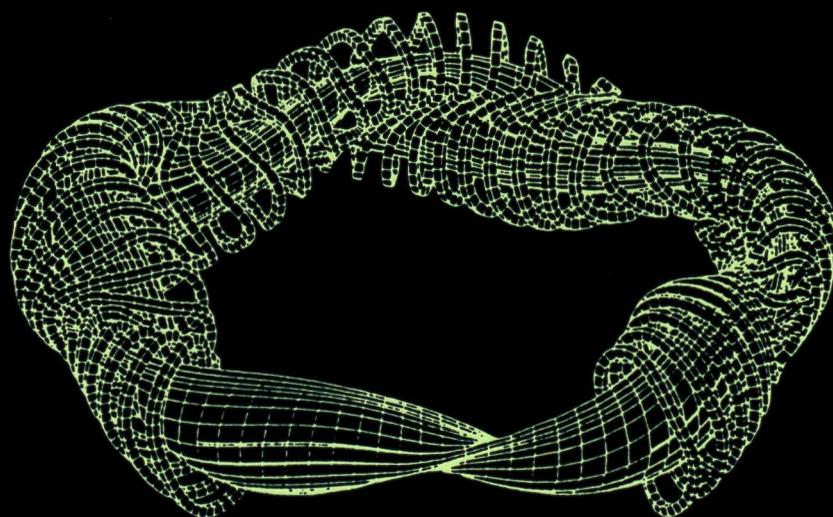


G A Z E T A D E

FÍSICA



SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA

VOL. 16 • FASC. 2 • 1993 • PUBLICAÇÃO TRIMESTRAL • ABRIL / JUNHO

Gazeta de Física

Propriedade da Sociedade Portuguesa de Física

Registo na DGCS n.º 107280 de 13/5/80

Depósito Legal n.º 51419/91

Publicação Trimestral

N.º 2 - 1993

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)

Execução Gráfica

Imprensa Portuguesa

Rua Formosa, 108-116, 4000 Porto

Telefone (02) 2002466

Fax (02) 2015105

Tiragem: 2500 exemplares

Preço avulso: 600\$00

Assinatura anual (quatro números):

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

35 US dólares (estrangeiro)

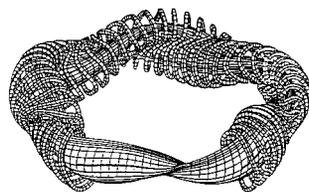
Distribuição gratuita aos sócios da SPF

Publicação subsidiada pela Junta Nacional
de Investigação Científica e Tecnológica e pela
Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia.

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

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

Na capa: Sistema de confinamento magnético de plasma para a fusão termonuclear no sistema Advanced Stellarator. As bobinas não-planares na periferia do toroide, com geometria especial (tridimensional), otimizada em computador, produzem um campo magnético toroidal de confinamento do plasma à elevadíssima temperatura de milhões de graus centígrados.



SUMÁRIO

2

FULLERENOS: UMA NOVA FAMÍLIA DE COMPOSTOS DO CARBONO

José Luís Martins

9

FUSÃO TERMONUCLEAR CONTROLADA

H. Bruhns

16

A TERRA, O COSMOS E A ENTROPIA

António Heitor

19

USO DE MICROCOMPUTADORES NO ENSINO DE FÍSICA

William Macdonald, Edward Redish e Jack Wilson

25

O QUE HÁ DE NOVO?

26

OLIMPIADAS DE FÍSICA

31

CIÊNCIA ATRAVÉS DA EUROPA

32

PROGRAMA EUROPEU DE MOBILIDADE PARA ESTUDANTES DE FÍSICA

FULLERENOS: UMA NOVA FAMÍLIA DE COMPOSTOS DO CARBONO

JOSÉ LUÍS MARTINS

Departamento de Física, Instituto Superior Técnico, Lisboa — INESC, Lisboa

Introdução

O C_{60} é uma molécula surpreendente e fascinante. Os sessenta átomos de carbono dessa molécula estão dispostos de uma maneira altamente simétrica formando uma estrutura com doze pentágonos e vinte hexágonos na qual todos os átomos ocupam posições equivalentes (Fig. 1). A recente descoberta e síntese em quantidades macroscópicas dessa molécula desencadeou uma actividade intensa de investigação das suas propriedades por vários grupos de físicos e químicos.

Grande parte do interesse nesta molécula deve ser atribuído ao fascínio que as formas geométricas de alta simetria exercem sobre o espírito humano. Os matemáticos gregos da antiguidade já conheciam os cinco poliedros regulares ou sólidos «platónicos» (tetraedro, cubo, dodecaedro, octaedro e icosaedro), sólidos de alta simetria que têm como faces polígonos regulares idênticos (1). Devido à influência da escola pitagórica, onde a matemática dedutiva coexistia com o misticismo religioso (2), houve várias tentativas de associar à existência destes cinco sólidos platónicos um significado cosmológico. Assim dos quatro elementos, os átomos da terra tinham a forma de cubos; os de fogo, tetraedros; os de ar, octaedros; e os de água icosaedros. Quanto ao dodecaedro, «tinha sido usado por deus na delineação do universo», segundo uma frase obscura de Platão (3) que revela bem a

importância dada pelos gregos aos poliedros com simetria pentagonal. Não é apenas no Ocidente que se atribuiu um significado esotérico aos poliedros regulares e à simetria pentagonal: na tradição hindu é o icosaedro que é associado ao plano do Universo. No princípio da era da ciência moderna ainda Kepler afirmava (4) que a órbita de Mercúrio pertencia a uma esfera que estava inscrita num octaedro, o qual era circunscrito pela esfera da órbita de Vénus. Na sua cosmogonia o icosaedro, o dodecaedro, o tetraedro e o cubo separavam as esferas de Vénus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno. Havia apenas seis planetas porque existiam apenas cinco sólidos regulares!

As relações de simetria entre os diversos sólidos platónicos constituem a parte principal do livro XIII dos *Elementos* de Euclides. Este livro discute também algumas das figuras resultantes da intersecção dos sólidos platónicos, da

(1) A teoria dos sólidos regulares deve-se a Teeteto, o qual descobriu o octaedro e o icosaedro. A prova de que existem apenas cinco poliedros regulares convexos encontra-se no corolário da proposição 18 do livro XIII dos *Elementos* de Euclides.

(2) É extremamente curioso que a matemática enquanto ciência dedutiva tenha as suas origens numa comunidade religiosa que impunha aos seus membros tabus primitivos como seja o de não comer feijões, ou a proibição de apanhar objectos que tenham caído ao chão.

(3) Platão, *Timeo*.

(4) J. Kepler, *Mysterium Cosmographicum*, (1596).

Descoberta das macromoléculas C_n

Os novos sólidos moleculares

Ligas de C_{60} com metais alcalinos

Propriedades físicas e supercondutividade

Aplicações

qual resultam sólidos semi-regulares por vezes chamados sólidos de Arquimedes. Devido ao desaparecimento de grande parte da literatura matemática da antiguidade, as

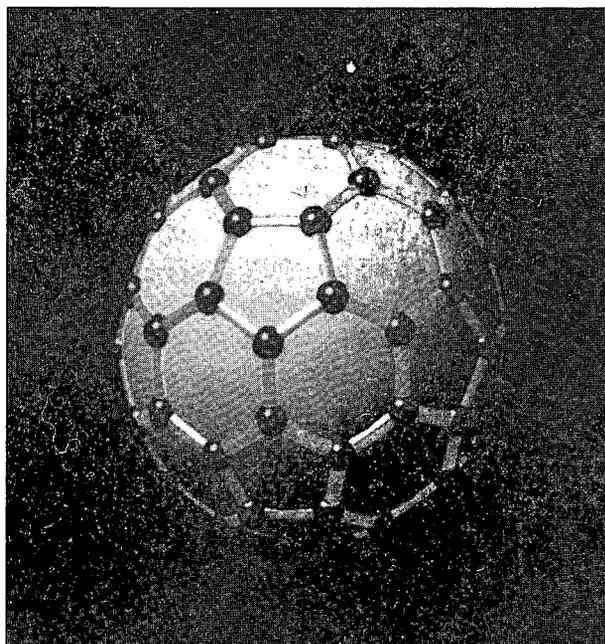


Fig. 1 — Modelo esquemático de uma molécula de C_{60} . As posições dos átomos são indicadas por esferas e os cilindros representam as ligações químicas covalentes. A esfera central que encobre parte da molécula foi acrescentada para realçar a sua esfericidade. De notar que todos os sessenta sítios atômicos são equivalentes.

mais antigas referências conhecidas sobre a figura obtida pela intersecção de um dodecaedro e de um icosaedro são gravuras de artistas da renascença. A figura 2 mostra-nos o desenho do icosaedro truncado que Leonardo fez para o tratado *Divina Proportione* de Luca Paccioli. Se nessa figura nós prolongarmos os pentágonos obtemos um dodecaedro, ao passo que se prolongarmos os vinte hexágonos encontraremos as vinte faces triangulares do icosaedro. Mais prosaicamente, se pintássemos os pentágonos de preto e os hexágonos de branco, encontraríamos o conhecido «esférico» dos jogos de futebol ⁽⁵⁾.

Com este interesse histórico pela simetria, e em particular pela simetria icosaédrica, não é de admirar que a sugestão feita em 1985 por R. Smalley, H. Kroto e colaboradores ⁽⁶⁾ de que sessenta átomos de carbono formariam um agregado com a forma de icosaedro truncado fosse acolhido com grande entusiasmo. Segundo esses autores, a molécula formada por sessenta átomos de

carbono em que cada um deles ocupasse os vértices do icosaedro truncado (Fig. 1) seria excepcionalmente estável. A esta estrutura de C_{60} foi dado o nome de Buckminsterfullereno em honra do arquitecto Buckminster Fuller que desenhou várias cúpulas geodésicas com a simetria icosaédrica, e que desenvolveu uma «filosofia» excêntrica baseada nessa forma ⁽⁷⁾. É evidente que um nome químico tão comprido é raramente utilizado no dia a dia do laboratório, onde o termo coloquial de «Bucky-bola» é preferido. Podemos apenas especular que se o futebol americano não fosse jogado

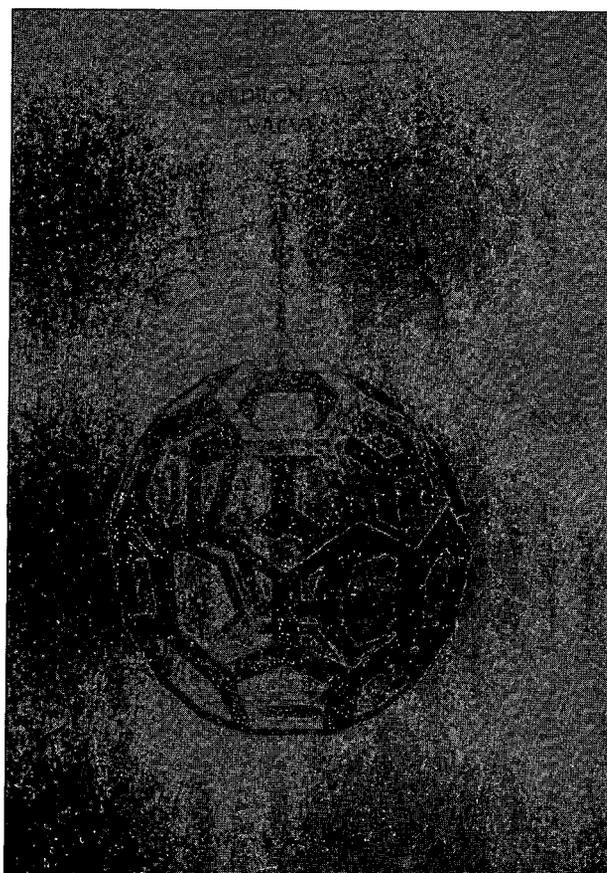


Fig. 2 — Desenho de Leonardo da Vinci de um icosaedro truncado, a figura geométrica do C_{60} .

⁽⁵⁾ Segundo consta, este tipo de bola de futebol foi escolhido para aumentar o contraste da bola sobre o relvado durante as transmissões de jogos de futebol pela televisão a preto e branco.

⁽⁶⁾ H. W. Kroto, J. R. Heath, S. C. O'Brien, R. F. Curl, e R. E. Smalley, *Nature* (London), **318**, 162 (1985).

⁽⁷⁾ R. Buckminster Fuller, *Inventions — The Patented Works of Buckminster Fuller*, (St. Martins, New York, 1983). A mais famosa das suas cúpulas foi construída para a exposição universal de Montreal.

com as mãos e com uma bola oval, o C_{60} teria sido chamado de futeboleno.

Descoberta do C_{60}

Embora a molécula de carbono com forma de bola de futebol tenha sido estudada como uma possibilidade teórica ⁽⁸⁾ antes das experiências de R. Smalley, esses estudos ficaram esquecidos na literatura, entre muitas outras especulações teóricas. A verdadeira história do C_{60} começou com a investigação de certas linhas de absorção interestelares que se desconfiavam serem devidas a moléculas exóticas de carbono C_n . Um dos cientistas interessado neste problema, o professor inglês H. Kroto, encontrava-se de visita à Universidade de Rice, no Texas, quando propôs uma colaboração com o Prof. R. Smalley dessa Universidade, o qual tinha desenvolvido uma máquina de produção de agregados atômicos de carbono por vaporização laser ⁽⁹⁾. Eles e os seus colaboradores fizeram uma descoberta surpreendente: Os agregados de carbono com 60 átomos eram excepcionalmente abundantes nos espectros de massa! ⁽⁶⁾ Foi ao procurar uma explicação para esta estabilidade que postularam a estrutura em bola de futebol, na qual todos os 60 átomos ocuparem posições simetricamente equivalentes, e que satisfaz todas as regras básicas associadas com a ligação química do carbono. A estabilidade excepcional seria associada à estrutura altamente simétrica. Um outro facto curioso foi observado no decorrer das experiências: para agregados com cerca de mais de trinta átomos de carbono não se observavam agregados com número ímpar de átomos, C_{2n+1} , mas apenas agregados pares, C_{2n} . Este facto poderia ser explicado se todos esses agregados tivessem uma estrutura em gaiola formada por vários hexágonos e doze pentágonos.

Provar que o C_{60} produzido no laboratório tinha realmente a estrutura da bola de futebol revelou-se extremamente difícil, e houve mesmo algum ceticismo em relação à hipótese de que os agregados de carbono formavam gaiolas e de que o C_{60} tinha uma simetria icosaédrica ⁽¹⁰⁾. É que estes agregados eram produzidos em ínfimas quantidades, sendo detectadas cerca de 10000 moléculas em cada experiência, e portanto era difícil medir as suas propriedades. Ao fim de vários anos de esforços, Smalley e os seus colaboradores, numa série de elegantes experiências, conseguiram provar que se tratava de uma estrutura em gaiola, visto que eram capazes de «prender» átomos no seu interior ⁽¹¹⁾, mas não

encontraram a prova concludente da simetria icosaédrica do C_{60} .

