domínio foi estabelecida entre a Comunidade Europeia (com a Suécia e a Suíça que estão inteiramente associadas ao programa de fusão comunitário, e o Canadá como país associado neste domínio particular), a Federação russa, o Japão e os Estados Unidos.

A exposição foi co-produzida pela Associação EURATOM/Suíça e Microcosm-CERN, com o apoio financeiro do programa VALUE da CE.

Organização local: Grupo de Fusão Nuclear do IST.

# European Physicist (Eur Phys)

## A new professional qualification for the physicist

The designation *European Physicist* (abbreviated as *Eur Phys*) is a new qualification for physicists. It may therefore need a brief introduction. Formal professional qualifications exist in many occupations. Generally, a person receives such a qualification on the basis of a combination of academic attainments and experience in a profession. Where they exist, however, there are for some professions wide differences between formal systems of recognition, in the body awarding the qualification, in the criteria applied, and in the code of conduct an applicant is expected to abide by.

Such differences may restrict the opportunities for citizens of a given country to exercise their profession elsewhere. In the case of the European Union, the European Commission, which has been active for some time in promoting the mutual recognition of academic degrees, is now also taking initiatives regarding professional qualifications. Partly in response to this, national societies or institutes covering various fields of science and technology have collaborated in establishing several European Registers for qualified professionals.

In physics, the situation is somewhat different from that found in most other disciplines as there exists the European Physical Society (EPS) which one can join directly or through a national physical society. Moreover, the EPS is not confined geographically to the European Union.

Given its unique position, EPS has set up the European Register of Physicists and the necessary procedures for handling applications for entry on the Register.

Some may question whether there is a need for this, arguing that physicists are often employed not so much on the basis of what they have done in the past, but rather on their promise for the future.

However, working conditions are changing: longterm positions have become the exception rather than the rule, and self-employment as a consultant is becoming more common. In this environment, the professional qualification *European Physicist* could be a valuable asset.

### Requirements for admission to the Register

The academic qualification must be in physics or in a physics-related area which is acceptable to the Register Commission. It may have involved at least the equivalent of three years' full-time university-level education.

Evidence of at least two years' appropriate experience gained in a professional capacity after graduating is also required. This experience could include research and development, project management, supervision and the training of others, and safety management.

The remaining period, which must have lasted for at least two years, may consist of either education leading to an academic qualification or appropriate experience involving responsibilities and deemed satisfactory by the Register Commission. It must also include a period of training during which the applicant has acquired aptitudes or skills needed to exercise in the chosen profession and in a responsible capacity.

If you are included on the European Register of Physicists you will be...

...able to use the designation *European Physicist* and its abbreviation *Eur Phys*;

...kept informed of developments in the way physicists are being recognized professionally.

### How you apply for registration as a *European Physicist*

An application form may be obtained either from the Geneva secretariat of the European Physical Society or from many of the national physical societies that are listed overleaf.

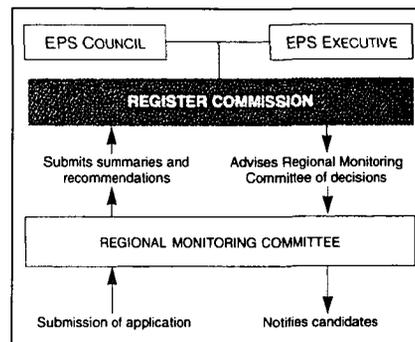
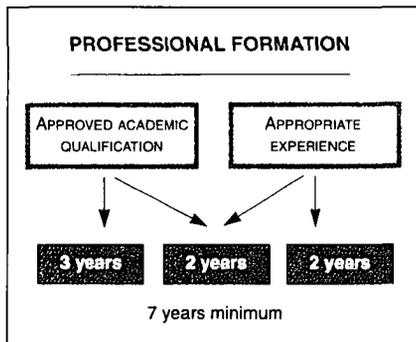
Upon completion the form should be sent, together with the non-refundable application fee, to the appropriate address indicated in the guidance notes accompanying the form.

A Regional Monitoring Committee evaluates the application. It is assisted by independent experts familiar with the regions in which you have trained and worked. The Committee then makes a short summary and a recommendation to the Register Commission.

The Commission reviews the summary and recommendation to ensure uniform, high standards. If it is satisfied, you will be invited to pay the registration fee for admission to the European Register of Physicists for an initial period lasting five years.

Thereafter, registration will be renewable without the need to submit a new application (although you might be asked to update your first application).

You will be provided with a formal certificate of registration. From then on you will be able to use the designation *European Physicist*.



### Request for Application Form

EUROPEAN REGISTER OF PHYSICISTS  
*European Physicist — Eur Phys*

To be listed on the European Register of Physicists you will need to supply evidence that you have successfully completed appropriate education and experience over a period of at least seven years which includes:

- at least three years' acceptable education in physics, or in a physics-related discipline, at the university level;
- at least two years' post-graduation experience in a responsible position involving physics or a related discipline (this experience may include a training period).

To obtain an application form, please complete this form and send it to the EUROPEAN PHYSICAL SOCIETY. Application forms are also available from the Portuguese Physical Society.

NAME: \_\_\_\_\_

ADDRESS: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

*EPS, Geneva, April 1995*



Please return to:

**EUROPEAN PHYSICAL SOCIETY**

Geneva Secretariat

POB 69 - CH-1213 Petit-Lancy 2 - Switzerland

Tel.: +41-22-793 11 30

Fax: +41-22-793 13 17

Further information:

on WWW over EurophysNet at <http://epswww.epfl.ch>

## CIÊNCIA ATRAVÉS DA EUROPA

### Um projecto pioneiro em educação



Neste projecto europeu promove-se o estudo da ciência por meio da permuta de informação entre escolas de diferentes países e fomentando a dimensão europeia na educação. As escolas interessadas em participar ficam inscritas numa base de dados do projecto que inclui actualmente 260 escolas em 25 países situados na Comunidade Europeia, na Hungria, na Polónia, na Rússia e na Eslovénia. Em Portugal há 24 escolas inscritas, embora se saiba que o projecto é utilizado ainda noutras escolas. Espera-se ter a possibilidade de envolver mais de 2000 escolas até ao fim de 1995.

Este projecto compreende unidades didácticas, cada uma sobre um assunto, com informação científica básica, mapas, dados e indicações para o professor. No estudo das unidades do projecto, os alunos de uma dada escola recolhem informações junto de fontes locais, realizam experiências e analisam documentos; a seguir, enviam-nas para outras escolas. Outra tarefa para os alunos realizarem consiste em prever tendências; isto dá-lhes a oportunidade de debater questões relativas a mudanças de estilo de vida que ocorrerão no futuro. De facto, muitos dos assuntos, como o fornecimento de energia, a qualidade da água e a chuva ácida constituem uma preocupação comum na comunidade e são aspectos frequentemente focados nos currículos de ciências dos diferentes países.

Um aspecto singular deste projecto é a possibilidade de receber e enviar informação a outras escolas na Europa. Por exemplo, os alunos em Portugal podem aprender, em primeira mão, o que se passa na Suécia sobre chuva ácida — e vice-versa. O registo central das escolas participantes contém dados sobre a idade, o nível em ciência dos alunos e a altura do ano escolhida para o estudo da unidade respectiva. Estes dados são fornecidos às diferentes escolas inscritas, permitindo aos alunos permutar informação e comparar os diferentes componentes de cada actividade.