Enquanto os agregados de carbono eram produzidos em quantidades microscópicas, o seu interesse era apenas académico. O grande passo em frente que foi a produção desses agregados em quantidades macroscópicas veio de um grupo que também estava interessado nas linhas de absorção interestelares. Krätschmer, Huffman e colaboradores produziram uma fuligem de carbono fazendo passar uma descarga eléctrica entre duas barras de grafite numa atmosfera de gás inerte ⁽¹²⁾. Eles observaram no espectro infravermelho dessa fuligem especial umas linhas que correspondiam ao que tinha sido teoricamente previsto para uma molécula icosaédrica de C_{60} . O problema de separar o eventual C_{60} do resto da fuligem foi resolvido quando se verificou que apenas parte dessa fuligem se dissolvia em benzeno, produzindo um líquido avermelhado, no qual cristalizaram por evaporação pequenos cristais de carbono puro aos quais foi dado o nome de fullerite. Os espectros de ressonância magnética nuclear (NMR), infravermelho, Raman, difracção de raios-X, e foto-emissão destes cristais foram

⁽⁸⁾ E. Osawa, Kagaku (Kioto) 25, 854 (1870). D. A. Bochvar e E. G. Gal'pern, Dokd. Akade. Nauk SSSR 209, 610 (1973).

⁽⁹⁾ O princípio de funcionamento da máquina de vaporização laser é o seguinte: Um pulso de raio laser é focado sobre a superfície da grafite (ou outro material se se quiser produzir outro tipo de agregado) vaporizando átomos de carbono; ao mesmo tempo que se produz a vaporização uma válvula rápida deixa entrar uma pequena quantidade de gás inerte que artefece o vapor e o transporta através de um orifício de expansão supersónica. Antes da expansão as condições são tais que as colisões entre átomos de carbono são frequentes e agregados de carbono podem crescer por incorporação de átomos ou outros agregados. Depois da expansão supersónica, os agregados encontram-se no regime de jactos moleculares em que as colisões são raras, pelo que não há crescimento subsequente de agregados. O crescimento dos agregados é portanto limitado pelas condições cinéticas e modificando as condições de condensação é possível controlar o tamanho médio dos agregados obtidos no jacto molecular.

⁽¹⁰⁾ É preciso notar que o espectro de massa observado depende das condições de condensação, e que nem em todos os casos o C_{60} é notavelmente mais abundante do que agregados de tamanho similar.

⁽¹¹⁾ F. D. Weiss, S. C. O'Brien, J. L. Elkind, R. F. Curl, e R. E. Smalley, J. Am. Chem. Soc., 110, 110 (1988).

⁽¹²⁾ W. Krätschmer, L. D. Lamb, K. Fostiropoulos, and D. Huddman, Nature (London) 347, 354 (1990).

rapidamente obtidos após a sua síntese, e todos confirmaram que se tratava de uma molécula com sessenta átomos altamente simétrica. Por exemplo, o espectro de NMR continha apenas uma linha, confirmando que todos os átomos ocupavam posições equivalentes na molécula. Estava provado que o C_{60} tinha a simetria icosaédrica.

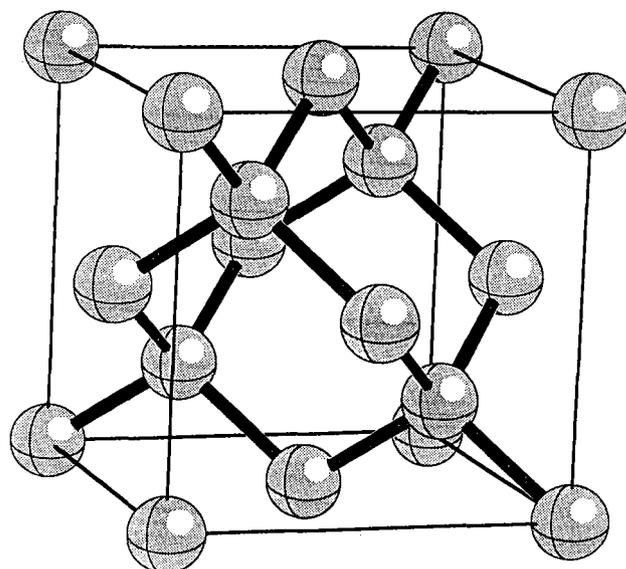
O C_{60} é apenas o mais abundante e «especial» membro de uma família de moléculas de carbono onde uma rede contendo hexágonos e pentágonos forma gaiolas fechadas. A fullerite obtida por evaporação simples contém cerca de 85% de C_{60} , sendo o resto formado por moléculas de C_{70} , e outros fullerenos, os quais podem ser separados e purificados por cromatografia. No meio do entusiasmo provocado pela descoberta do C_{60} foram encontradas outras formas curiosas do carbono, por exemplo longas agulhas formados por cilindros concêntricos em que cada um deles parece uma folha de grafite enrolada, os «bucky-tubos», ou bolas de várias camadas gráficas concêntricas, as «bucky-cebolas». A procura de outras «bucky-coisas» continua activamente.

O carbono cristalino

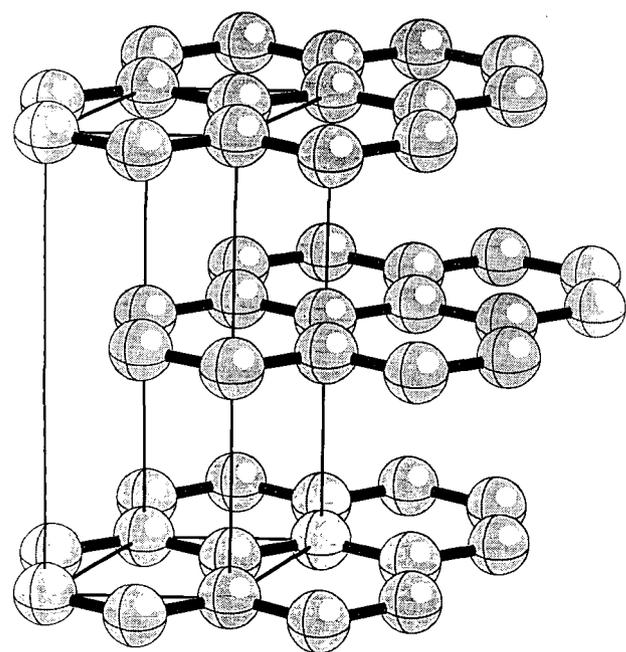
A aptidão do carbono para formar ligações covalentes com vários tipos de hibridização, sp , sp^2 e sp^3 , é responsável pelo número enorme de moléculas orgânicas e biológicas. No entanto o carbono puro cristalino só era conhecido em duas formas (Fig. 3): a grafite e o diamante. A grafite é um composto lamelar com ligações químicas do tipo sp^2 . Cada camada de grafite é formada por uma rede hexagonal de ligações fortes e curtas (1,42 Å) entre os átomos de carbono. A distância entre as camadas é grande (3,35 Å) e as ligações químicas entre elas são fracas. Esta fraqueza é responsável pelas propriedades lubrificantes da grafite, e permite que átomos estranhos possam ser introduzidos entre as camadas formando compostos intercalares. O diamante (e a sua variedade hexagonal, a lonsdaleite) tem uma hibridização sp^3 formando uma rede tetraédrica de ligações curtas (1,54 Å) e fortes que são responsáveis pela dureza extraordinária do diamante e portanto pelas suas propriedades abrasivas.

Sendo a grafite e o diamante conhecidos desde há muito tempo, e sendo o carbono um dos elementos mais abundantes, faz com que a descoberta do C_{60} fullerite tenha sido surpreendente. A molécula do C_{60} é parecida

com uma rede hexagonal de grafite enrolada à volta de uma esfera, mas contendo doze «defeitos» pentagonais, os quais são necessários para fechar uma rede poliédrica que além dos pentágonos só contém hexágonos. O comprimento das ligações químicas são de 1,40 Å e de 1,46 Å respectivamente para as arestas entre dois hexágonos e para a aresta do pentágono. O diâmetro correspondente da «bola de futebol» é de 7 Å. Sendo a



(A)



(B)

Fig. 3 — Modelo esquemático da estrutura do diamante (A) e da grafite (B), os dois outros cristais de carbono.

superfície da molécula do C_{60} parecida com a da grafite, é de esperar que a interacção entre elas seja fraca, e que os cristais de C_{60} sejam formados à base de empilhamentos densos destas «esferas». No cristal de C_{60} a separação entre as bolas é grande (3 Å), e o empilhamento é muito denso, do tipo cúbico de face centrada ⁽¹³⁾.

Embora cada átomo de carbono tenha apenas três vizinhos no C_{60} , a curvatura da malha das ligações químicas faz com que a hibridização sp^2 se misture um pouco com a hibridização sp^3 . Três de cada um dos quatro electrões de valência de cada átomo de carbono são partilhados pelos noventa orbitais ligantes do tipo σ que se formam ao longo de cada uma das noventa arestas do icosaedro truncado. Os orbitais anti-ligantes do tipo σ encontram-se vazios e estão bem separados em energia dos orbitais σ ligantes. O quarto electrão de cada átomo de carbono (sessenta no total) é partilhado pelos orbitais do tipo π . Estes são formados a partir de orbitais atómicos radialmente, os quais são essencialmente do tipo p com uma mistura de $\approx 8\%$ de carácter s . As ligações do tipo π não são localizadas (isto é, são aromáticas), sendo um pouco mais fortes ao longo das arestas entre hexágonos do que nas arestas pentagonais. Como há sessenta orbitais do tipo π apenas metade se encontram ocupados, e os orbitais de fronteira dos quais depende o comportamento químico do C_{60} são desse tipo.

Devido à sua semelhança com a grafite, devíamos esperar que a superfície das bolas do C_{60} seja «escorregadia», e portanto que as energias associadas às diferentes possíveis orientações das moléculas seja pequena. De facto, a orientação das moléculas do C_{60} na rede cristalina é uma das suas propriedades mais interessantes. Acima de uma temperatura de 240 K a sua orientação é desordenada, podendo considerar-se que as bolas se encontram «rodando» sobre si mesmas. Abaixo dessa temperatura aparece uma super-estrutura ordenada de orientações das moléculas onde os «saltos» entre orientações equivalentes são bastantes frequentes.

Espectro electrónico do C_{60}

O espectro electrónico do C_{60} cristalino foi observado pelas técnicas de foto-emissão e foto-emissão inversas, respectivamente para os estados ocupados e vazios, revelando uma grande riqueza de pormenor (Fig. 4) ^(14,15). Nem a grafite nem o diamante possuem tantos picos espectrais bem definidos. A densidade de estados calculada teoricamente ^(14,15) encontra-se em excelente

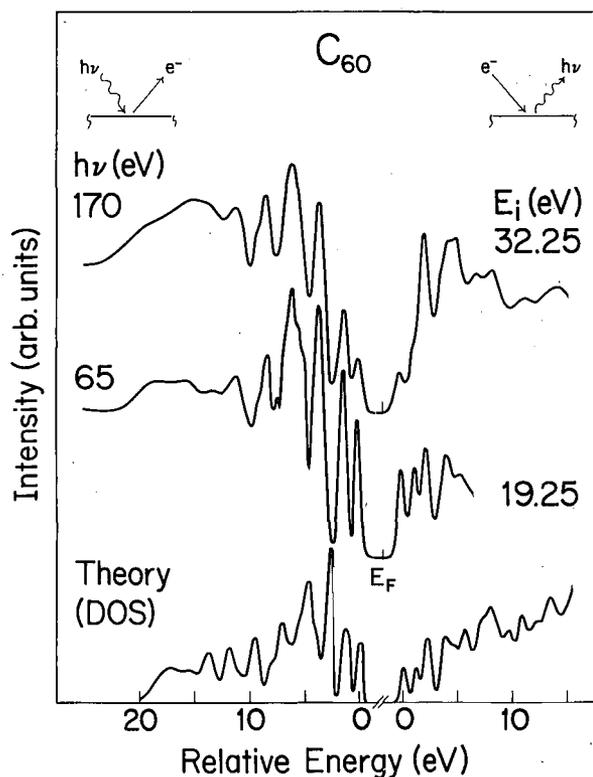


Fig. 4 — A comparação entre a densidade teórica de estados electrónicos (em baixo, indicada pelo acrónimo inglês DOS) e os experimentais de foto-emissão (centro-esquerda) e foto-emissão inversa (centro direita) para o C_{60} sólido mostra um bom acordo entre teoria e experiência. No topo os processos de foto-emissão e foto-emissão inversa estão representados esquematicamente.

⁽¹³⁾ W. I. F. David *Et. al.*, *Nature (London)* **353**, 147 (1991).

⁽¹⁴⁾ J. H. Weaver, J. L. Martins, T. Komeda, Y. Chen, T. R. Ohno, G. H. Kroll, N. Troullier, R. E. Hautler, e R. E. Smalley, *Phys. Rev. Lett.* **66**, 1741-1744 (1991). M. B. Jost, N. Troullier, D. M. Poirier, J. L. Martins, J. M. Weaver, L. P. F. Chibante, e R. E. Smalley, *Phys. Rev. B-Rapid Commun.*, **44**, 1966-1969 (1991). J. L. Martins, N. Troullier, e J. H. Weaver, *Chem. Phys. Lett.* **180**, 457-460 (1991).

⁽¹⁵⁾ O processo de foto-emissão ocorre quando um fóton incidente sobre uma superfície arranca um electrão. Medindo a energia do fóton incidente e a energia dos electrão emitido deduz-se a energia que o electrão tinha antes de ser arrancado (energia inicial). A intensidade de electrões emitidos com uma dada energia depende do número de que têm a energia inicial apropriada. No processo de foto-emissão inversa um electrão incidente numa superfície emite um fóton. A intensidade de fótons emitidos depende do número de estados electrónicos disponíveis para a transição. A densidade de estados teórica mostra o número de estados electrónicos existentes a uma dada energia, de acordo com uma solução aproximada da equação de Schrödinger para os electrões do sólido.

acordo com os resultados experimentais, o que permite uma identificação dos vários picos presentes no espectro electrónico. A estrutura electrónica do C_{60} está intimamente ligada à sua forma esférica. Os electrões de valência estão concentrados na superfície da esfera (Fig. 5), e as suas funções de onda exibem uma semelhança com as funções harmónicas esféricas, particularmente no que diz respeito à topologia das respectivas linhas nodais. Isto permite uma indexação das funções de onda. Por exemplo, o orbital vazio de mais baixa energia, é um orbital de tipo π , de degenerescência três, que se assemelha a uma harmónica esférica de momento angular $l = 5$.

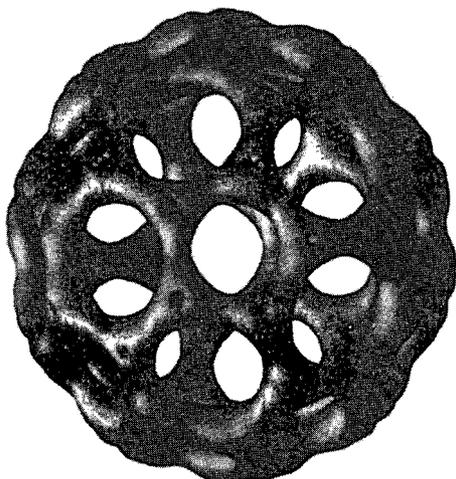


Fig. 5 — A superfície de igual densidade de electrões de valência do C_{60} obtida teoricamente mostra uma grande semelhança com a figura 2. As zonas de maior densidade de electrões estão no interior dessa superfície.

Ligas do C_{60} com metais alcalinos

Uma das descobertas que gerou mais interesse sobre os fullerenos foi a observação em cristais de C_{60} com metais alcalinos de supercondutividade (16) com temperaturas críticas que atingem $T_c = 31.3$ K para o Rb_2CsC_{60} . Esta temperatura é cerca de 50% superior às temperaturas críticas obtidas para as ligas intermetálicas e só é superada pela família dos óxidos de «alta temperatura» à qual pertence o $YBa_2Cu_3O_7$.

No C_{60} sólido, as moléculas formam um empilhamento compacto. Devido ao grande tamanho da

molécula os interstícios que restam nessas estruturas são suficientemente grandes para acomodar iões de átomos alcalinos. O número e tipo de átomos encontrados nesses sítios intersticiais depende do raio iónico do metal alcalino e do tamanho do sítio intersticial. Para um ião pequeno como o sódio chegam a formar-se fases como o $Na_{11}C_{60}$. Para iões maiores como o potássio ou o rubídio é possível introduzir um máximo de seis átomos alcalinos por cada molécula do C_{60} . A ligação química entre os átomos alcalinos e o C_{60} é do tipo iónico, sendo o electrão de valência do átomo alcalino transferido para as moléculas de C_{60} (17). Como o orbital vazio de mais baixa energia do C_{60} é três vezes degenerado, este fica completamente ocupado nos compostos de tipo A_6C_{60} , e estes são isolantes. Por enquanto, o comportamento metálico foi apenas observado para os compostos alcalinos do C_{60} de composição A_3C_{60} , são estes compostos os que apresentam supercondutividade a temperaturas relativamente altas. (A supercondutividade foi também observada na liga alcalino-terrosa Ca_5C_{60}).

O recobrimento entre os orbitais de condução do C_{60} centrados em moléculas diferentes é pequeno, pelo que os efeitos de correlação electrónicos são bastante fortes. Isto revela-se no carácter isolante dos compostos A_4C_{60} , e na largura demasiado grande da banda de condução do K_3C_{60} observada em espectroscopia de foto-emissão (18). As características e consequências desta forte correlação electrónica são ainda matéria de acesso debate.

Mecanismo da supercondutividade nos fulleritos alcalinos

Como a temperatura crítica para a ocorrência da supercondutividade é bastante alta nas ligas do C_{60} com metais alcalinos, $T_c = 19$ K no K_3C_{60} , $T_c = 31$ K para o Rb_2CsC_{60} , podemos perguntar se o mecanismo responsável pela supercondutividade é o tradicional de interação entre electrões e fónes, ou se estamos em presença de um novo mecanismo. Esta é a mesma questão que foi feita após a descoberta da supercondutividade a alta temperatura nos óxidos de cobre e que ainda não teve uma resposta definitiva. No caso dos compostos do C_{60} a evidência até à data parece indicar que estamos na

(16) A. F. Hebard *et al.*, Nature (london) **350**, 600 (1991).

(17) P. Benning, J. L. Martins, J. H. Weaver, L. P. F. Chibante, e R. E. Smalley, Science, **252**, 1417-1419 (1991).

(18) P. J. Benning, F. Stepniak, D. M. Poirier, J. L. Martins, J. H. Weaver, L. P. F. Chibante, e R. E. Smalley, Phys. Rev. B (em publicação).

presença do mecanismo tradicional de formação de pares de electrões de Cooper pela interacção dos electrões com as vibrações internas das moléculas do C_{60} . No entanto ainda é cedo para chegar a uma conclusão definitiva.

Do ponto de vista teórico, o valor da temperatura crítica para a supercondutividade pode ser aproximadamente escrita como $T_c \approx \Theta \exp(-1/(\lambda - \mu^*))$, onde Θ é a temperatura de Debye, e λ e μ^* são dois parâmetros sem dimensões que medem, respectivamente, a magnitude da interacção atractiva electrão-fonão e a repulsão Coulombiana efectiva (isto é, blindada) entre electrões. Nos compostos do C_{60} a temperatura de Debye que mede a energia de vibração dos fonões é bastante alta, $\Theta \approx 1100$ K, porque os átomos de carbono são leves e as ligações químicas fortes. É esta alta frequência de vibração que dá origem à alta temperatura de supercondutividade. Os valores calculados para os outros parâmetros, $\lambda \approx 0,5$ e $\mu^* \approx 0,15$, são típicos dos valores encontrados noutros supercondutores.

As indicações de que o mecanismo de supercondutividade é devido à interacção entre electrões e fonões são as seguintes: O efeito isotópico foi observado para a substituição do carbono, e tem a magnitude esperada para um supercondutor que é descrito pelos parâmetros $\lambda \approx 0,5$ e $\mu^* \approx 0,15$. Foi observado que a temperatura crítica T_c é aproximadamente linear na constante de rede do composto A_3C_{60} , este efeito é facilmente explicado por teorias que fazem participar as vibrações da molécula do C_{60} , mas não por outras teorias. Algumas linhas Raman encontradas nos compostos A_6C_{60} e C_{60} desaparecem no composto A_3C_{60} , o que é o comportamento esperado se a largura dessas linhas é aumentada significativamente pela interacção dessas vibrações com os electrões de condução.

Se o mecanismo responsável pela supercondutividade é tradicional, então muitos dos parâmetros e aproximações utilizados na sua descrição teórica encontram-se perto dos limites de validade da teoria. As ligas dos metais alcalinos com o C_{60} seriam então sistemas óptimos para testar experimentalmente os limites de validade das teorias tradicionais da supercondutividade.

Aplicações

Embora a supercondutividade dos compostos alcalinos com o C_{60} seja uma das suas propriedades físicas mais interessantes, estes compostos reagem fortemente com o oxigénio e portanto será difícil encontrar quem queira utilizar um supercondutor que arde espontaneamente. No entanto se considerarmos que as

outras duas formas de carbono cristalino, a grafite e o diamante, têm grandes aplicações industriais (sem falar nas potenciais aplicações do diamante se ele fosse barato) será de estranhar que o C_{60} não venha a ser útil a breve prazo. Tem-se especulado bastante sobre as suas possíveis aplicações tecnológicas: por exemplo o C_{60} poderia ser um óptimo lubrificante, um rolamento de esferas molecular, mas tal não foi confirmado. Outra sugestão é que a alta estabilidade do C_{60} torna-o um bom candidato para ser utilizada em motores iónicos para foguetões.

É no campo da química que deveremos esperar as mais importantes aplicações desta nova forma de carbono. Desde que o C_{60} começou a ser produzido em quantidades macroscópicas já se aprendeu a modificá-lo, de modo a que possa ser utilizado como mais um grupo funcional de química orgânica. Os mais optimistas comparam o C_{60} ao benzeno e prevêem uma riqueza da química dos fullerenos semelhante à dos compostos aromáticos. Uma propriedade única do C_{60} é que um átomo que seja colocado no interior da gaiola (nos compostos alcalinos os iões estão entre as gaiolas) fica isolado quimicamente do exterior. Isto poderia ser extremamente útil em medicina para introduzir metais pesados no corpo humano com pequenos riscos de que venham a ser metabolizados. Embora já se tenha produzido quantidades macroscópicas de La no interior de C_{84} , o progresso nesta direcção tem sido difícil, mas há esperança de que se possa vir a manipular o C_{60} de modo a introduzir vários tipos de átomos no seu interior, aumentando consideravelmente o número de compostos derivados do C_{60} .

Conclusão

A actividade de investigação desenvolvida após a síntese em quantidades macroscópicas de C_{60} tem sido recompensada com a descoberta de novas formas de carbono e com a observação das suas propriedades surpreendentes. Tudo leva a crer que esta actividade continuará a ser frutífera e que esta nova forma de carbono encontrará aplicações tecnológicas interessantes.

Nota — Artigos de interesse geral sobre os fullerenos podem ser encontradas no *Scientific American* de Outubro de 1991, e nos *Physics Today* de Novembro de 1991 e Novembro de 1992.

FUSÃO TERMONUCLEAR CONTROLADA *

CONCEITOS BÁSICOS E PROGRAMA EUROPEU

H. BRUHNS

Commission of the European Communities,
DG XII Fusion Programme
Rue de la Loi 200, B-1049 Brussels,

A fusão termonuclear promete ser uma importante fonte de energia no futuro. A Comunidade Europeia realiza actividades neste domínio por meio de um grande programa, que compreende todos os trabalhos em fusão por confinamento magnético nos seus estados membros e no qual também participam a Suécia e a Suíça. O objectivo a longo prazo deste programa é a criação de reactores experimentais seguros e viáveis do ponto de vista ambiental.

A linha principal de investigação e desenvolvimento é a fusão por confinamento magnético toroidal baseado no conceito de Tokamak. Alguns conceitos relacionados que poderão oferecer vantagens para um reactor são também estudados, sendo prosseguidas actividades nesse quadro. Foram construídos vários aparelhos de pequeno e médio porte nos laboratórios associados, assim como o «Joint European Torus» (JET) que é a maior e mais bem sucedida máquina de fusão em todo o mundo. Recentemente, foi obtida no JET uma potência de fusão da ordem de grandeza dos megawatts.

I. Energy: Sources and demand

Energy, and in particular electrical energy, is a prime requirement for a standard of living which in the industrialised world has become indisputable. Cheap energy has led to generous usage. Reductions are possible both by enhancing the energy efficiency of processes and by a reorientation towards avoiding unnecessary energy consumption. Globally, however, the potential for reduction is outweighed by the large increase of energy consumption which the Third World's population will demand in its quest for diminishing the gap between its standard of living and ours. This population is growing increasingly faster. On the basis of any reasonable extrapolation of how many people will be on this globe by mid-next century and what their energy demand per capita might be, the conclusion is that

there will be a large increase in future world energy demand.

Environmental and safety issues of today's energy production and consumption have become dominant aspects in the articulate public opinion. In most industrialized countries energy policies continue to reinforce measures towards reducing the environmental impact of existing energy systems. Emission control of fossil power stations, cleaner cars or buildings insulation are only some of many aspects. However, considering the global dimension and the existential threat of climatic consequences, much more remains to be done to improve current techniques of energy production and use.

* Texto parcial da Conferência Plenária proferida na FÍSICA 92, Vila Real, 15-18 Setembro 1992. Em próximo número publicamos um segundo artigo, que completa este.

Energia: fontes e necessidades

Fusão termonuclear controlada

Conceitos básicos sobre fusão nuclear

O programa de fusão nuclear da Comunidade Europeia

For new, better energy sources and systems there are not many options. All of them require trade-offs in terms of safety, environmental impact, supply, geographical distribution, availability, economy, etc.

Besides fossil energies for which it is understood that their use must be limited, there is nuclear fission, providing a substantial share of baseload electrical energy in many developed countries. Solar and other renewable energies will, in a few decades, cover more than just the few percent of our energy requirements that they achieve today. Predictions of experts diverge, however, on whether environmentally acceptable renewable energies could supply a major part of our needs by the middle of the next century.

Thermonuclear fusion remains the only known other large-scale option for our energy future. Although enormous progress has been achieved in fusion, its development into a large-scale energy source is still very demanding and will require long time scales and large resources.

DEUTERIUM-TRITIUM FUSION REACTION

$D + T$	\rightarrow	${}^4\text{He} + n + 17.6 \text{ MeV}$
${}^6\text{Li} + n$	\rightarrow	${}^4\text{He} + T + 4.86 \text{ MeV}$
${}^7\text{Li} + n$	\rightarrow	${}^4\text{He} + T + n - 2.5 \text{ MeV}$
Sum reaction: $D + Li$	\rightarrow	$2({}^4\text{He}) + \text{energy}$

II. Controlled thermonuclear fusion

The cross-sections of all fusion reactions are by far outweighed by the Coulomb cross-section. This makes fusion collisions so unlikely compared to simple Coulomb collisions that it is impossible to gain energy from fusion by targeting two accelerated beams, containing the species to react, onto each other. Instead, the energy expended into bringing the fusing particles to the needed relative velocity must be conserved through many Coulomb collisions. Therefore, the presently pursued approaches all embed the reacting particles into a confined thermal ensemble in which the particles, as long as they are confined, undergo permanently collisions, thereby greatly enhancing the occurrence of fusion reactions compared to single encounters. At the temperatures needed, and compensating the space charge of the ions by electrons, this particle ensemble is necessarily a quasineutral plasma. The highest fusion cross-sections are obtained in the fusion reaction of

deuterium (D) and tritium (T) which burns into Helium (${}^4\text{He}$) plus a neutron (n) thereby releasing energy.

There are other fusion fuels than D-T which could be exploited for a fusion reactor, which react without or with less neutron production and which therefore could offer less environmental impact than the D-T fuel. However, still much higher temperatures would be needed for burning those fuels. Therefore, the present development goal is the D-T fusion reactor.

The core of a fusion reactor along the concept of toroidal magnetic confinement — the main development line in Fusion R&D — contains a ring-shaped reactor vessel, surrounded by magnetic field coils and a mechanical structure which will take up the magnetic forces. Also there are installations to heat and to control the plasma. Inside the vessel the fuel burns and heats the wall of the chamber. A heat exchange system will extract the heat and transfer it to the conventional balance of the plant where turbines generate the electricity. Basically, in a fusion reactor, only the core will be different from that of fossil or fission power stations.

Because of the high energy release in a fusion reaction, a fusion power station will need only very small quantities of fuel. For comparison: to generate 1 GW-year of electrical energy in a coal power station requires more than 3 Mio tons of hard coal, the load of about 150.000 railway waggons. With the deuterium-tritium fusion, less than 100 kg of deuterium would be needed plus about 3-4 tons of natural lithium which contains 92.5% of the isotope lithium 7 and 7.5% of lithium 6. Apart from the first fill, reactions between these lithium isotopes and the neutrons from the D-T fusion reactions will be used to breed tritium in a blanket which surrounds the plasma. To breed the needed amount of tritium is necessary because it decays radioactively with a halflife of 12.3 years and hence does not exist naturally in sufficient quantity.