As 7 unidades didácticas disponíveis tratam dos seguintes assuntos:

— *A utilização da energia em casa* — considera as fontes de energia utilizadas no aquecimento e na cozinha e a produção de energia.

— *A chuva ácida* — analisa o problema da chuva ácida.

— *A energia renovável* — investiga fontes de energia renováveis em pequena escala e em larga escala na região.

— *A água que bebemos* — reporta-se às impurezas que podem existir na água que bebemos, como chegam à água e como podem ser removidas.

— *O que comemos* — foca os aspectos nutricionais da alimentação e as ligações entre alimentação, dieta alimentar e saúde.

— *O impacto do aquecimento global*

— *Lixo doméstico* (em fase final de preparação).

Cada uma das unidades está disponível em 10 línguas da Comunidade, incluindo o português. Com esta característica, o projecto oferece como utilização adicional a possibilidade de os alunos realizarem trabalhos em diferentes línguas. Este aspecto é de particular relevância no ensino de línguas, que decorre, por vezes, em equipas de professores de ciências e de línguas, e até em ligação com os de geografia.

#### Unidades Didácticas Disponíveis

(em 10 línguas, incluindo o português).

- A utilização da energia em casa
- A chuva ácida
- A energia renovável
- A água que bebemos
- O que comemos
- O impacto do aquecimento global
- Lixo doméstico

Podem obter-se directamente de:

Evelyn Van Dyx  
 Science across Europe, ASE  
 College Lane, Hatfield, Herts AL10  
 9AA,  
 England  
 Fax 00-44-707-266532  
 E-mail: Science.across@herts.ac.UK.  
 (preço aproximado: £ 20/unidade)

Atendendo à actualidade e à pertinência dos temas abordados é possível alargar o contexto das aulas de ciências a outras disciplinas e evidenciar a relevância da ciência no dia-a-dia. Além disso, a comunicação entre os alunos de várias escolas leva ao empenho na realização das tarefas conducentes ao preenchimento, por comum acordo dos alunos, de um formulário de permuta, numa ou em mais línguas, e à interpretação e o comentário das respostas escritas num formulário de permuta semelhante enviado por escolas de outros países.

Os alunos beneficiam, assim, do envolvimento num projecto que lhes possibilita a comunicação em várias línguas e lhes permite conhecer as perspectivas de alunos de outros países.

Os relatos de alunos recebidos na ASE provêm de países diversificados, desde a França à Alemanha, passando pela Eslovénia e pela Rússia. A *Newsletter* do projecto publicou, mais de uma vez, relatos realizados em Portugal evidenciando que o estudo dos temas científicos ganha significado e desperta interesse.

Os professores também têm comentários muito positivos acerca do projecto. Por exemplo, uma professora da Escola Secundária Santa Maria, em Sintra, relata que «o projecto motiva os alunos e cria condições para lhes proporcionar a compreensão dos factores que afectam as estruturas sociais, com vista à procura de uma melhor qualidade de vida — porque o futuro de hoje está «nas mãos» dos nossos alunos».

### O que acontece ao seu lixo?

Uma experiência colectiva de ensino a nível europeu.

No último mês de Março mais de 100 escolas em toda a Europa tomaram parte numa workshop de

ciências e compartilharam resultados sem sair da zona da sua cidade! Durante quatro semanas os alunos analisaram o lixo produzido nas suas casas e nas suas escolas e recolheram informação sobre como é tratado o lixo na comunidade em que habitam. Os alunos destas escolas tomaram parte no desenvolvimento da unidade «Lixo doméstico», a última unidade produzida pelo projecto «Ciência através da Europa».

Na semana de 13 a 18 de Março os alunos permutaram informação com alunos de outros países europeus. Muita desta permuta teve lugar por meio de telefax, alguma por correio electrónico, mas para uma escola da Ucrânia o sistema postal foi o único meio de comunicação.

A 23 de Março muitos dos professores envolvidos no projecto encontraram-se para uma workshop de dimensão europeia, que teve o apoio da União Europeia. Os grupos — a trabalhar em Portugal, França, Alemanha, Itália, Holanda, Espanha, Polónia, Eire e Inglaterra — trocaram informação ao longo do dia por telefax e por correio electrónico.

Em Portugal os trabalhos realizaram-se na sede das Sociedades de Física e Química, em Lisboa, com alunos e professores de sete escolas.

Ainda no âmbito da participação portuguesa, a Dra. Maria da Luz Castro, da Escola Secundária D. Dinis (Lisboa), interveio na sessão realizada em Cork, Irlanda, relatando o trabalho desenvolvido na sua escola, com a utilização das unidades didácticas.

#### Informações adicionais:

Dra. Mariana Pereira  
Departamento de Educação, Faculdade de Ciências — Univ. Lisboa, Campo Grande — C1-3, P-1700 Lisboa PORTUGAL. Tel. 01-7573141, Fax 01-7573624, E-mail: Emariana@skull.cc.fc.ul.pt.

## CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO

Introdução de Métodos de Análises Estruturais e Morfológicas de Materiais

- Baseados na Óptica Microscópica, Difractiva e Espectroscópica dos Raios X

Universidade da Beira Interior, Covilhã  
19 a 22 de Julho de 1995

Infor.: Prof. Dr. Luis Gonzaléz Roldán  
Centro de Óptica - UBI  
R. Marquês d'Ávila e Bolama, 6200 Covilhã  
Tel: (075) 314207, ext. 194  
Fax: (075) 26198; Telex 53733 UBI P

## DELEGAÇÃO REGIONAL DO SUL E ILHAS DA SPF

— Nova Direcção —

Em processo eleitoral intercalar para o triénio 1993-1995, realizado a 11 de Abril de 1995, foi eleita uma nova Direcção para a Delegação do Sul e Ilhas da Sociedade Portuguesa de Física. A nova Direcção é constituída pelos professores:

Presidente - João Pires Ribeiro  
Secretário - António Joaquim Barbosa  
Tesoureiro - Eduardo Jorge C. Alves  
Vogal - Anabela Bastos T. Martins  
Vogal - Pedro José O. Sebastião

Em breve a nova direcção entrará em contacto com todos os sócios de forma a dar-lhes conta das actividades a realizar a curto prazo e de outras informações relevantes.

## QUOTAS DA SPF

Prezado sócio: se ainda não pagou as suas quotas para o ano de 1994 e 1995, agradecemos que o faça o mais rapidamente possível junto da respectiva Delegação.

Assegurará desta forma melhores condições para o planeamento e expansão das actividades da Sociedade, para a recepção regular da *Gazeta de Física*, bem como a recepção gratuita da revista *Europhysics News*.

#### Quotas para não-estudantes

Ano de 1994.....3.000\$00  
Ano de 1995.....5.000\$00

#### Quotas de estudantes

Ano de 1994.....1.500\$00  
Ano de 1995.....2.500\$00

## NOVOS PROGRAMAS EUROPEUS PARA A JUVENTUDE

### *Programas Sócrates, Leonardo e Juventude para a Europa III*

Depois de catorze meses de negociações, foram adoptados os três programas europeus em matéria de educação, formação e juventude para o período de 1995-99. Em Dezembro transacto, os ministros da UE tinham autorizado o programa *Leonardo* (formação), com um orçamento de 620 milhões de ecus. Os programas *Sócrates* (educação) e *Juventude para a Europa III*, que exigiam a aprovação conjunta do Conselho de Ministros e do Parlamento Europeu, foram formalmente aprovados em 10 de Março, com orçamentos de 850 milhões de ecus e 126 milhões, respectivamente. O orçamento do programa *Sócrates* será revisto ao fim de dois anos.