Apart from the first fill, no radioactive fuel would have to be transported to, or processed outside, the reactor site; the outputs of a fusion reactor would be power and non-radioactive helium. There would, however, be the need for recycling tritium on-site and for processing and storing waste, i.e. materials of the reactor which have been activated mainly through irradiation by fusion neutrons.

Cheap fuel for fusion is abundant: 0.015% of the hydrogen of all seawater exists as the isotope deuterium, lithium is a copious element in the earth's crust. Supplies would last for millenia. The availability of some construction materials needed for a fusion reactor might be a somewhat stronger limitation for energy production.

In coal power stations, the fuel contributes 50-60% to the electricity generating costs; for a fusion reactor, fuel

cost amounts to some 2%. Capital cost for a coal power station amounts to 30% or less of the electricity generating costs; this share is about 40-50% for fission pressurized water reactors. For fusion, estimates range around 70-80%. The dominant economical factors for fusion will be the construction and decommissioning costs of a reactor as well as those for periodic replacement of parts which are exposed to the plasma or the neutrons.

For a process which has not yet been fully developed and which, in terms of reactor performance, still lacks all optimization, it is difficult to determine final market costs. Preliminary estimates indicate that the costs for electricity from fusion may be in the range of those from fission power.

III. Concepts for nuclear fusion

Magnetic Confinement Fusion research has a history reaching back to the time just after the second world war. Two distinct lines of approach exist. One, prominent for its connection with military applications is inertial confinement fusion where a tiny capsule of fuel is heavily compressed until fusion burn is initiated and the capsule explodes under the generated pressure. The fusion burn lasts only for a very short period, as long as the fuel is kept together by its own inertia.

Powerful laser or particle beam systems are needed to achieve the compression. Inertial confinement fusion is necessarily nonstationary.

The other approach is magnetic confinement fusion. Here, the fuel is a hot plasma, confined by magnetic fields which are made to form a magnetic cage within the reactor chamber. The magnetic fields are generated by currents in the plasma and by huge magnetic field coils located around the reactor chamber. In principle, stationary fusion burn is possible as long as the magnetic confinement is maintained.

Although the fusion reaction does not produce radioactive elements, there is radioactive waste: the neutrons from the fusion reactions are absorbed in the wall of the reactor chamber and in the structure which supports the chamber and the field coils against the strong magnetic forces. Here the neutrons deteriorate and activate the materials and reduce their useful lifetime: radioactive waste is generated. Calculations show that the quantity of this waste could be similar in volume to that of fission reactors. Qualitatively, however, fusion waste has much less hazard potential and, with some progress in materials research, the volume could possibly be reduced and a major part be recycled after comparatively short times.

Aspects of Magnetic Confinement

For a fusion reactor, technical constraints limit the magnetic pressure (which rises quadratically with the magnetic field strength) to values in the order of some hundreds of atmospheres. For stability reasons, the plasma pressure cannot exceed a few percent of this magnetic pressure. Plasma pressure is proportional to the product of plasma temperature and plasma density: at temperatures of 10-20 keV (i.e. 100-200 million centigrade), the fusion plasma's density must be kept very small. Typical values are in the range of some 10^{19} to some 10^{20} particles per m^3 , many orders of magnitude below e.g. the density of air at normal atmospheric pressure.

An immediate consequence of this low plasma density is that there is very little fuel in the reactor chamber. For a steady fusion burn, fresh fuel must be continuously replenished since a single fill would sustain the fusion burn only for a few tens of seconds. (In contrast, a fission reactor contains fuel in its core for a year's or longer energy production). The extremely small content of reactive fuel in a fusion reactor is a major inherent safety feature: no sustainment of uncontrolled burn, no core melt-down can happen.

Recent progress in the development of the physical and technological basis of a fusion reactor makes it possible to treat the environmental, safety and economical aspects of fusion in greater detail and to identify critical R&D and design issues. Important considerations are to minimize the tritium inventory of a fusion reactor and the resultant activation of structural materials. The dominant safety aspect is to confine the tritium and to handle the activated materials safely.

Toroidal Magnetic Confinement Concepts

Many possible magnetic confinement schemes have been explored. From today's point of view, the most promising ones are toroidal: the plasma forms a ring inside a reactor vessel of the shape. Magnetic fields, produced by external coils and plasma currents, wind helically within and around the plasma, confining and thermally isolating it against the vessel.

The basic principle of magnetic confinement is, of course, the tight gyration of the charged particles, electrons and ions, around magnetic field lines allowing only for macroscopic motion parallel to the field lines. With the field lines bent to a ring, particles would be perfectly confined if Maxwell's equations did not dictate that inevitably a toroidal field decreases in strength

proportional to the inverse of the major radius. Thus, the charged particles gyrate in an inhomogeneous field which leads to a small drift of electrons and ions in the direction of the major radius. (This drift is superimposed to the fast motion along the field lines.) As a consequence, the plasma would be lost and would hit the wall of the device. Superimposing a poloidal magnetic field component results in a helically twisted magnetic field; which makes particles moving around the minor circumference of the torus. Now, if they have drifted to a somewhat larger radius at the outside of their orbits, at the inside the same drift brings them back to a smaller radius, thus the drift can be compensated.

The confining magnetic field will be mainly generated by external coils.

Different schemes can be distinguished according to the extent to which currents inside the plasma contribute a part of the confining helical magnetic field. The external coils will be superconducting in a fusion reactor; most of the present devices use coils with copper windings.

The Tokamak

So far, the most successful toroidal magnetic confinement scheme is the Tokamak. A strong toroidal magnetic field is generated by coils placed around the toroidal reactor vessel which contains the plasma. A large toroidal plasma current contributes by its poloidal self-field to establish the full magnetic confinement configuration.

The most efficient way to generate the plasma current and to maintain it, is to use the well-known transformer principle with the plasma as «secondary winding». However, this limits the possible duration of the plasma current. To make a stationary fusion burn,

additional means, e.g. so-called «non-inductive» current-drive techniques must be utilized. An operational problem in Tokamaks is that the plasma current may suddenly terminate due to possible topological changes inside the plasma. This is called disruption; the plasma current may commute into currents flowing in the metallic wall or in structures close to the plasma. The Lorentz force of these currents and the magnetic fields can cause severe forces in the reactor vessel. A major R&D effort aims at establishing means to eliminate or to reduce the occurrence of disruptions.

The Reversed Field Pinch

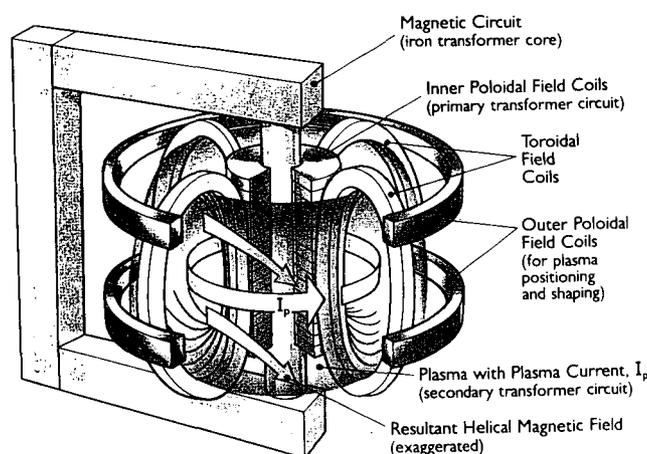
A configuration akin to the Tokamak is the Reversed Field Pinch (RFP). It relies to a much larger extent on self-organization of plasma currents for the creation of the proper configuration which is characterized by a relaxation towards a minimum energy state. During this relaxation the toroidal field reverses in the outer region of the plasma, therefore the name Reversed Field Pinch has been coined. The RFP principle offers better energy utilization than the Tokamak: more plasma pressure can be accommodated for a given magnetic field pressure. A reactor could therefore be smaller. However, in present experiments the RFP relies in its configurational stability on stabilization by a conducting wall close to the plasma. For a reactor a close-fitting conducting shell is not feasible. Additional means for control and stabilization of the plasma in a RFP must therefore be developed. The present status of research is significantly less advanced than for the Tokamak.

The Stellarator

Another interesting concept is the Stellarator which, unlike the other schemes, does not need a large toroidal plasma current. This may facilitate stationary operation of Stellarator reactors.

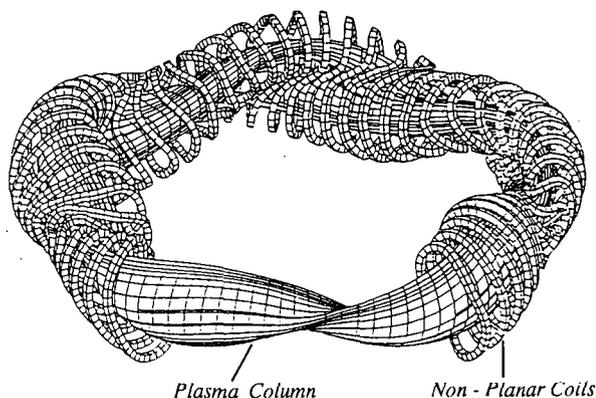
The basic configuration of a Stellarator is established entirely with magnetic field coils placed around the vessel. Two possibilities exist to generate the required helical magnetic field configuration: either a set of toroidal field coils plus a set of helical windings is used or, in the Advanced Stellarator, each toroidal field coils is three-dimensionally twisted in order to generate the required helical field. Vessel and plasma of an advanced Stellarator have both the shape of helically distorted rings. Due to its three-dimensional twist, the configuration is much more difficult to design and technically to achieve. Only with the advent of large computers has it become possible to design and manu-

Schematics of a Tokamak



facture competitive Stellarators. Advanced Stellarators can be constructed with a modular coil system which could facilitate replacement and maintenance but then, necessarily, the coils must be nonplanar. For the conventional Stellarator, the Tokamak and the RFP, two interlinked coil systems, made of planar coils, are used.

Schematics of an Advanced Stellarator (Wendelstein VII-X)



IV. The Community Fusion Programme

The present European Fusion Programme has its roots in national programmes which existed during the fifties in several European countries. In 1957, with the establishment of the European Atomic Energy Community (Euratom), controlled thermonuclear fusion by magnetic confinement became a European domain and in subsequent years the national activities were coalesced into a single European programme. This was achieved mainly by Contracts of Association with the national institutions which operated fusion laboratories and by participation of the Community's Joint Research Centre. Starting in 1959, this system has developed strongly and comprises 13 Associations since 1990, when the Association Euratom-IST was established between the European Community and Portugal at the Instituto Superior Técnico. Sweden and Switzerland are fully associated to the programme which has today an annual budget of about 450 Mio ECU.

Fusion, as a long-term and large-scale programme, is a prominent example of how a European dimension can provide added value. The system of Associations, guaranteeing mutual access to, and exchange of, information and research potential, has made it possible to overcome limitations of the national research programmes. Duplication of work could be eliminated, greater efficiency be achieved and a common strategy be developed.

The Joint European Torus

By the joint effort, and by focusing on the most promising line of development, it was possible to enter a new dimension of fusion research: in the seventies, the world's largest and most powerful Tokamak was launched: JET, the Joint European Torus, a Joint Undertaking. JET went into operation in 1983. By this step, Europe was able to strive for the lead in fusion.

A feature of the European strategy has been to combine JET as the large, central device with several specialised machines which, by their smaller size, can provide solutions to detailed problems more cost-efficiently and which are cheaper and faster to modify. Results from these devices which were taken up by JET have contributed substantially to achieving JET's outstanding performance: JET has exceeded all its original milestones.

Also the other large programmes in the world, in the USA, in Japan and the former Soviet Union, operate large Tokamaks (besides smaller Tokamaks and devices for other development lines) as well as fusion technology facilities. However, in fusion performance, JET is unequalled — apart from, perhaps in the future, the newly rebuilt large JT-60U Tokamak in Japan. But progress in fusion has greatly benefited from all programmes and, in particular, from their intense international collaboration.

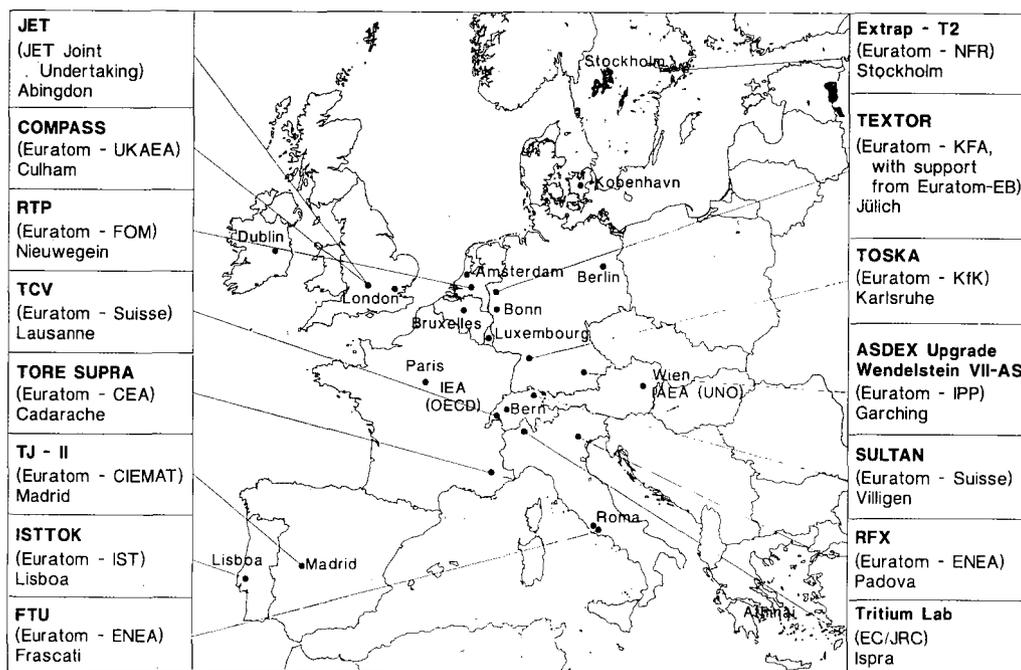
Specialised Tokamaks

The European specialised devices are operated by the Associations. TORE SUPRA, at Cadarache, is the world's largest Tokamak with superconducting coils and is used for studies of long-pulse operation, plasma current drive and plasma heating. ASDEX, now replaced by ASDEX-Upgrade at Garching, focuses on solutions for particles and energy exhaust from the plasma with a magnetic divertor.

TEXTOR, at Jülich, operated by the Association Euratom-KFA with the participation of the Association Euratom-Etat Belge and contributions from the Association Euratom-FOM, concentrates on the study of plasma wall interactions. FTU, at Frascati, explores a regime of high plasma density and high plasma current density. COMPASS, at Culham, has been designed for investigations of higher plasma pressure operation and related plasma stability studies. TCV, at Lausanne, is dedicated to aspects of elongated plasmas and current disruptions. RTP, at Rijnhuizen, is used for studies of plasma transport mechanisms and ISTTOK, at Lisbon, for investigations on plasma oscillations and fluctuations and current drive. Besides their programmatic importance, these devices provide an excellent basis for education and training of young professionals.