O programa *Sócrates* apoia a cooperação europeia em todos os níveis da educação, incluindo o ensino superior, o ensino escolar, a aprendizagem linguística, a educação de adultos, o ensino aberto e à distância, a escolaridade dos filhos de trabalhadores migrantes e ciganos, etc..

O programa *Leonardo* representa a primeira aplicação de uma política de formação profissional europeia em conformidade com o Tratado de Maastricht. Assente no conceito de formação contínua, o programa cobre, a um tempo, a formação inicial e a formação permanente por meio de projectos-piloto transnacionais e de programas de colocações e intercâmbios.

O programa *Juventude para a Europa III* visa os jovens não integrados nas estruturas formais de ensino e formação, e animadores de juventude, que, de outra forma, teriam poucas oportunidades de participar em iniciativas comunitárias.

O que se segue à adopção de programas? Essencialmente o seguinte:

✍ Para cada programa, os participantes potenciais carecem dos documentos operacionais *Vademecum* e *Guia do Candidato* que explicam os critérios de elegibilidade, as actividades abrangidas e as disposições práticas envolvidas. Estes documentos estão em fase avançada de preparação e serão apresentados para aprovação final no final do mês de Março, nomeada-

mente aos comités relevantes dos programas. Depois da tradução para as línguas oficiais da UE, serão distribuídos em Maio/Junho.

Para cada programa, o *Vademecum* e o *Guia do Candidato* poderão ser obtidos nas unidades de contacto nacionais que estão a ser criadas em cada Estado-Membro. Serão também acessíveis *on-line* via Internet (Erasmus Master Gopher: [erasmus.ulb.ac.be](http://erasmus.ulb.ac.be), ou via Gopher home page: "International Organizations") e redes universitárias.

- ✍ Em Maio, serão realizadas conferências de lançamento dos três programas a nível europeu (em Bruxelas) e a nível nacional (em cada Estado-Membro).
- ✍ Nos meses de Maio e Junho, serão organizadas reuniões informativas em cada Estado-Membro da UE, na forma de conferências nacionais, que contarão com oradores da Comissão Europeia, ao mesmo tempo que outras acções de informação serão consagradas a grupos mais específicos, como universidades, escolas e professores.

Para mais informações, contactar com: Comissão Europeia, DG XXII, rue Belliard 5, B-1049 Bruxelas, telefax: (33-2)296.42.58.

## PHYSICS STUDIES FOR TOMORROW'S EUROPE

*Gent, Bélgica, 7-8 Abril 1995*

### *Conclusões, Recomendações e Perspectivas*

Science in general and physics in particular are characterized by their search for understanding nature and cultural activities. By their applications they are important in our modern high-technology society for promotion of further technological progress and economic growth. Physics teaching provides scientific literacy, i.e. it shapes the analytic thinking of a society, important for the solution of complicated social problems. Also other popularization efforts should be encouraged. Hence, good practice in Physics teaching is essential both at the Secondary School level and at the University level, both for non-Physics and for Physics students. Therefore one needs well-qualified teachers who can teach Physics in an attractive, up-to-date way.

#### I. CONCLUSÕES<sup>1</sup>

Uma licenciatura em Física deve preparar os alunos para virem a trabalhar no futuro como "Físicos" em campos muito diversos: (i) *investigação*, (ii) *indústria*, (iii) *ensino*. Complementarmente (iv) muitos licenciados em Física já têm empregos fora deste campo (esperando-se muitos mais no futuro), em actividades exigindo flexibilidade, criatividade, intuição, capacidade de resolver problemas, aptidões para a comunicação e o trabalho em equipa.

O ensino da Física ao nível básico e intermédio deve ser orientado para a cobertura dos quatro tipos de oportunidades mencionadas. Por isso esses estudos deverão ter um âmbito suficientemente geral, incluindo alguns cursos interdisciplinares e ligações com as ciências sociais e do comportamento, assim como com a economia e a gestão.

Por outro lado, os estudos avançados (em particular de doutoramento) deverão transmitir aos alunos conhecimentos profundos em campos especializados e dar uma formação de alta qualidade na investigação. Para satisfazer este último objectivo, as instituições devem ter investigação em pelo menos alguns dos campos activos e actuais da Física.

A investigação e o ensino da Física na Europa têm uma boa reputação. Estão também altamente diversificados, o que constitui uma riqueza científica e cultural a preservar na Europa. Apesar desta elevada qualidade, surgem ainda muitos problemas; alguns são de natureza geral, outros específicos de certas regiões ou países europeus. Os problemas directamente relacionados com as recomendações serão listados na secção II, registando-se aqui os restantes problemas:

- (a) Sinais de decréscimo do interesse pela Física ao nível do Ensino Secundário (ES).
- (b) A Física é considerada como disciplina difícil e "repulsiva" pelos alunos do secundário e estudantes universitários de outros cursos.
- (c) Em alguns países o ensino da Física no ES parece ter estagnado em níveis muito aquém dos desenvolvimentos actuais na Física.
- (d) Em muitos países o número de estudantes universitários em Física está a decrescer.
- (e) Baixa percentagem feminina de estudantes, docentes e investigadores em Física. Esta disparidade é mais acentuada nos países do norte do que no sul da Europa.
- (f) A duração dos estudos de Física é frequentemente (muito) superior à duração oficial. No caso dos estudos de licenciatura este excesso é em alguns casos demasiado acentuado.
- (g) Em alguns países a taxa de abandono de cursos de Física é elevada (embora não deva, obviamente, ser diminuída à custa da redução da qualidade). Não há informação sistematizada sobre as razões de abandono dos cursos de Física.
- (h) Os currícula das áreas de estágio em Física são desligados de contactos com a indústria e com os laboratórios de investigação.
- (i) A acentuada diversidade na estrutura dos cursos de Física na Europa pode criar problemas ligados à mobilidade e ao reconhecimento de cursos. Por exemplo, a abordagem "matemática" na Europa continental contrasta com a abordagem "experimental" seguida no Reino Unido e Irlanda.
- (j) O ensino aberto e à distância é pouco usado na formação em Física.
- (k)<sup>2</sup> Os calendários escolares (divisão do ano académico, começo e fim dos cursos, períodos de exame) são muito diferentes de país para país, prejudicando seriamente as possibilidades de mobilidade dos alunos e professores.
- (e)<sup>2</sup> Em alguns países o ensino pré-universitário de linguas estrangeiras é insuficiente para permitir aos estudantes o uso eficaz dos programas de mobilidade.

<sup>1</sup> Contém também a introdução em inglês.

<sup>2</sup> Estes problemas são comuns a todas as disciplinas, requerendo uma acção concentrada pelos corpos competentes (nacionais e/ou institucionais)

## II. RECOMENDAÇÕES

### 1. Mobilidade de estudantes

#### *Problemas surgidos neste campo:*

- (i) A mobilidade de estudantes de Física (sobretudo dos estudantes de licenciatura) parece ser inferior à dos estudantes de outros cursos.
- (ii) Em alguns países há uma grande assimetria nos fluxos de saída/entrada de estudantes.
- (iii) O potencial da Indústria e dos Grandes Laboratórios nacionais ou internacionais de investigação não tem sido suficientemente utilizado.
- (iv) A permuta de estudos de doutoramento é baixa.
- (v) A qualidade e o sucesso das estadias no estrangeiro [reconhecimento, pequena perda (ou não) de tempo efectivo de estudo, melhoria no conhecimento da língua e cultura do país de acolhimento, melhores perspectivas de emprego futuro] não são ainda bem conhecidas.