While the Tokamak provides the fastest approach to

Fusion Devices in Europe



truly thermonuclear reactor plasmas, the options for a fusion reactor are still open enough to warrant work on concept improvements — along the Tokamak line itself as well as for the Stellarator (Wendelstein VII-AS, an Advanced Stellarator at Garching, TJ-II, a Helic-Stellarator at Madrid) and the Reversed Field Pinch (RFX, at Padova). The goal is to explore the essential features which will determine the reactor potential of these development lines. Basic research and a watching brief on inertial fusion complement the physics activities of the Community Fusion Programme.

A prominent feature of the Community Fusion Programme is its high degree of cohesion. The results from work on the specialised devices and of groups with special know-how is transported and disseminated by a mobility scheme which facilitates access to information, joint work and transfer of techniques and skills. The Portuguese Association, for example, apart from their intramural work programme, has developed as a center of know-how for reflectometry, a highly advanced plasma diagnostic of central importance. Portuguese scientists and engineers work in this field at fusion devices of other Associations and thus contribute to the overall synergy and the rapid progress in the programme.

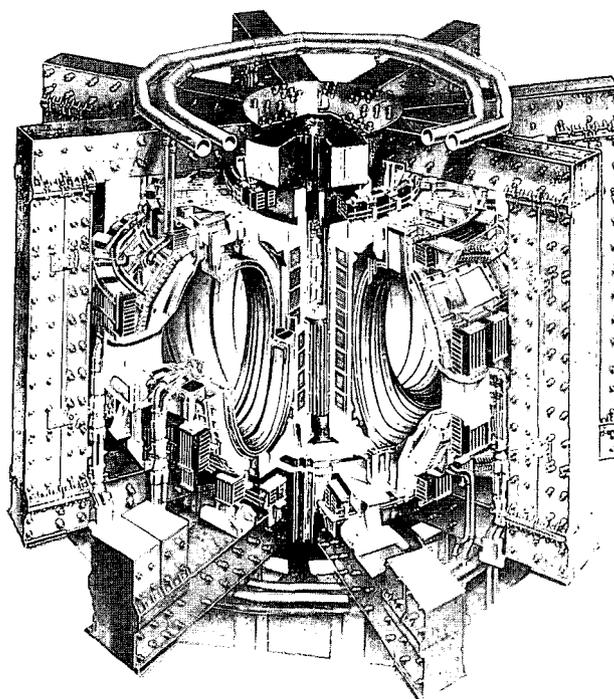
Fusion Technology

Currently, about 20% of the efforts in the Community Fusion Programme are dedicated to fusion technology. Technology-oriented work will have a tendency to increase. It is focalized towards the major development

tasks and can roughly be divided into R&D for the Next Step (the next large experiment) and for the long term development aimed at the fusion reactor.

For the next experiment as well as for the future fusion reactor, large superconducting coils are being developed based on conductors made of Nb₃Sn which can be used at high currents and stronger magnetic fields. Test facilities for superconductors have been established near Baden (Switzerland) and at Karlsruhe.

JET - Joint European Torus



In the nuclear core of a fusion device it is mandatory to manipulate via remote handling; corresponding developments are undertaken at Karlsruhe and Ispra. Blanket modules for tritium breeding which could be tested in the Next Step are being studied in several places; this is true also for materials research (e.g. for structural components and for first wall elements). For part of the nuclear testing of materials, research facilities at fission reactors can be used.

An important task is to develop the nuclear fuel cycle for the fusion reactor. While already at JET corresponding installations have been established for the D-T operation, the next experiment will have a much larger circulating tritium throughput and requires appropriate development. Laboratories for this work have been established at the Joint Research Centre in Ispra as well as in KfK Karlsruhe.

Plasma engineering is a term used for techniques which relate to plasma handling like fuelling and heating. Large multi-megawatt high-frequency systems, from some megahertz to 140 GHz are being developed for resonance

at the main characteristic frequencies of the plasma, the cyclotron frequencies of electrons and ions and their hybrids. Also, powerful injectors for neutral deuterium atoms are being used at beam particle energies up to about 200 kV; development of systems at energies of 500-1000 keV with multi-ampère currents is underway.

Diagnostics play an important role in providing the information which is needed for the control of the plasma and the fusion burn. For most of these systems there exist strong interconnections with fusion physics — in fact, much of this work is managed within the physics part of the fusion programme.

Safety and environmental aspects are intrinsic elements for designing future D-T fusion experiments. These aspects are most important, of course, in the long-term perspective towards the fusion reactor. Development of a tritium-breeding blanket and materials research, especially for low-activation materials, are key R&D topics—together with safety and environmental studies based on a conceptual design study of an electricity-producing fusion reactor.

Specialized Tokamaks in Europe

Device	Institution Place	Main Objective	Ip (MA)	Period
TEXTOR	KFA Jülich	Plasma/wall interaction poloidal divertor	0.5	81 —
TORE SUPRA	CEA Cadarache	Long-pulse operation in Next Step Relevant conditions	1.7	88 —
ASDEX-Upgrade	IPP Garching	Plasma purity control in reactor relevant conditions	1.6	90 —
FTU	ENEA Frascati	Confinement at high density and high current	1.6	89 —
COMPASS	UKAEA Culham	High-beta and MHD stability studies	0.4	89 —
TCV	CRPP	High-beta studies and disruption control	1.2	92 —
RTP	FOM Nieuwegein	Transport mechanisms studies	0.2	89 —
ISTTOK	IST Lisbon	MHD activity, ECCD	0.006	91 —

Stellarators in Europe

Device	Institution Place	Main Objective	Period
Wendelstein VII-AS	IPP Garching	Medium-size device with modular coil system to investigate plasma behaviour in an optimized magnetic field configuration	90 —
TJ - II	CIEMAT Madrid	Medium-size device with helical magnetic axis for confinement and high-beta studies	94 —
Wendelstein VII-X	IPP Garching	Large-size fully optimized advanced stellarator with modular superconducting magnetic field coils	In the design phase

Reversed-Field Pinches in Europe

Device	Institution Place	Main Objective	Ip (MA)	Period
RFP	ENEA Padova	Largest RFP device with the aim to give information on the reactor prospects of this concept	2.0	91 —
EXTRAP-T2	NFR Stockholm	Medium-size device for RFP and EXTRAP studies	0.05	92 —

A TERRA, O COSMOS E A ENTROPIA

ANTÓNIO HEITOR

Departamento de Física, Universidade de Évora, Largo dos Colegiais, 2 — 7000 Évora

A esmagadora maioria dos processos que ocorrem na Terra são irreversíveis. Neste artigo é evidenciado o papel da entropia como conceito chave para a compreensão da fenomenologia terrestre.

1. A Terra e o Cosmos — balanço de entropia

O nosso planeta não é um sistema isolado. Recebe a radiação electromagnética, oriunda maioritariamente do Sol, é bombardeado continuamente tanto por partículas elementares (radiação cósmica, neutrinos, etc.), como por meteoritos, e inclusivamente converte energia gravitacional dos sistemas Terra-Lua e Terra-Sol em energia mecânica dos fluidos planetários (marés), da qual uma pequena parte é transformada em calor.

No entanto, a quase totalidade das trocas de energia entre a Terra e o espaço exterior é feita sob a forma de radiação electromagnética. As variações de entropia envolvidas nos processos de troca de energia determinam precisamente a possibilidade e, conseqüentemente, o sentido de evolução destes processos (2.º Princípio da Termodinâmica). A equação de balanço para a entropia do planeta Terra estabelece:

Variação de entropia na Terra =

$$\left(\text{Produção de entropia na Terra} \right) - \left(\text{Fluxo total de entropia entre a Terra e o Cosmos} \right) \quad (1)$$

Designando por \dot{Q}_{Sol} a potência radiativa média recebida do Sol e \dot{Q}_{Terra} a potência radiativa média emitida pela Terra e, considerando, em primeira aproximação, a energia interna (U) da Terra constante, resulta:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \dot{Q}_{Sol} - \dot{Q}_{Terra} = 0 \quad (2)$$

À potência radiativa recebida do Sol está associado um fluxo de entropia \dot{Q}_{Sol}/T_{Sol} . De modo análogo,

o fluxo de entropia associado à potência radiativa emitida pela Terra é $\dot{Q}_{Terra}/T_{Terra}$. Usando a equação (2), podemos escrever:

$$\text{Fluxo total de entropia entre a Terra e o Cosmos} = \dot{Q} \left(\frac{1}{T_{Sol}} - \frac{1}{T_{Terra}} \right) < 0 \quad (3)$$

e concluir que, sendo $T_{Sol} \gg T_{Terra}$, a Terra emite muito mais entropia do que aquela que recebe.

O 3.º termo de (1) representa a taxa temporal de geração de entropia devida aos processos que ocorrem na Terra. A Termodinâmica dos processos irreversíveis fornece o valor deste termo [1-5]:

Produção de entropia na Terra por unidade de tempo =

$$= \int_{Terra} \left(-L_{22} \frac{\partial T}{\partial x^v} + L_{23} \frac{\partial P}{\partial x^v} - L_{24} \frac{\partial \mu}{\partial x^v} \right) dV \quad (4)$$

onde os coeficientes cinéticos L_{ij} são definidos por:

$$L_{22} = 2 \frac{\Delta x^v_{(T)} J_v^U}{T^2} ; L_{23} = \frac{\Delta x^v_{(P)} J_v^V}{T} \quad (5)$$

$$L_{24} = \frac{\Delta x^v_{(\mu)} J_v^M}{T}$$

sendo T a temperatura absoluta, P a pressão, μ o potencial químico, e Δx^v os parâmetros característicos da distribuição espacial destas grandezas. J_v^U , J_v^V , J_v^M são respectivamente os fluxos de energia interna, volume ($-\vec{v}$) e de massa na direcção v .

2. A necessidade da ocorrência de «fenómenos» na Terra

A taxa temporal de produção de entropia no planeta Terra resulta, deste modo, do acoplamento entre o gradiente da temperatura e o fluxo de energia interna (equivalente a *Fluxo de volume + fluxo de entropia (calor) + fluxo de massa*), do acoplamento entre os fluxos de volume (*velocidade*) e os gradientes de pressão, e do acoplamento dos fluxos de massa com os gradientes do potencial químico. Como os fluxos espontâneos das variáveis extensivas têm, na maioria dos casos, sentido oposto ao dos gradientes das variáveis intensivas (*note-se também que μ pode ser positivo ou negativo*), o 3.º termo de (1) é *francamente positivo*, pese embora alguma contribuição negativa dada por $L_{24} \frac{\partial \mu}{\partial x^v}$ respeitante, nomeadamente, às reacções associadas à *fotossíntese*. *Resulta deste facto uma contínua produção de entropia na Terra e, não fora a contribuição negativa do 2.º termo de (1), a entropia do nosso planeta aumentaria incessantemente.*

A Terra é, contudo, em primeira aproximação um sistema em equilíbrio termodinâmico (*com entropia constante*) com vizinhança. Tal facto pode ser inferido da observação de que as variáveis intensivas médias do nosso planeta $\langle P \rangle$, $\langle T \rangle$ e $\langle \mu \rangle$ não variam apreciavelmente no tempo (à escala climática $\sim 10^3$ anos). A essa escala, a entropia do nosso planeta mantém-se praticamente constante e, assim sendo, podemos considerar desprezível o primeiro termo de (1), pelo que o *fluxo de entropia entre a Terra e o exterior é, em média e à escala climática, integralmente balanceado pela produção de entropia devida à ocorrência de processos irreversíveis no planeta*. Por outro lado, podemos dizer que os *fenómenos que ocorrem na Terra são exactamente os necessários para que tal balanço se mantenha.*

3. A entropia relativa negativa, a circulação dos fluidos planetários e os processos vitais

A *necessidade* de fluxos de massa, de volume e de entropia (4) resulta, pois, do facto de estar associada à energia electromagnética recebida do Sol uma *entropia mais baixa* do que a que está associada à radiação electromagnética da Terra. Dito de outro modo, a energia electromagnética radiada pelo Sol possui uma *entropia relativa negativa* que constitui um *potencial entrópico* que é a «fonte» da fenomenologia terrestre.

Dada a forma quase esférica da Terra, a potência radiativa recebida do Sol por unidade de superfície terrestre decresce do equador para os pólos, originando heterogeneidades (gradientes) na distribuição espacial das variáveis P , T e μ . Os fluidos planetários respondem a esses gradientes com fluxos de massa, volume e entropia. A produção de entropia ocorre, conforme (4) e (5), pelo

acoplamento desses fluxos com os diversos gradientes presentes.

O nosso planeta actua como um *conversor de energia* ou um *produtor líquido de entropia* e esta necessidade imposta pelas leis da física traduz-se, precisamente, na imensa diversidade fenomenológica que ocorre no planeta e no mais espantoso de todos os fenómenos — *a vida*. A circulação dos fluidos planetários é, não só, uma gigantesca máquina de conversão de energia mas proporciona, também, a reunião de substâncias que possibilitam a ocorrência de uma multiplicidade de processos físico-químicos. Todos estes processos *devem*, de acordo com o 2.º *Princípio da Termodinâmica* aumentar a *entropia global*. Tal não significa que num subsistema particular do sistema global (Terra) *a entropia não possa diminuir enquanto no sistema global o balanço total é positivo*. Por exemplo, através da electrólise, o subsistema $H_2O + H_2O$ dá lugar a um subsistema de menor entropia constituído por $H_2 + H_2 + O_2$, sendo certo que a *diminuição de entropia neste subsistema é inferior ao aumento de entropia no dispositivo laboratorial no qual ocorre a electrólise*. Na Terra ocorrem fenómenos deste tipo de que são exemplo, entre outros, os fluxos (ascensionais) de massas de ar no mesmo sentido do potencial gravítico e as reacções associadas à fotossíntese. Fenómenos como estes são possíveis à custa de uma produção líquida de entropia no sistema global Terra. Os subsistemas onde tais processos ocorreram pelo facto de manterem relativamente à entropia média do sistema Terra uma entropia relativa negativa (potencial) estão na base da riquíssima diversidade dos fenómenos associados à vida. De facto, através das substâncias de origem vegetal (e animal) de que se alimentam, os animais incorporam nos seus organismos subsistemas de *entropia relativa negativa*, e através de uma cascata de conversões (reacções metabólicas) convertem a energia associada às ligações químicas no calor e no trabalho necessários à existência da vida.

Desta forma, a energia electromagnética radiada pelo Sol, ao encontrar o nosso planeta no seu trânsito, não é «consumida» nem «destruída» mas a *entropia* que lhe está associada aumenta apreciavelmente. Por a isso a Terra escapa à *monotonia* que se verifica no Universo próximo, isto é, a Terra é um lugar de *acontecimentos, de diversidade, de vida*.