#### *Propostas*

- (i) Estímulo da mobilidade de estudantes em geral, através de:
  - (a) Inclusão do maior número de instituições possível nos programas de mobilidade, desejavelmente todas a longo prazo, de modo a que todos os estudantes possam aproveitar os esquemas de mobilidade, se o desejarem.
  - (b) Difusão eficaz das informações sobre programas de mobilidade existentes, utilizando os meios modernos de comunicação [equivalente ao "ECTS information package" ou ao "EMS PS database" no World-Wide-Web (WWW)].
- (ii) Estudo das causas e adopção de medidas especiais para os países com baixos fluxos de mobilidade de estudantes (in/out).
- (iii) Facilitar o estabelecimento coordenado dos currícula e mecanismos de reconhecimento, através de:
  - (a) Introdução do Sistema da Comunidade Europeia de Transferência de Créditos de Cursos (ECTS: European Community Course Credit Transfer System);
  - (b) Generalizar o uso do "boletim de candidatura do estudante como no sistema ECTS, ou da "ficha de estudante" como no sistema EMSPS.
  - (c) Colocar as necessárias informações na rede de comunicação WWW.
- (iv) Promover contactos entre estudantes e entidades empregadoras potenciais, e tirar partido de know how "exterior" através da extensão da mobilidade de estudantes à realização de trabalhos de projecto (de fim de licenciatura/teses de mestrado, ou trabalhos semelhantes) na indústria ou em grandes laboratórios de investigação internacionais ou nacionais [caso da iniciativa francesa CIFRE; pág. 64 (FR-4) do livro da conferência com os relatórios nacionais].
- (v) Promover a mobilidade no âmbito dos estudos avançados (principalmente de doutoramento), através de:
  - (a) Atribuição de uma qualificação adicional europeia ("doctor europeus") ao grau conferido pela instituição de

origem (*condições*: estadia de pelo menos 3 meses numa ou mais universidades/laboratórios de investigação estrangeiros; júri de doutoramento internacional; artigo(s) de investigação ligado(s) à tese e publicados em revistas científicas com referee; parte da defesa da tese em língua estrangeira) [cf. exemplo francês, p. 67 (FR-7) do livro da conferência com os relatórios nacionais].

(b) Organização, devidamente reconhecida, de escolas de Verão/Inverno (ver ponto 4, abaixo).

- (vi) Monitorização permanente dos aspectos quantitativos e qualitativos ligados à mobilidade em Física e elaboração de propostas com medidas adequadas para melhorar a situação.

### 2. Mobilidade de professores

#### *Problemas*

- (i) Embora a mobilidade ao nível da investigação esteja bem desenvolvida na área da Física, o mesmo não acontece no caso do ensino.
- (ii) As universidades só muito raramente recorrem a físicos trabalhando na indústria para darem aulas.

#### *Propostas*

- (i) À mobilidade de professores entre instituições deve ser dada maior prioridade e financiamento; ela é não só benéfica para os professores e instituições participantes mas também para os estudantes residentes, que podem obter alguns dos benefícios que lhes seriam proporcionados no programa de mobilidade de estudantes.
- (ii) A mobilidade de agentes de ensino, entre a indústria e as universidades, deverá ser encorajada e financiada.

### 3. Desenvolvimento de currícula

#### *Problemas*

- (i) Há muito poucas trocas de informação sobre desenvolvimento de currícula e sobre investigação em educação (em Física) tanto nos países a nível individual como entre instituições.
- (ii) Há pouco esforço comum.
- (iii) A elevadíssima diversificação nos currícula de Física na Europa conduz a dificuldades no reconhecimento profissional de diplomas, e de um modo mais geral na comparação de currícula.

#### *Propostas*

- (i) Trocas de informação: todas as universidades deveriam ser encorajadas a tornar acessível, através da rede WWW, a informação sobre os seus cursos de Física [sua estrutura, graus concedidos, currícula, sumários reduzidos das disciplinas, créditos atribuídos, avaliação e escala de classificações em relação com a escala do sistema ECTS].

- (ii) Deverá ser encorajado o desenvolvimento de currícula em Física; os projectos financiados deveriam publicar resultados intermédios e finais num modo facilmente acessível (WWW, boletim electrónico, revistas internacionais especializadas).
- (iii) Deveriam ser regularmente organizadas conferências sobre os conteúdos dos currícula de Física e sobre novas formas de ensinar Física.
- (iv) Deveriam ser encorajados os estudos comparativos de currícula.
- (v) Cursos de curta duração, conduzindo a graus mais baixos (BSc, *bachelor in science*), com ênfase na Física, são de interesse para os países da comunidade europeia. Neste campo, deverá ser incrementada a disseminação da experiência já obtida em universidades da Europa de Leste.

#### 4. Programas intensivos

##### Problemas

- (i) Há muitas Escolas de Verão/Inverno em tópicos avançados, mas a sua frequência não é geralmente reconhecida para efeitos de obtenção de graus avançados.
- (ii) A informação sobre *todas* as Escolas não está acessível aos potenciais participantes, por falta de sincronização entre Escolas.
- (iii) Há muito poucos programas de formação em *serviço* ou *curso de actualização* para professores de Física do ensino secundário, em particular ao nível europeu ou internacional. Há pouco contacto entre professores do ensino secundário e da universidade (envolvidos em cursos de introdução à Física) e daí o reduzido esforço para atenuar a transição entre o ensino secundário e universitário.

##### Propostas

- (i) Encontrar formas de validação e reconhecimento da frequência de Escolas de Verão/Inverno e Cursos Intensivos, como parte do programa de formação (avançada, sobretudo a nível de doutoramento; eventualmente também nas licenciaturas), usando possivelmente um sistema adaptado de créditos ECTS.
- (ii) Organizar cursos europeus intensivos (Escolas de Verão/Inverno) para professores do ensino secundário, com as finalidades:
  - (a) Actualização dos professores sobre os desenvolvimentos de Física e sobre métodos de ensino aplicados à Física.
  - (b) Estabelecimento de contactos e promover a coordenação entre o ensino da Física a nível secundário e os cursos de introdução na Universidade.
- (iii) Tomar medidas adequadas para assegurar a disseminação da informação e a possível sincronização entre as escolas com programas intensivos de formação.

### III. PERSPECTIVAS FUTURAS

#### «TOWARDS A EUROPEAN PHYSICS EDUCATION NETWORK»

Most of the above recommendations need further studies before they can be transformed into actions. All propositions cannot be implemented at the same time, therefore priorities must be set. Also, once launched, actions need to be monitored and improvements proposed and carried out.

It is therefore proposed to set up a permanent forum, which might be called the EUROPEAN PHYSICS EDUCATION NETWORK (EUPEN), forum which would assume the responsibility for these promotional, advisory and operational tasks.

EUPEN shall apply for support from the European Commission under the SOCRATES heading of the ACADEMIC DEVELOPMENT PROGRAMMES (ADP) for its action within the «SOCRATES space». It may possibly ask for funding from other sources. It shall operate in close connection with the European Physical Society (EPS), more specifically its Interdivisional Group on Physics Education (IGPE), consisting of the Forum on Education, the University Teaching Section and the European Mobility Scheme for Physics Students (EMSPS). It shall co-operate with similar bodies acting in other parts of the world (Asian Physics Education Network (ASPEN), Arab Physics Education Network (ARAPEN) and the Council of Inter-American Physics Education Conferences) or on the global scale (International Commission of Physics Education (ICPE)).

The network shall be open to all European universities (and equivalent institutions) giving degrees in Physics, to National and European Societies of physicists, of physics teachers (SS teachers included) and of physics students (e.g. IAPS), to industries and international/national research laboratories employing physicists.

It is proposed that the Scientific Committee of the Ghent Conference act as a working party for setting up this EUPEN network; it shall formulate its terms of reference and file a first ADP application to SOCRATES.

Let us finally note that several institutions in Central and Eastern Europe have successfully taken part in exchange programmes with universities from Western Europe, e.g. via the TEMPUS (and SOROS) programmes in the EMSP scheme.

Physics might set a promising example to continue and intensify the collaboration in education and training within all of Europe, in particular by integrating institutions from Central and Eastern Europe, and thus their students and teachers, in the proposed EUPEN network and in the new SOCRATES programme.

## Olimpíadas de Física

### OLIMPIADAS REGIONAIS

As provas regionais das Olimpíadas de Física decorreram no dia 6 de Maio, nos Departamentos de Física das Universidades do Porto, Coimbra e Lisboa. Participaram 302 alunos dos escalões A (9.º/10.º ano) e B (11.º ano) em representação de 79 Escolas C+S e Secundárias de diversas regiões do País. Todos os participantes receberam um prémio de presença.

Os vencedores das diferentes provas, a quem foram atribuídos prémios especiais foram os seguintes:

#### Região Norte

- Escalão A:** Equipa da Escola Secundária do Cerco do Porto, constituída pelos alunos Tiago Oliveira, Patrícia Lourenço e Hugo Sousa.
- Escalão B:**
  - 1.º lugar — Vítor Manuel Pereira — Esc. Secundária da Maia;
  - 2.º lugar — José Luís Magalhães Lima — Colégio Internato dos Carvalhos;
  - 3.º lugar — Rodrigo Aguiar de C. Magalhães Quintas — Esc. Secundária da Maia;
  - 4.º lugar ex-aequo:
    - Horácio Urgel Costa — Esc. Secundária de Arcozelo;
    - Mário José Campos Machado — Esc. Secundária Fernão de Magalhães de Chaves;
    - Marcus Vinicius Sobral Dhalem — Colégio Internato dos Carvalhos;
    - Lília Maria Gomes Oliveira — Esc. Secundária António Sérgio de Vila Nova de Gaia;
    - Luís Ricardo Costa Teixeira — Esc. Secundária António Sérgio de Vila Nova de Gaia.

#### Região Centro

- Escalão A:** Equipa da Escola Secundária Emídio Navarro de Viseu, constituída pelos alunos David Paulo Torres Macário, Helder Filipe Ramos da Silva e José Gabriel Marques Pires.

#### 2. Escalão B:

- 1.º lugar — Filipe Tiago Ferreira Tavares — Esc. Secundária José Macedo Fragateiro de Ovar;
- 2.º lugar — Paulo Daniel S. C. Martins — Esc. Secundária de Avelar Brotero de Coimbra;
- 3.º lugar — Tiago Dias Geraldês — Esc. Secundária Afonso de Albuquerque da Guarda;
- 4.º lugar ex-aequo:
  - António André de Matos Ferreira de S. Pereira — Esc. Secundária Latino Coelho de Lamego;
  - António Jorge Santos Nogueira — Esc. Secundária de Vouzela;
  - Carla Maria Nunes Lopes — Esc. Secundária de Carregal do Sal;
  - Pedro Miguel Reis — Esc. Secundária Alves Martins de Viseu;
  - Sérgio Manuel Marques — Esc. Secundária Nuno Álvares de Castelo Branco.

#### Região Sul e Ilhas

- Escalão A:** Equipa da Escola Secundária de Santo André, constituída pelos alunos Ndilokelwa Luís, Francisco Cortez e Marco Milharada.
- Escalão B:**
  - 1.º lugar — Miguel Alexandre Simões D. Pereira — Esc. Secundária Fernão Mendes Pinto de Lisboa;
  - 2.º lugar — David Sardinha Aveiro — Esc. Secundária Francisco Franco do Funchal;
  - 3.º lugar — Nuno Miguel Lobo Matela — Esc. Secundária Dr. Manuel Fernandes de Abrantes;
  - 4.º lugar ex-aequo:
    - André Filipe Cunha e Silva — Esc. Secundária Josefa de Óbidos de Lisboa; Juan Mata — Esc. Secundária Francisco Franco do Funchal;
    - Nuno André Cerqueira Borges — Esc. Secundária Dr. Manuel Fernandes de Abrantes;
    - José Tiago Almeida Paramos — Esc. Secundária Josefa de Óbidos de Lisboa;
    - Pedro Alexandre Jacinto — Esc. Secundária de Santa Maria de Sintra.

A fase regional das Olimpíadas de Física teve o apoio da Secretaria de Estado da Educação e do Desporto.

**Os vencedores das Olimpíadas Regionais participarão nas Olimpíadas Nacionais de Física que decorrerão em Coimbra, de 22 a 24 de Junho, e cuja organização está a cargo da Delegação Regional do Centro da Sociedade Portuguesa de Física.**

**PROBLEMAS DAS OLIMPIADAS REGIONAIS DE FÍSICA 95**

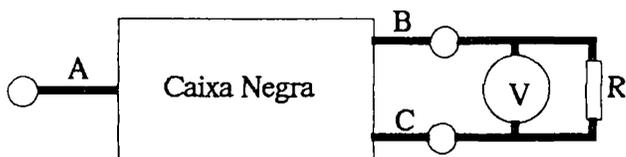
**Prova Experimental**

**ESCALÃO A (duração 1,30 h)**

**A CAIXA NEGRA**

Na tua frente tens uma caixa «negra» com três terminais (A, B, C), contendo uma pilha seca e resistências. Tens também um voltímetro, e um conjunto de resistências.

- Mede a diferença de potencial entre os pontos A e B, B e C, e A e C.
- Monta o circuito indicado na figura e regista os valores da diferença de potencial nos terminais da resistência R. Procede de modo semelhante para outros valores de R.
- Traça o gráfico da diferença de potencial em função da intensidade de corrente na resistência R.
- Repete a experiência anterior para os outros pares de terminais.
- Curto-circuita os pontos A e B. Repete a experiência entre este ponto comum e C.

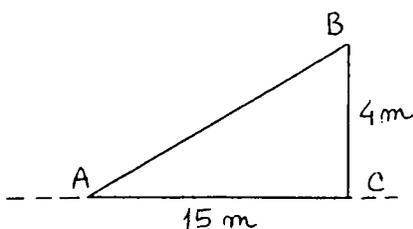


- A partir dos resultados que obtiveste determina o circuito existente no interior da caixa negra.