4. «Morte térmica» — o fim da vida?

Poder-se-à perguntar como fizeram alguns físicos do séc. XIX: «*A contínua produção de entropia e a irreversibilidade que lhe está associada conduzirão, num horizonte mais ou menos longínquo, à impossibilidade de realização de trabalho e processos químicos, isto é, à "morte térmica" do Universo?*»

Hoje, podemos dar a esta pergunta uma resposta relativamente tranquilizadora. Efectivamente, os termos da eq. (4) *não são os únicos* que deverão ser considerados como fontes de entropia no sistema do Universo. Pode-se mostrar [5] que, num balanço global das fontes de entropia, existem termos que estão associados aos processos de criação/destruição de massa no Universo e termos que estão associados à expansão universal que contribuem negativamente para tal balanço. Sendo certo que não dispomos de meios para quantificar a totalidade dessas contribuições podemos concluir com uma mensagem menos apocalíptica: «*O desconhecimento da totalidade das contribuições dos processos que envolvem criação/ destruição de massa e volume não nos permite concluir, por enquanto, e provavelmente por muitos e bons anos, sobre um eventual aumento de entropia no sistema que é o Universo todo e, conseqüentemente sobre a inevitabilidade do desaparecimento da vida à escala universal*».

REFERÊNCIAS

- [1] PRIGOGINE, I. — *Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes*, 3rd ed., Interscience, N. Y. (1969).
- [2] KEISER, J. — *Statistical Thermodynamics of Non-Equilibrium Processes*, Springer (1987).
- [3] DE GROOT, S. R. — *Thermodynamics of Irreversible Processes*, North-Holland, Amsterdam (1966).
- [4] WOODS, L. C. — *The Thermodynamics of Fluid Systems*, Oxford Eng. Sc. Series 2 (1986).
- [5] HEITOR, A. — *Formalismo Termodinâmico com Base nos Parâmetros Críticos*, Tese de Doutorado, Évora (1992).

BIBLIOGRAFIA ADICIONAL

- *Physics of Climate*, Peixoto, J. P. and Oort, E. H., American Institute of Physics, N. Y. (1992).
- *The Theory of Thermodynamics*, Waldram, J. R. Cambridge University Press, Cambridge (1985).
- *Nonequilibrium Thermodynamics and its Statistical Foundations*, Kreuzer, H. J., Oxford Science Publications, N. Y. (1981).

Prémio Rammal

Em memória do físico libanês R. Rammal (1951-91), a Sociedade Francesa de Física e a Fundação da École Normale Supérieure distinguirão anualmente, com a medalha e prémio Rammal, um físico eminente de um país mediterrânico (incluindo Portugal) que, pela sua vida e pelas suas actividades (*investigação fundamental ou aplicada, ensino*) tenha dado um contributo importante, na forma e modernidade, «aux courants d'échange scientifique dans cette région du monde». O termo *físico* é entendido em sentido lato, estendendo-se à química-física, biofísica, ciências do universo, e ciências físicas na engenharia.

O espírito subjacente a esta distinção pode sintetizar-se na seguinte transcrição: «R. Rammal fut un savant ouvert et généraux, attaché au principe de l'universalité des droits de l'homme. Le jury veillera à ce que la communauté des lauréats reflète assez fidèlement des situations et des talents autour de la Méditerranée.»

Candidaturas: a enviar para Société Française de Physique, 33 rue Croulebarbe, 75013 Paris, France, com as identificações *Presenteur: (nom et prénom, fonction(s), adresse), candidat: (nom et prénom, date de naissance, fonction(s), adresse)*, devendo juntar-se, se possível, um curriculum vitae do candidato, assim como uma lista das suas publicações ou uma selecção das publicações principais.

Prémio Amaldi

Criado pela Fundação E. Amaldi, Itália, com o patrocínio da EPS, este prémio distinguirá as 1.^{as} edições de livros de texto em Física para o ensino secundário (alunos entre os 14 e os 18 anos de idade), com reconhecido mérito. Serão, em particular, tomados em consideração pelo júri os seguintes elementos: inovação na metodologia de ensino (em relação com o nível dos alunos a que se dirige), o conteúdo do livro, estrutura e apresentação gráfica. O valor do prémio é de 20.000 ECU, sendo 16.000 ECU para o autor(es) e 4.000 ECU para o editor.

Candidaturas: Os autores e editores interessados (com o consentimento dos autores) deverão enviar 2 cópias do livro para: Amaldi's International Prize Secretariat, Via Mazzini 62 - 19100 Piacenza, Italy, até 30 de Setembro 1993, devendo a 1.^a impressão do livro em causa ter ocorrido no período 1 Janeiro 87 - 30 Setembro 93. O prémio será entregue em Piacenza, Itália, na Primavera de 1994.

Prémio de Tradução Científica e Técnica

No campo da terminologia científica, técnica, linguística, informática e domínios envolventes, em língua portuguesa, foi criado o Prémio União Latina - JNICT, no valor de 1 milhão de escudos. Poderão concorrer os tradutores cujos trabalhos tenham conteúdo para um enriquecimento da terminologia científica e técnica portuguesa. Para tal, deverão apresentar 3 exemplares do trabalho proposto, devidamente referenciado, e 3 curricula vitae, até ao dia 23 de Julho de 1993.

Informações mais detalhadas: Escritórios da União Latina, Telefones, (01) 3951234 / (01) 3966835.

Prémio Científico IBM

Para distinguir trabalhos de elevado mérito no campo da computação. O prémio é único e no montante de 3000 contos. Poderá concorrer qualquer cidadão português com menos de 36 anos em 31 de Outubro de 1993. Serão aceites trabalhos em língua portuguesa, originais ou publicados em data posterior a 1 de Outubro de 1992.

Candidaturas: Data limite para recepção dos trabalhos 1 de Outubro de 1993.

Informações: Companhia IBM Portuguesa, Prémio Científico, Departamento de Comunicações e Programas Externos, Praça de Alvalade, 7 — 1799 Lisboa Codex

USO DE MICROCOMPUTADORES NO ENSINO DE FÍSICA (*)

O projecto da Universidade de Maryland

O currículo introdutório do curso de Física tem-se mantido muito estável durante mais de trinta anos, sendo quase uniforme em todo o país. Não obstante a aparente estabilidade, existem indicações de que três «indutores de mudança» começam a ter impacto: (1) a explosão de novos conhecimentos em Física e áreas relacionadas em matemática; (2) novos conhecimentos sobre o processo de aprendizagem obtidos a partir de estudos em Psicologia cognitiva; (3) o poder e a ampla disponibilidade de computadores pessoais. Estes desenvolvimentos desafiam o currículo tradicional de Física, oferecem novas oportunidades para introduzir estudantes na excitação de uma carreira de investigação em Física básica ou aplicada, e conferem uma preparação para essa carreira que é simultaneamente mais ampla e mais profunda do que aquela que temos sido capazes de oferecer no passado.

WILLIAM M. MACDONALD,
EDWARD F. REDISH
e JACK M. WILSON

Embora os exemplos e problemas na actual geração de textos introdutórios de Física aparentem ter sido modernizados, de facto, na maior parte dos casos, mesmo os problemas de aspecto moderno são simplesmente reformulações de problemas, maioritariamente tirados de textos mais antigos. Isto é uma consequência clara do facto de o nível da matéria no currículo de Física continuar a estar fortemente limitado pela preparação matemática que se pede aos estudantes. Menos óbvio é o facto de a preparação matemática que se espera para um estudante típico ter também determinado bastante não só a organização da matéria como também a ênfase relativa aos diversos tópicos.

O que falta a um curso introdutório de Física é a arte de analisar sistemas físicos reais. Isto requer uma variedade de princípios físicos e uma panóplia de habilidades que não são usualmente introduzidos até ao curso de pós-graduação ou na actividade profissional. No curso introdutório, a artificialidade dos problemas e a limitada introdução ao extenso conjunto de perícias profissionais fornecem uma imagem enganadora. Mesmo os estudantes de física mais brilhantes fazem frequentemente pouca ou nenhuma ideia sobre o trabalho real dos físicos profissionais.

Computação aplicada

Para remediar esta situação, iniciou-se há uns cinco anos atrás o

Projecto da Universidade de Maryland sobre Física e Tecnologia Educacional (M.U.P.P.E.T., «Maryland University Project on Physics and Educational Technology») originado em discussões entre um grupo de professores, que se tinham convencido de que a disponibilidade de computadores pessoais potentes e económicos, era o meio de tornar a educação dos físicos mais eficaz e excitante. Os fundadores do M.U.P.P.E.T. acreditavam que estes computadores podiam ajudar a:

- reorganizar elementos do currículo para colocar ênfase nos fundamentos da Física;
- alargar o conteúdo do curso para incluir mais Física contemporânea e dar ao estudante mais experiência com sistemas complexos;
- treinar a intuição do estudante através de simulações;
- fornecer experiência de investigação através de projectos criativos.

O M.U.P.P.E.T. tem sido orientado por três princípios importantes: temos de reavaliar o currículo, tendo em conta a disponibilidade do computador (o que podemos ensinar com ele que antes não podíamos?); o computador não deve substituir o professor, o livro de texto, ou o laboratório; e é o estudante que deve manipular o computador e não o contrário.

O primeiro ponto significa que usar o computador para ilustrar exemplos no currículo corrente não é suficiente.

Sublinhamos o segundo, visto que o professor, o texto, e o laboratório tem cada um os seus pontos fortes e as suas fraquezas. Em vez de substituir qualquer um destes, o computador pode ser usado para dar poder aos estudantes, permitindo-lhes resolver grandes grupos de problemas que anteriormente eram inacessíveis no nível introdutório.

O terceiro ponto requer que os estudantes tenham sempre a sensação de estar à altura da situação. Os estudantes têm, por essa razão, de saber o que o computador está a fazer e não o considerar como uma caixa preta. Isto implica que o estudante vai realizar alguma programação e que programas usados na aula terão uma estrutura aberta e acessível. As matérias desenvolvidas no M.U.P.P.E.T. requerem do estudante que ele leia e escreva programas de computador. Boas práticas de programação (construção descendente, programas estruturados, nomes sugestivos para variáveis, indentação, etc.) são realçadas e requer-se que todos os programas usados ou escritos no curso sejam facilmente lidos por outros estudantes e pelo instrutor.

Começámos a utilizar o computador nos cursos introdutórios de Física na Universidade de Maryland em 1984, usando computadores pessoais ao abrigo de uma bolsa da IBM Corp./AEP. O desenvolvimento de materiais que usassem o computador nos cursos

(*) Traduzido de *Computers in Physics*, n.º 4, 23, 1988, por J. Gabriel Rosa.

introdutórios de Física começou a sério em 1985 ao abrigo de uma bolsa proveniente do «Fund for the Improvement of Post-Secondary Education». Os estudantes têm sido ensinados a usar o computador no primeiro semestre do curso introdutório de Física, e o seu uso tem-nos habilitado a explorar maneiras de reconstruir o currículo para colocar ênfase no conteúdo físico e nas habilitações que são hoje apropriadas para um físico profissional.

Muito embora usássemos o computador no laboratório e nas aulas, não discutiremos esses métodos aqui. Tem havido um longo e exaustivo debate sobre o papel do laboratório na educação da Física, com propostas que vão desde a substituição dessas aulas inteiramente por «workshops» ou laboratórios de «descoberta», até à eliminação por inteiro do laboratório. Não existe um debate semelhante sobre o papel e o conteúdo do curso teórico (especialmente no que respeita ao papel adequado do computador nesse curso). Por esta razão, limitaremos neste artigo a nossa discussão à parte teórica do curso introdutório para estudantes de Física. Acreditamos firmemente na importância do laboratório como parte integrante da educação de um físico e esperamos, num outro artigo, debruçar-nos sobre o papel do computador no laboratório.

Para começar a nossa discussão sobre computadores nas aulas de Física, consideremos exemplos específicos das quatro técnicas tornadas possíveis com o computador: reorganização, alargamento, treino da intuição e projectos.

Curriculum reorganizado

A ordenação do curso tradicional é largamente regulada pelo treino matemático que supomos que o estudante possui. Como certas formas discretas de uma lei são muitas vezes conceptualmente mais simples do que as contínuas, a presença do computador permite-nos introduzir ideias fisicamente importantes num estágio anterior ao que seria doutro modo possível. Isto tem consequências para a estrutura intelectual do curso, permitindo-nos modificar a ênfase de uma maneira significativa.

Investigadores das ciências cognitivas que estudam a abordagem à Física por alunos ingénuos, têm realçado a importância de uma ordenação hierárquica das matérias apresentadas aos estudantes. Uma das tarefas mais difíceis para um principiante em qualquer domínio consiste em decidir quais são os usos e as relações de forças entre os vários conceitos, princípios e técnicas apresentadas. Podemos identificar três classes de métodos: «gimmicks», «ferramentas de bolso», e «ferramentas de poder». «Gimmicks» são resultados derivados, os casos especiais, e os factos interessantes mas não essenciais. Ferramentas de bolso representam princípios simples, convenientes e importantes, que se podem buscar e aplicar facilmente a uma variedade de problemas para dar respostas parciais ou para avaliar a plausibilidade de resultados. Estas incluem as leis de conservação, o princípio da incerteza, e assim por diante «Ferramentas de poder» são aqueles métodos que podem conduzir a resultados de elevada exactidão numa vasta variedade de sistemas.

Ferramentas de poder

Os estudantes no curso introdutório de Física passam particularmente um mau bocado a decidir o que é realmente importante, porque o nível das suas habilidades matemáticas os impede de usar directamente as «ferramentas de poder», excepto em alguns casos muito especiais. Em mecânica, tanta ênfase é colocada nos «gimmicks» associados a um campo gravitacional constante (gravidade da «Terra plana») que o estudante não chega a aprender como usar a verdadeira ferramenta de poder, a Segunda Lei de Newton. De modo similar, em electrostática, a Lei de Gauss, que é uma importante ferramenta de bolso, é discutida exaustivamente e usada para derivar o campo electrostático em vários casos especiais. Mas o estudante raramente aprende a usar as verdadeiras ferramentas de poder da electrostática, as equações que podem ser usadas para encontrar o campo eléctrico ou as superfícies de potencial electrostático

para qualquer arranjo de cargas e condutores.

O computador reduz a limitação imposta pela preparação matemática de estudantes e permite-nos apresentar a matéria numa ordem hierárquica que realça — e usa — os conceitos e leis da Física mais importantes e poderosos. No curso M.U.P.E.T., as ferramentas de poder não são restringidas ao nível formal. O estudante é capaz de trabalhar directamente com elas para resolver problemas de interesse e significado considerável.