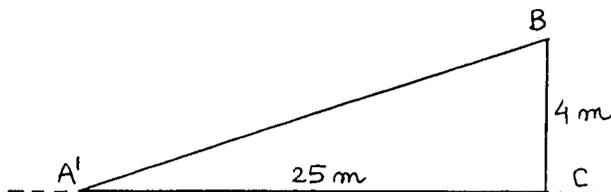
**SOBE, SOBE BIDÃO SOBE!**

a) Um operário serve-se da rampa AB para empurrar um bidão com 50 litros de água até ao ponto B. O bidão tem adaptados uns rolamentos de modo a tornar desprezável o atrito. O operário empurra o bidão com uma força constante de 126,25 Newton.

Sabendo que a subida é efectuada com velocidade constante, calcula o trabalho realizado pelo homem desde A até B. Qual o valor da energia potencial do bidão no ponto B?



b) Para atingir o mesmo ponto B, um outro trabalhador resolveu igualmente usar uma rampa A' B de menor inclinação; tratando-se de transportar um bidão igual, também com velocidade constante, terá que exercer uma força maior, menor ou igual ao primeiro? No caso de ser diferente, qual o seu valor?



c) Chegado ao ponto B, e depois de o bidão estar parado, o trabalhador distraiu-se e deixou-o cair tendo ido embater no solo no ponto C. Imediatamente antes de chocar com o solo, qual a energia cinética do bidão?

d) Supondo que o solo fosse um bom isolante térmico e que o recipiente fosse feito de um material com capacidade calorífica desprezável, toda a energia cinética se transformaria em energia térmica da água. Calcula, nestas condições, a variação de temperatura da água.

e) Supõe agora que há atrito entre a rampa e as rodas do bidão. A variação de temperatura da água, referida em d), seria maior, menor ou igual? Justifica.

**Dados:**

- $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ;
- densidade da água:  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ;
- capacidade calorífica específica da água:  $c = 4185 \text{ J/(kg } ^\circ\text{C)}$

**ESCALÃO B (duração 1,30 h)**

**PENDULICES**

Muitos movimentos observados na natureza são periódicos. É o que sucede, por exemplo, com o movimento pendular.

Vamos observar algumas características desse movimento.

Não te esqueças que, num trabalho experimental, é muito importante procurar reduzir, na medida do possível, os erros cometidos.

O material que se encontra à tua disposição permite construir pêndulos simples.

1. Verifica se o período do movimento pendular depende:

- da massa oscilante;
- do comprimento do fio.

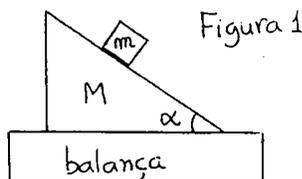
Regista as medidas que fizeste e os resultados que obtiveste.

2. Representa graficamente os resultados obtidos para o período do movimento, nas experiências que realizaste.
3. Se alguma das dependências encontradas na representação gráfica não for linear (isto é, do tipo  $y=mx+b$ ), procura encontrar uma relação desse tipo, envolvendo as grandezas em estudo.
4. Repete este procedimento, procurando agora relacionar a frequência angular do movimento com o comprimento do fio.  
Procura traçar um gráfico tal que o declive da recta represente uma constante física conhecida.

### FORÇA NA BALANÇA

Um corpo de massa  $m$  desce sem atrito por um plano inclinado de massa  $M$ .

O conjunto está assente sobre uma balança, como se mostra na figura, e o plano inclinado não se move em relação à balança.



a) Calcula o valor indicado no mostrador da balança;

b) Calcula a força exercida pela balança no plano inclinado.

*Nota:* Faz esquemas onde representes as forças aplicadas no corpo e no plano inclinado.

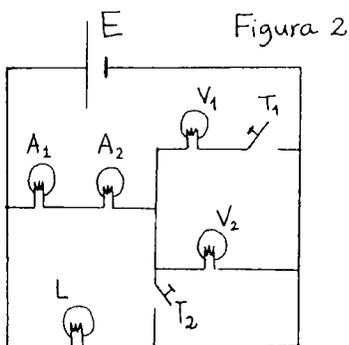
### A FESTA DA LUÍSA

Para festejar o seu aniversário, a Luísa pretende transformar a garagem numa minidiscoteca. Para iluminar a garagem, resolveu construir um circuito com lâmpadas de várias cores. Utilizou 2 lâmpadas azuis (A), 2 vermelhas (V) e uma cor de laranja (L), todas com a mesma resistência  $R$ , e ligou-as, como mostra a figura 2, a um gerador ideal de tensão contínua. Utilizou 2 interruptores  $T_1$  e  $T_2$ .

a) Qual a relação entre os brilhos \* das várias lâmpadas, se o interruptor  $T_1$  estiver fechado e  $T_2$  aberto?

b) Como se alteram os brilhos das lâmpadas se, mantendo  $T_2$  aberto, se abrir também  $T_1$ ?

c) Fechando  $T_1$  e  $T_2$  simultaneamente, com se alteram os brilhos das várias lâmpadas?



\* *Nota:* Supõe que o brilho destas lâmpadas é proporcional à potência dissipada.

## OLIMPIADAS INTERNACIONAIS DE FÍSICA

A prova de selecção para as Olimpíadas Internacionais de 1995 (IPhO'95) realizou-se em Coimbra nos dias 12 e 13 de Maio. Participaram os oito alunos vencedores do escalão B da Olimpíada Nacional de 1994.

Ficaram apurados os seguintes cinco alunos:

1.º João Manuel Queirós F. Oliveira Baptista — Esc. Sec. Dr. Manuel Fernandes, Abrantes

2.º Cláudio Manuel Neves Valente — Esc. Sec. Maria Lamas, Torres Novas

3.º Rui David Martins Travasso — Esc. Sec. Camilo Castelo Branco, V. N. Famalicão

4.º João Pedro Pirotto Duarte — Esc. Sec. José Estêvão, Aveiro

5.º João de Medina Prata Pinheiro — Esc. Sec. António Sérgio, V. N. Gaia, que constituirão a representação nacional à IPhO'95 que se realiza em Camberra, Austrália, de 5 a 12 de Julho.

Ao longo do ano lectivo, os oito alunos envolvidos nesta fase das Olimpíadas tiveram um acompanhamento especial por parte de professores nomeados pelas suas Escolas. A SPF agradece o empenhamento dos seguintes professores que colaboraram nesta actividade: Dr.ª Maria Eugénia Carvalho Campos Costa, da Esc. Sec. Camilo Castelo Branco, Vila Nova de Famalicão; Dr. Manuel Pereira da Silva, da Esc. Sec. António Sérgio, Vila Nova de Gaia; Dr. José Manuel da Silva Morgado, da Esc. Sec. Maria Lamas, em Torres Novas; Dr. António Ramiro do Coutos Alves Ferreira, da Esc. Sec. Dr. Manuel Fernandes, de Abrantes; Dr. Joaquim Manuel Moutinho Morgado, do Colégio Liceal de St.ª Maria de Lamas, Vila da Feira; Dr. João André Carolino e Dr.ª Maria de Fátima dos Reis Valentim Leite, da Esc. Sec. de Alvide, Cascais; Dr.ª Maria José Baptista Pinto Bandeira Mateus, da Esc. Sec. José Falcão, Coimbra; Dr.ª Maria da Graça Almeida Seabra e Frade Ruivo, da Esc. Sec. José Estêvão, Aveiro.

No âmbito da preparação destes alunos, realizou-se nos dias 24 e 25 de Março passado, no Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, um encontro de trabalho dos oito alunos, acompanhados dos respectivos professores.

A reunião serviu para aprofundar os conhecimentos nos domínios da Óptica, Ondas, Electromagnetismo e da Física Experimental. Agradece-se aos Profs. António P. Leite, Manuel J. Marques, José M. Moreira e Rafaela P. Pinto que colaboraram nesta actividade.

A fase Nacional das Olimpíadas de Física realiza-se em Coimbra, no Departamento de Física da Universidade, de 22 a 24 de Junho.

**PROVA DE SELECÇÃO PARA AS OLIMPIADAS INTERNACIONAIS DE FÍSICA**

**Prova Experimental n.º 1 (1,45 h)**

**PÊNULOS**

Material: Placa com furos, suportes, cronómetro, régua, balança, fio, chumbo.

Na apresentação da tua resposta inclui diagramas esquemáticos, tabelas, gráficos, etc., de modo a que fique claro o procedimento que adoptaste e que seja possível avaliar o que realmente fizeste.

1) Desenvolve um conjunto de experiências que te permitam determinar o centro de massa da placa.

2) Põe a placa a oscilar em torno do ponto A. O objectivo da experiência é a determinação do momento de inércia da placa relativamente ao eixo perpendicular à placa que passa por esse ponto. Diz como procedeste e apresenta os conceitos teóricos que usaste e os cálculos que efectuaste.

3) A partir do resultado anterior diz qual é o momento de inércia da placa relativamente ao eixo que lhe é perpendicular e que passa pelo centro de massa.

4) Com o fio e o chumbo que tens à tua disposição obtém experimentalmente a dependência da frequência de oscilação do pêndulo simples com o seu comprimento. A partir destes resultados determina o comprimento do pêndulo com frequência igual à da placa. Compara o valor do comprimento que assim obtiveste com o valor esperado calculado para essa frequência de oscilação.

*Nota:* Faz uma estimativa dos erros envolvidos em cada passo das experiências e também dos erros que afectam os resultados finais. Utiliza sempre unidades do S.I.

**Prova Experimental n.º 2 (1,45 h)**

**A CAIXA DO MANOEL**

O Manoel tem uma caixa mas não sabe o que ela contém. Um amigo lá lhe foi dizendo que alguém tinha lá colocado uns componentes eléctricos (podem ser resistências, condensadores ou bobinas) mas não sabia quantos nem como estavam ligados entre si. Sabia apenas que tinha feito umas ligações para o exterior da caixa a que chamou terminais 1, 2 e 3.

O objectivo do trabalho é identificar os componentes (o que são e qual o seu valor) que estão dentro da caixa e como estão ligados.

Indica claramente o procedimento que usares e apresenta as conclusões a que vais chegando no decorrer das medições.

Dispões do seguinte material:

- Multímetro (amperímetro/voltímetro) AC/DC
- Osciloscópio
- Gerador AC de frequência variável
- Gerador DC
- Resistência externa

**Notas:**

1. Podes aplicar, sem qualquer problema, tensões AC ou DC entre os terminais da caixa desde que não sejam superiores a 5 V.

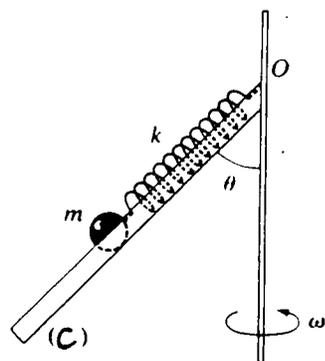
2. As leituras no multímetro só são fiáveis para frequências entre 40 Hz e 1 KHz.

3. Do material que dispões podes usar o que entenderes (todo ou apenas parte).

**Prova Teórica (3,30 h)**

**RODA E ESTICA**

1. O sistema representado na figura é constituído por uma calha C soldada a uma haste vertical que pode rodar. Sobre a calha, inclinada de um ângulo  $\theta$  relativamente à vertical, está pousada uma esfera de massa  $m$ . Esta esfera está presa a uma mola de constante  $k$  e de comprimento  $d_0 = 20$  cm. Considera que a esfera é pontual, e que não há atrito entre esta e a calha.



1. O sistema está imóvel. Com uma esfera de massa  $m = 200$ g, para um ângulo  $\theta = 60^\circ$  o comprimento da mola passa a ser de  $d_1 = 30$  cm. Calcula a constante  $k$  da mola e a reacção  $R_1$  da calha sobre a esfera. [Dado:  $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ ]

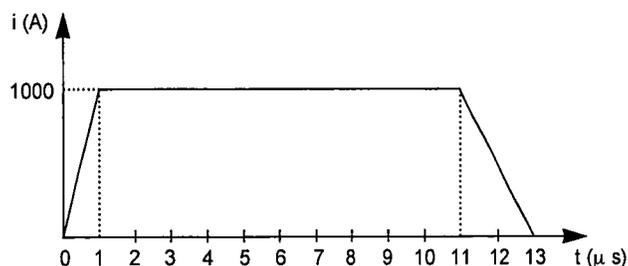
2. O sistema roda em torno do eixo vertical com velocidade angular constante  $\omega = 4 \text{ rad s}^{-1}$ .

a) Determina o comprimento  $d_2$  da mola e a reacção  $\vec{R}_2$  da calha sobre a esfera, quando esta atinge a posição de equilíbrio.

b) A esfera descola da calha quando o valor de  $\omega$  é superior a um certo valor  $\omega_0$ . Calcula esse valor.

## F. E. M. INDUZIDA

II. Um fio infinito é percorrido por uma corrente  $i(t)$ , cuja dependência temporal se mostra no gráfico.



A uma distância  $d = 1$  m é colocada uma espira imóvel de área  $A = 1$  cm<sup>2</sup>, sobre um plano que contém o fio condutor. A dimensão da espira é desprezável relativamente a  $d$ , de tal modo que o campo magnético se pode considerar uniforme na região da espira.

a) Calcula, em função do tempo, a força electromotriz induzida na espira, e representa-a graficamente.

b) Considera agora que a espira tem uma indutância  $L = 5$  nH e que o fio que a constitui tem uma resistência  $R = 20$  mΩ. Esboça, num gráfico, a variação temporal da corrente na espira. Justifica.

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

## VIAGEM INTER-ESTELAR

III. Estamos no ano 3004 e acabaste de ser nomeado assessor científico do Ministro para as Viagens Inter-estelares (MVI). Como sabes, a tecnologia no alvor do quarto milénio permite construir naves espaciais que se deslocam à velocidade de cruzeiro de  $0.7c$ . O MVI gostaria de enviar uma missão às proximidades de Vega,  $\alpha$  Lyr, estrela localizada a 26.4 anos-luz. Ele pretende, no entanto, que os astronautas não envelheçam mais de 20 anos na viagem de ida (todos eles querem regressar a casa e gozar ainda uma reforma *ao Sol!*)

a) Que dirias ao MVI? Darias assentimento ao projecto?

b) Do ponto de vista dos astronautas quando se deslocam na nave à velocidade de cruzeiro, qual a distância Terra-Vega,  $\alpha$  Lyr?

## CARTAS DOS LEITORES

### Uma visão pessoal da Física

Para além das aplicações tecnológicas, a Física como actividade criativa da mente humana sempre me fascinou.