Como exemplo, considere-se o modo como é apresentada a mecânica no curso introdutório usual para cientistas e engenheiros. Quase todos os textos introdutórios de Física iniciam a sua apresentação da mecânica com dois ou três capítulos sobre o movimento num campo gravitacional uniforme, antes de discutir a Segunda Lei de Newton. Isto é assim porque, em primeiro lugar, aquele movimento pode ser resolvido algebricamente sem equações diferenciais e constitui um lugar apropriado para introduzir o conceito de derivada. A segunda lei requer uma mais completa compreensão das derivadas.

Mas do ponto de vista da Física e da Psicologia cognitiva tal é bastante inadequado. O campo gravitacional uniforme é um caso muito especial e peculiar. Colocando-o em primeiro lugar, confere-lhe uma primazia que é imerecida e enganadora. Torna-se difícil para o estudante desenvolver um conceito apropriado de força, o que leva à confusão entre força e aceleração. Muitas vezes o estudante não consegue compreender o carácter local da lei de Newton, está confuso sobre a causa do movimento de um projectil, e sobregeneraliza a independência dos movimentos ortogonais.

Depois de introduzidas as leis de Newton, o estudante usa estas equações para encontrar o movimento de objectos a forças constantes (ou forças constantes por partes como a fricção) e nada mais. Em vez disso, capítulos sobre a conservação da energia e da quantidade de movimento seguem-se imediatamente. Estas são leis fundamentais, mas a sua introdução nesta altura serve na realidade para permitir alguma discussão sobre o

movimento que não é uniformemente acelerado. Alguma da dificuldade que os estudantes têm com estas leis de conservação pode ser encontrada na falta de compreensão das suas posições próprias na hierarquia das ideias. Mais tarde, o estudante aprende (leia-se: é-lhe apresentada) a solução para o oscilador harmónico.

Alguns textos, poucos, também tratam a solução para o problema de Kepler em pormenor, mas os estudantes que estudam cálculo ao mesmo tempo acham isto muito difícil. O estudante deixa frequentemente o curso introdutório de Física com a impressão que estes são os únicos casos solúveis. Pior ainda, muitos estudantes acham que, no mundo da Física, como que oposto ao mundo real, as equações para o movimento uniformemente acelerado, o movimento circular, ou oscilações simples descrevem o movimento de todos os objectos.

No curso de Física do M.U.P.P.E.T., os estudantes são ensinados a ler, «correr» e escrever programas simples na popular linguagem de programação de computadores Pascal, apoiados por textos que temos vindo a desenvolver. Os estudantes usam o computador para explorar a relação entre posição, velocidade e aceleração usando as duas relações diferenciais aprendidas no cálculo,

$$v = dx/dt \quad (1)$$

$$a = dv/dt$$

e as equações de diferença aproximada para estas quantidades em $t_n = n\Delta t$:

$$v_n = (x_{n+1} - x_n) / \Delta t \quad (2)$$

$$a_n = (v_{n+1} - v_n) / \Delta t$$

Um pacote de gráficos simples chamado MUPgraph permite ao estudante escrever programas que mostram traçados de x_n , v_n e a_n em diferentes janelas de computador. Trabalhando com as relações cinemáticas para uma variedade de casos, e usando gráficos, os estudantes ganham uma compreensão intuitiva da relação entre velocidade e aceleração para muitas funções $x(t)$ diferentes.

Isto é importante, porque a falta de capacidade de compreensão intuitiva destas relações constitui a fonte principal das dificuldades que os estudantes têm na introdução à mecânica.

Este breve exemplo fornece apenas um caso do modo como o computador pode modificar a organização do currículo dando a primazia a importantes conceitos físicos e apresentando aos estudantes as ferramentas de poder da Física. Pode, é claro, ser estendido e aplicado ao resto do programa da mecânica introdutória.

Alargar a extensão de conhecimentos

Muitos problemas relevantes e interessantes são excluídos do currículo padrão mesmo quando conceitos físicos e equações relevantes são facilmente apresentáveis e compreensíveis, porque as suas soluções são matematicamente inacessíveis ao nível introdutório. O computador permite-nos alargar o currículo-padrão de modo a incluir muitos destes problemas. Isto é importante por um número de razões: (1) podemos fazer problemas que são mais realistas e que estão mais perto da experiência dos estudantes; (2) podemos introduzir novas maneiras de pensar sobre problemas e de extrair a física de sistemas complexos-maneiras que estão mais em consonância com a maneira do físico profissional abordar problemas realistas; (3) podemos introduzir física nova, cujo interesse é contemporâneo. Discutiremos dois exemplos extraídos da mecânica que ilustram estas ideias: o pêndulo de grande amplitude, e a dinâmica não-linear (caótica).

O pêndulo de grande amplitude

O exemplo mais simples de um sistema não-linear é o pêndulo. A aproximação harmónica é discutida na sua totalidade em todos os textos introdutórios, só alguns, poucos, discutem correcções a ela. Mas raramente notam que o termo não-linear

muda completamente o carácter qualitativo das soluções correspondentes a movimentos de grande amplitude. A diferença mais óbvia é que a solução harmónica

$$\theta = \theta_{\max} \cos(\omega t + \delta) \quad (3)$$

prevê movimento oscilatório mesmo quando a velocidade inicial é tão grande que o deslocamento angular máximo excede 90° .

Uma diferença menos óbvia consiste no facto de o princípio de sobreposição não ser válido para movimentos de grande amplitude. A solução para grandes amplitudes da equação exacta não é igual à soma das duas soluções independentes com coeficientes determinados pelas condições iniciais.

Encontrar soluções numéricas para a equação

$$d^2\theta/dt^2 = -(g/l) \sin \theta \quad (4)$$

permite ao estudante aprender a diferença entre a solução analítica para uma equação aproximada e a solução numérica para uma equação exacta. A transição do comportamento linear na aproximação harmónica para o movimento não-linear pode ser facilmente seguida traçando a trajectória no espaço de fase. Não apenas tais traçados são valiosos para estudar qualquer género de movimento não-linear, como também a sua introdução forma a base para uma introdução à regra de quantificação de Bohr-Sommerfeld.

Dinâmica caótica

Um exemplo de alargamento para incluir problemas de interesse contemporâneo é a inclusão da teoria da dinâmica não-linear. Estes tópicos são de interesse corrente considerável não só para cientistas como para o público em geral. Por exemplo, «Chaos» de James Gleick (Viking, 1987 e português, Gradiva, 1989) está actualmente na lista de «best-sellers».

Os estudantes nas nossas turmas do primeiro ano de Física estão ansiosos por aprender tópicos modernos tais como caos, duplicação de período, fractais e bacias de atracção. Sistemas simples dão exemplos de todos estes tópicos, os quais podem ser facilmente explorados usando computadores pessoais. Muitos sistemas exibem comportamento caótico a certo nível, e alguns sistemas só podem ser compreendidos com a ajuda de equações não lineares.

O assunto do caos (ou sensibilidade às condições iniciais) é, de facto muito mais, do ponto de vista conceptual, do que simplesmente uma tentativa de condimentar um curso que não envolve alguns tópicos quentes. O curso introdutório padrão inclui um grande bloco sobre mecânica clássica. Um ponto principal deste bloco é a previsibilidade: dadas as posições e velocidades iniciais de todos os corpos e as leis de força entre eles, os seus movimentos são previsíveis (inferidos para sempre) usando as leis da mecânica.

O curso introdutório padrão também inclui um grande bloco sobre termodinâmica. Embora possa ser dada separadamente, é frequentemente introduzida em conjugação com alguns conceitos da teoria cinética ou mecânica estatística. Esta abordagem requer a descrição da mecânica com base em probabilidades, especialmente se a definição de entropia for apresentada a partir da teoria da informação. Este procedimento pode ser muito confuso para o estudante, dada a ênfase sobre previsibilidade no capítulo sobre mecânica. É possível que se estabeleça uma barreira entre mecânica e termodinâmica na mente do estudante.

Se ocuparmos uma semana com a dinâmica não-linear, na forma de uma interpolação entre mecânica e termodinâmica, podemos melhorar substancialmente a situação. Existem muitos exemplos simples onde o comportamento a longo prazo é extremamente sensível às condições iniciais. Tendo introduzido o plano de fase, podemos também introduzir naturalmente os conceitos de preparação de estados, conjuntos, incerteza experimental, replicabilidade e médias. Trajectórias complexas no

espaço de fase ocorrem até mesmo em sistemas simples. A relação entre uma média temporal e uma média sobre um conjunto torna então plausível a ideia fundamental da mecânica estatística.

Treino da Intuição

Dirac disse uma vez que um físico não compreendeu um problema até que o possa «resolver sem o resolver», isto é, até que tenha experiência suficiente para julgar que efeitos físicos são mais importantes de modo que possa antecipar a solução sem resolver os pormenores. Esta, assim chamada, «intuição física» só pode ser conseguida estudando um grande número de problemas específicos. Além disso, requer experiência com sistemas complexos nos quais interagem efeitos físicos diferentes.

Um exemplo de um tal problema é dado pelas trajectórias de bombas da Grande Berta, o canhão de longo alcance usado para bombardear Paris na primeira Guerra Mundial, de uma distância de 120 quilómetros. (Ver Problema 5.6-12, p. 217 de Bennet incluído adiante em «Para leitura adicional.») A altitude máxima destas bombas era tão grande que a variação da densidade do ar com a altura modifica qualitativamente a solução. A fórmula para a resistência do ar dada por:

$$F_T = -C_T A \rho v |v| \quad (5)$$

mostra que a resistência é proporcional à densidade do ar, e por conseguinte diminui com a altitude. Quando a variação da densidade do ar com a altitude é tomada em conta, pode-se colocar outra vez a questão, «Que ângulo de elevação da Grande Berta fornece o alcance máximo?» Muitos físicos julgarão que um ângulo superior a 45° reduzirá a resistência do ar ao longo da trajectória, dando origem a um alcance maior. Mas poucos ficarão confiantes antes de verem a solução para este problema, que só se pode obter por integração numérica. Muitos também quererão ver se os resultados numéricos poderiam ter sido

antecipados por algum cálculo aproximado.

Sistemas complexos que requerem programas longos ou sofisticados podem ser investigados por estudantes usando «pacotes de simulação». Estes são programas que podem resolver uma variedade de problemas associados com uma dada classe de sistemas. Um exemplo é o programa «Orbits» (ver Harold, adiante, em «Para leitura adicional»), desenvolvido pela equipa do M.U.P.P.E.T.. Este programa resolve o problema de três corpos restrito formado por dois objectos pesados e um conjunto de corpos leves que não interagem uns com os outros. Podem ser considerados até cinco objectos. O programa permite que se especifiquem as condições iniciais num «ecrã de dados», o qual pode ser guardado como um cenário. Também se pode carregar e correr um cenário previamente guardado. As órbitas são traçadas, sendo mostrada informação acerca delas. O estudante pode escolher entre mostrar as órbitas no referencial de centro de massa ou no referencial estacionário de um dos dois corpos pesados. O estudante pode comunicar a qualquer um dos objectos o incremento de velocidade v usando o teclado do cursor.

O programa pode ser usado de um grande número de maneiras. O professor poderá preparar uma folha de problemas para um «microlaboratório», que é uma série de aulas passadas numa sala equipada com microcomputadores, com os estudantes tentando resolver um conjunto específico de problemas enquanto um instrutor está pronto a responder a questões. O programa também pode ser posto à disposição dos estudantes para o uso fora das aulas, nomeadamente, trabalhos de casa. Finalmente, o programa é suficientemente eficaz e flexível para ser usado pelos estudantes num projecto final sobre o problema gravitacional de muitos corpos.

Projectos dos estudantes

A quarta maneira como um computador pode ser usado num curso introdutório consiste em permitir aos

estudantes realizar alguns projectos independentes, ganhando com a experiência do modo como se faz investigação científica. Na maior parte das versões do currículo corrente, as habilidades computacionais necessárias à investigação — a compreensão de aproximações e truques numéricos — são deixadas para o estudo da Física como sendo uma «ciência exacta» em vez de uma ciência onde conhecemos o alcance de aplicabilidade das nossas equações. Raramente se encontram num programa de licenciatura técnicas para resolver problemas a uma escala grande, a não ser que o estudante faça uma tese de licenciatura. Isto é particularmente infeliz, visto que a abordagem de um problema complexo e em aberto (especialmente uma questão cuja resposta não seja conhecida antecipadamente) constitui a perícia fundamental de um cientista profissional. O currículo tornou-se tão uniformizado que pode até parecer excessivamente rígido. No presente currículo, um estudante da licenciatura em Física pode ter dois anos de Física no liceu, quatro anos de Física universitária e dois anos de Física de pós-graduação sem nunca encontrar um problema para o qual o professor não saiba a resposta! Isto adultera muito o papel importante que criatividade e o raciocínio independente têm no trabalho diário de um cientista profissional.

A nossa abordagem coloca ênfase nas ferramentas de poder da Física, apresenta aos estudantes métodos numéricos que podem ser usados para resolver problemas relativamente complexos, e dá-lhes a experiência de perseguir uma variedade de tópicos para além de um nível qualitativo e aproximado para resultados mais completos e quantitativos. Damos conta de que mesmo a fazer trabalho de casa específicos muitos estudantes usam esse trabalho como um trampolim para examinarem problemas que lhes interessam. A oportunidade para fazer projectos que levam algumas semanas ou mais passa ser acabados, foi bem-vinda pela maioria dos estudantes, tendo eles atacado uma variedade de problemas bem excitantes. Os tópicos estudados têm incluído galáxias em

colisão, luas «pastoras» nos anéis de Saturno, satélites ligados, o comportamento de osciladores não lineares e a transferência de planetas entre estrelas em colisão.

Os estudantes têm abordado a computação numa variedade de modos, incluindo a escrita dos seus programas a partir do nada, a escrita dos seus programas com a ajuda das utilidades e dos programas «template» M.U.P.P.E.T. e de programas-ferramenta eficazes já elaborados tal como «Orbits», para estudar uma certa classe de problemas. Os alunos têm achado este aspecto do curso muito bem conseguido e satisfatório.

O ambiente do M.U.P.P.E.T.

Temos tentado desenvolver os nossos materiais e modificações curriculares de modo a poderem ser usados de uma maneira não dispendiosa e efectiva numa variedade de ambientes. O nosso ambiente pessoal em Maryland baseia-se actualmente em computadores pessoais IBM XT e AT. Uma configuração razoável para usar os nossos materiais é um 8088 ou 80286 IBM compatível com duas drives de disquetes ou uma disquete e um disco duro. Para a máquina baseada no 8088 (um IBM XT ou cópia deste), recomenda-se muito um co-processor 8087, com 649K de memória. Todos os nossos pacotes foram preparados para correr com uma placa gráfica CGA ou EGA.