Por detrás do rigor científico, das frias expressões e símbolos matemáticos, que assustam e desarmam, esconde-se uma construção conceptual elegante, que agrada ao espírito e que é uma tentativa de resposta ao desejo insaciável de compreender o Universo com todos os seus enigmas e paradoxos. O estudo da Física pode trazer benefícios largos à personalidade que a ele se dedica. É conducente à honestidade e consistência de carácter, ensina a relatividade das coisas e portanto a tolerância e a aceitação de ideias novas.

Como parte integrante da Astronomia, a Astrofísica oferece a base para a descrição e compreensão do infinitamente grande, tendo a tarefa formidável de explicar a diversidade gigantesca de fenómenos e objectos celestes, tais como estrelas em formação, propriedades de nuvens moleculares, processos interestelares, formação dos núcleos dos elementos, explosão de supernovas, processos físicos em estrelas-de-neutrões, pulsares, quasares e buracos negros, energética de objectos extra-galácticos, jactos em núcleos galácticos activos, etc..

Vivemos presentemente numa era em que se multiplicam as descobertas das ciências da Terra e do espaço, entre elas as ciências planetárias e a Astronomia/Astrofísica. Estudos ambientais têm revelado que a vida no nosso planeta depende da manutenção de condições físicas e químicas conseguida à custa de um sistema de retroacção muito delicado e possivelmente frágil que se encontra actualmente ameaçado. Problemas globais do ambiente, tais como o efeito-estufa ou a destruição da camada de ozono são alguns sinais de tal situação. Por outro lado, estudos de planetologia comparada, mostram bem como é único, e portanto precioso, o nosso planeta — “o planeta azul”.

O estudo da Astronomia/Astrofísica, com a sua perspectiva cósmica do lugar do homem e da Terra no Universo físico, é presentemente cada vez mais importante numa civilização cada vez mais planetária cujos membros terão de se pronunciar em questões fundamentais para este planeta, importando pois que uma perspectiva mundial oriente as suas intervenções sociais e políticas.

Possam os estudantes e o público em geral ter acesso à visão cósmica da Astronomia e à fonte de fascínio e prazer que ela constitui.

João Lin Yun

João Lin Yun é professor auxiliar do Departamento de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa. É doutorado em Astronomia e Física pela Universidade de Boston, EUA.

# XXV REUNIÃO BIENAL E 5.º ENCONTRO IBÉRICO PARA O ENSINO DA FÍSICA

Santiago de Compostela — 18-23 Setembro de 1995

A XXV Reunião Bienal da Real Sociedade Espanhola de Física e o 5.º Encontro Ibérico para o Ensino da Física, realizar-se-ão em Santiago de Compostela, Palácio de Congressos, Bairro de San Lázaro, coincidindo com a comemoração do 5.º Centenário da Fundação da Universidade de Santiago.

## XXV REUNIÃO BIENAL

O programa científico incluirá conferências plenárias de interesse geral, bem como sessões independentes e simpósios sobre os diferentes domínios da Física. As conferências plenárias contam com a participação de vários Prémios Nobel e individualidades científicas do mais alto nível. Serão organizadas mesas-redondas acerca da influência da Física na Sociedade e na Indústria. Alguns grupos especializados das Sociedades Espanholas de Física e Química organizarão simpósios paralelos à Bienal.

As comunicações poderão ser apresentadas oralmente e em poster. As comunicações orais terão uma duração máxima de 15 minutos seguidas de 5 minutos de discussão. Depois da sessão de posters realizar-se-ão mesas-redondas, para a apresentação do trabalho realizado por cada equipa, seguindo-se a sua discussão. Estas mesas-redondas serão dirigidas por membros da Comissão Científica. Para apresentar comunicações ou posters é necessário que pelos menos um dos autores esteja inscrito na Conferência.

Proferirão conferências plenárias os seguintes Prémios Nobel: *Prof. James W. Cronin*, Universidade de Chicago, *Prof. Ilya Prigogine*, Universidade Livre de Bruxelas, *Prof. Burton Richter*, Stanford Linear Accelerator Center, California, *Prof. Steven Weinberg*, Universidade de Texas, Austin (aguarda confirmação) e o Prémio Príncipe das Astúrias, *Prof. Manuel Cardona*, Max Planck Institute.

## Temas

A1. Adsorção; A2. Acústica; A3. Física da Atmosfera e Oceanos; A4. Física Atómica e Molecular; A5. Astrofísica; A6. Biofísica; A7. Ciência de Materiais; A8. Cristalografia; A9. Coloides; A10. Electricidade e Magnetismo; A11. Electrónica; A12. Espectroquímica; A13. Estrutura da Matéria; A14. Estado Sólido; A15. Impacto Ambiental; A16. Informática e Automática; A17. Macromoléculas; A18. Física Médica; A19. Física Nuclear; A20. Óptica; A21. Polímeros; A22. Química Física; A23. Reologia; A24. Teledeteção; A25. Termodinâmica, Termoquímica, Calorimetria e Análise Térmica; A26. Física Teórica; A27. Tribologia; A28. Tecnologia de Alimentos.

## 5.º ENCONTRO IBÉRICO PARA O ENSINO DA FÍSICA

Este Encontro será realizado em paralelo com a Reunião Bienal, numa organização conjunta da Real Sociedade Espanhola de Física e da Sociedade Portuguesa de Física. As sessões deste Encontro serão realizadas na Faculdade de Física. Será entregue um certificado de presença aos professores do ensino secundário, com 3 créditos.

## Temas

Estão já asseguradas as seguintes conferências plenárias: Prof. Victor Hugo Hamiltly, Universidade Nacional de Córdoba (Argentina) e Prof. José Aguilar Peris, Universidade Complutense de Madrid.

B1. História da Física; B2. Didáctica da Física

## Inscrições

Antes de 1 de Junho de 1995	
Sócios R.S.E.F., R.S.E.Q. e S.P.F.	24 000 pts
Sócios aderidos	27 000 pts
Não sócios	30 000 pts
Acompanhantes	12 000 pts
Estudantes do 3.º ciclo	12 000 pts
5.º Encontro Ibérico	15 000 pts

Depois de 1 de Junho de 1995 será aplicada uma sobretaxa de 5000 pts. Os pagamentos das inscrições serão efectuados por transferência bancária através da conta *c/cte. 06502601027948 Banco Barclays, General Pardiñas 9-11. 15701 Santiago de Compostela.*

Será elaborado um programa completo para os acompanhantes, que lhes permitirá conhecer, não só Santiago de Compostela, mas também as partes mais belas da Galiza: excursões, concertos, visita à cidade iluminada, recepções.

A reserva de quartos está a cargo da *Viages Canoa, República del Salvador 14-1.º Esq., Tel. (981) 592977 Santiago*, devendo os interessados dirigir-se directamente à mesma. Aconselhamos que as reservas sejam efectuadas o mais cedo possível, dado o grande número de congressos que se realizam durante o mês de Setembro.

## Para mais informações:

Secretariado da XXV R.B.R.S.E.F.  
Facultad de Física, Campus Sur.  
15706 Santiago de Compostela – España.  
Tel: 981 563100 ext. 4038 ou 3987,  
(981) 520000, Fax: (981) 520676.  
Email: fapazand@usc.es

NO PRÓXIMO NÚMERO

G A Z E T A D E  
**FÍSICA**

CELEBRAÇÕES DO 1.º CENTENÁRIO  
DA DESCOBERTA DOS RAIOS X