Na nossa experiência, uma tal máquina satisfaz 8-10 estudantes. Dispomos de dois micro-laboratórios no Departamento de Física: um com 16 máquinas, maioritariamente XTs, ligados em rede com um AT servidor. O segundo laboratório é um laboratório suplente com uma dúzia de máquinas, também ligadas em rede ao mesmo servidor. As nossas turmas do primeiro ano da licenciatura em Física, cada uma com 10-20 estudantes, reúnem-se lá 3-4 vezes cada semestre com o professor, para uma sessão de uma hora de micro-laboratório. Alguns assistentes mantêm o laboratório aberto durante oito horas durante a semana. Estudantes fazem uso extensivo do laboratório para trabalhos de computador e projectos de fim de ano.

A Universidade de Maryland também instalou um certo número de micro-laboratórios para fins gerais em bibliotecas espalhadas pelo campus, e vai começar no próximo ano a colocar computadores nas residências estudantis como parte de um esforço mais amplo para expandir a acessibilidade dos computadores.

Passámos grande parte do nosso primeiro ano a debater as linguagens a usar no M.U.P.P.E.T. Concluímos então que a linguagem apropriada para os caloiros era o Pascal. Existem certas razões para esta escolha (ver caixa).

— O Pascal encoraja bons hábitos de programação. Isto resulta em programas que são fáceis de ler por terceiros e que fornecem ao estudante blocos construtivos para uso em projectos cada vez mais ambiciosos.

— O Pascal reduz significativamente os erros em tempo real. Estes tendem a ser difíceis de analisar para o estudante no curso introdutório. Podem ser frustrantes e fazer perder tempo.

— O Pascal foi padronizado. Apenas existem pequenas diferenças em versões diferentes.

— Estudantes que conhecem Pascal acham fácil a aprendizagem de linguagens mais poderosas, como o FORTRAN, C, e ADA.

— A programação em Pascal encoraja uma abordagem algorítmica à resolução de problemas, que investigadores das ciências cognitivas descobriram ser fortemente vantajosa na aprendizagem de práticas de resolução de problemas gerais.

O Pascal também é largamente preferido como a linguagem ensinada nos cursos de introdução aos computadores, mesmo ao nível do liceu. Uma grande fracção dos nossos caloiros de Física entram no curso já familiarizados com o Pascal. Finalmente, uma consideração financeira importante é o facto de o Pascal estar disponível numa versão pouco dispendiosa (disponível a estudantes ao preço de um livro de texto) como o «Turbo Pascal» da

Borland International, Califórnia. O «Turbo Pascal» combina convenientemente editor e compilador, tem uma excelente verificação da sintaxe, e compila muito rapidamente.

De forma a reduzir ao mínimo a programação que temos de ensinar, desenvolvemos folhas que distribuímos nas aulas, que contêm as bases do Pascal na forma de algumas ideias mínimas. Desenvolvemos «utilidades» que permitem aos estudantes e aos professores a escrita fácil de programas com gráficos de «input» interactivo e várias janelas simples. Programas exemplificativos simples podem ser usados interactivamente em micro-laboratórios para estudar fenómenos complexos e servir de programas de arranque ou «templates» a partir dos quais podem ser construídos outros programas. Isto torna possível aos estudantes aprender muito rapidamente a escrita de programas.

Estes materiais também ajudam a resolver o problema de tornar o computador acessível a professores que não programam ou que programam numa linguagem demasiado sofisticada para a maior parte dos caloiros.

Actualmente chamamos a esta colecção de materiais «Física Introdutória com o Microcomputador». Ela está continuamente a ser modificada e expandida como resultado da resposta de estudantes, professores e outros utilizadores. As folhas e as instruções podem ser obtidas escrevendo a um dos autores. Os programas e «utilidades» podem ser obtidos através do boletim electrónico da AAPT/M.U.P.P.E.T., ao qual se pode ter acesso via modem pelo número (301) 454-2086.

O curso padrão de introdução à Física está tão densamente preenchido com matéria «absolutamente vital», que um texto de introdução à Física tem tipicamente mais de mil páginas e chega a pesar 4 quilos. Os professores correm pela matéria de modo a «cobrir» o máximo possível; queixas sobre a quantidade de matéria no curso introdutório são uma parte habitual em toda a discussão pública sobre mudanças no currículo.

A questão que então logicamente emerge é de que maneira poderemos

incluir mais matéria num currículo modificado? O que se tem de deixar de fora para dar lugar ao computador? Na nossa perspectiva, o currículo corrente está gravemente desequilibrado. Os estudantes acabam por memorizar demasiada matéria e pensar muito pouco. Alguma coisa terá certamente que ficar de fora, ou pelo menos adiada até mais tarde. Uma inspecção de programas de licenciatura indica que existe frequentemente algum espaço ao nível dos últimos anos. Muitos estudantes usam tal facto como uma oportunidade para iniciarem mais cedo cursos de pós-graduação. Uma nova estruturação do currículo tem de olhar para o programa inteiro. Pode ser produzido um produto muito mais coerente anulando o currículo antigo — reconsiderando o valor de todos os seus elementos — incluindo programas actuais e aqueles que estão a ser propostos.

Uma proposta modesta é suprimir o movimento do corpo rígido, a óptica e as propriedades dos materiais (incluindo dinâmica dos fluidos) até ao segundo ano. Estes tópicos podiam ser então tratados com mais profundidade nesse nível do que é costume no actual currículo. Técnicas para treino da intuição baseadas em computadores poderiam ser particularmente valiosas nestas matérias. E mais: dos estudantes treinados com o curso introdutório baseado em computador pode-se esperar que tenham uma maior sofisticação e capacidade de lidar mais efectivamente com esses tópicos.

A mudança mais significativa a surgir da inclusão do computador no curso não é a mudança de conteúdos. É a mudança nas actividades que os estudantes realizam fora da aula. O número de problemas de substituição («plug-in homeworks») é substancialmente reduzido (ainda que alguns se encontrem em qualquer trabalho). São substituídos por trabalhos de casa sobre problemas ligados ao computador, que estimulam a reflexão sobre os fenómenos. Estes não são simplesmente problemas numéricos: muitos deles são analíticos, estimativas, ou análises qualitativas que são necessárias antes que um problema possa ser levado ao

computador. Um projecto independente também tende a aumentar o envolvimento do estudante no curso e na matéria.

Em conclusão, o M.U.P.P.E.T. achou que muitas mudanças são possíveis e que existem muitos elementos do curso tradicional que são desequilibrados e inapropriados num ambiente moderno. O poder do computador permite-nos abordar alguns destes problemas. A inclusão do computador na primeira cadeira de Física do estudante, permite-nos iniciar o treino deste em habilidades normalmente negligenciadas até ao curso de pós-graduação, introduzir tópicos contemporâneos, e deixar o estudante empreender investigações criativas de problemas interessantes e por resolver, mesmo ao nível do primeiro ano.

Leitura adicional

Segue-se uma lista parcial de algumas obras usadas pelos autores na preparação deste artigo:

1) Gordon Aubrecht, «Should There Be Twentieth Century Physics in Twenty-First Century Textbooks?», «preprint» da Universidade de Maryland, 1987.

2) William R. Bennett, Jr., «Scientific and Engineering Problem-Solving with the Computer», Prentice-Hall, 1976.

3) J. B. Harold, K. A. Hennacy e E. F. Redish, «The Computer and Intuition Building: A Multi-Body Orbit Simulation», AAPT Announcer, 17, n.º 2, Maio 1987, p. 58.

4) J. H. Larkin e F. Reif, «Understanding and Teaching Problem Solving in Physics», European Journal of Science Education, 1, 191, 1979.

5) F. Reif, «Teaching Problem Solving-A Scientific Approach», The Physics Teacher, Maio 1981, p. 310.

6) Jack M. Wilson, «Microcomputers as Learning Tools», Conferência Interamericana sobre Educação em Física. «Criando Redes para o Ensino da Física nas Américas», Oaxtepec, Mexico 20-24/7/87, actas a publicar.

O que há de novo?

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

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

Para esta cobertura contamos desde já com a colaboração de *Eduardo Lage (PW, SA, EB)*; *Matos Ferreira (N, LR)*; *Carlos Fiolhais (PT, EN, NS)*; *Ana Noronha (S)*; *J. Lopes dos Santos (EJP)*; *Margarida Telo Gama (AJP)*; *Marília Thomaz (PTE, SE, IJSE)*; *António Moreira Gonçalves (CP)*; *Anabela Martins (PE, SSR)*. *Agradecem-se outras colaborações para esta secção.*

Mais preto do que o preto

Poderá uma superfície branca parecer mais preta do que uma folha de papel preto? Na revista «The Physics Teacher», Vol. 31, Fevereiro 93, p. 94, Martin Gardner, descreve uma experiência simples que pode provar que a resposta à questão posta é sim.

«Arranje uma folha de papel o mais preto possível e corte um quadrado com cerca de 10 cm de lado. Faça um orifício no centro do quadrado com a ponta de uma agulha muito fina. Coloque o quadrado de papel por cima de uma chávena de porcelana cujo interior seja completamente branco. Sob uma lâmpada, o orifício é claramente mais preto do que o papel!

Nenhum tecido ou papel preto é totalmente preto; é apenas um cinzento muito escuro. A chávena coberta com o papel é quase um «corpo negro» — um objecto que absorve toda a radiação. A luz que entra no orifício pode sair apenas depois de sofrer dentro da chávena tantas reflexões que quase nenhuma radiação pode escapar.»

Transporte termodinâmico de ovos

Huang Guo-xiong, descreve na revista «The Physics Teacher», Vol. 31, Fevereiro 93, uma interessante demonstração que pode ajudar os alunos a compreender a relação entre a temperatura e a pressão de um gás quando o gás é mantido a volume constante.

«Coza um ovo e tire-lhe a casca. Prepare um frasco cujo gargalo seja um pouco mais pequeno que o ovo. Fixe o frasco, com a boca para cima, num suporte metálico e introduza dentro dele um bocadinho de papel a arder. Quando o papel tiver quase ardido tape a boca do frasco com o ovo descascado (ver Fig. 1). Para sua surpresa, quando a chama se apagar, verá que o frasco vai engolindo o ovo. Isto porque à medida que o gás encerrado no frasco arrefece, a sua pressão torna-se

menor: Quando a pressão do gás no frasco for menor que a pressão atmosférica exterior, esta empurra o ovo para dentro do frasco.

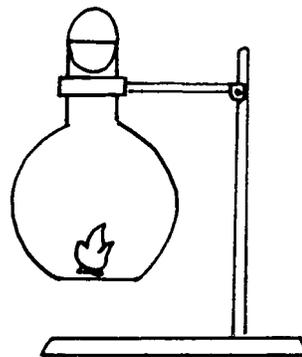


Fig. 1

Se os seus alunos conhecem a lei de Charles, pode perguntar-lhes como poderiam fazer com que o ovo saísse, usando esta lei. Eis como isso poderia ser feito.

Fixe o frasco no suporte com a boca para baixo, fazendo com que o ovo vede a boca do frasco pelo interior. Em seguida aqueça o frasco (Fig. 2). À medida que a temperatura do gás no frasco aumenta, a sua pressão também aumenta e o ovo será empurrado para fora.

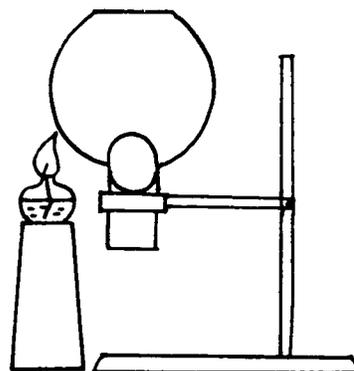


Fig. 2

Esta é uma demonstração simples e interessante que ilustra espectacularmente alguma física simples.»

M. T.

OLIMPIADAS DE FÍSICA

Etapas Regionais 1993

Delegação Regional do Norte

A Delegação Norte recebeu a inscrição de 56 equipas concorrentes às Olimpíadas de Física provenientes de 33 escolas, a saber:

E. C+S de Couto de Cucujães, E. C+S de Gueifães, E. C+S do Castelo da Maia, E. C+S de Paços de Brandão, E. S. Águas Santas, E. S. Almeida Garrett - V. N. Gaia, E. S. Amarante, E. S. António Nobre - Porto, E. S. António Sérgio - V. N. Gaia, E. S. Arcozelo, E. S. Augusto Gomes - Matosinhos, E. S. Camilo Castelo Branco - Vila Real, E. S. Carolina Michãelis - Porto, E. S. Coelho e Castro - Fiães - Feira, E. S. D. Dinis - Santo Tirso, E. S. D. Maria II - Braga, E. S. do Cerco do Porto - Porto, E. S. Dr. Manuel Gomes de Almeida - Espinho, E. S. Dr. Manuel Laranjeira - Espinho, E. S. Eça de Queirós - Póvoa de Varzim, E. S. Fafe, E. S. Filipa de Vilhena - Porto, E. S. Fontes Pereira de Melo - Porto, E. S. Infante D. Henrique - Porto, E. S. José Régio - Vila do Conde, E. S. Macedo de Cavaleiros, E. S. Mogadouro, E. S. Paços de Ferreira, E. S. Rio Tinto - Porto, E. S. Rocha Peixoto - Póvoa de Varzim, E. S. Santa Maria da Feira, E. S. Vila Pouca de Aguiar, Externato N.ª S.ª do Perpétuo Socorro - Porto.

Estas escolas foram divididas por cinco provas intermédias que tiveram lugar nas seguintes escolas:

E. S. de Amarante, E. S. Coelho e Castro de Fiães - Feira, E. S. Carolina Michãelis - Porto, E. S. Eça de Queirós - Póvoa de Varzim, E. S. Fontes Pereira de Melo - Porto.

Nos termos do regulamento estas escolas receberam um prémio simbólico pela organização desta eliminatória.

Para a prova regional, realizada em 6 de Maio de 1993, foram apuradas 11 equipas do escalão A e 10 do escalão B, bem como todas as equipas das provas de criatividade (8 no escalão A e 5 no escalão B), num total de 20 escolas e 81 alunos.

A eliminatória das provas teórico-experimentais (prova experimental e resolução de problemas) teve início às 9h30 com duração de 90 + 40 minutos, seguindo-se o almoço nas instalações do bar da Faculdade de Ciências. A apresentação das provas de criatividade teve lugar às 14h30. Pelas 16 horas teve início a sessão de encerramento com entrega de prémios de presença a todos os alunos participantes, e às equipas (alunos e escola) classificadas em primeiro e segundo lugares em cada prova. No final foi servido um lanche aos participantes.

As equipas vencedoras em cada prova foram:

9.º e 10.º ano

1.º Lugar: *Escola Secundária António Sérgio* — Alexandre Manuel Fabião Ramos, António Pedro R. Boaventura Silva e João Medina Prata Pinheiro.

2.º Lugar: *Escola Secundária Almeida Garrett* — Luís Tiago G. S. Antas Parada, Rui Miguel Teixeira Claro e Rui Pedro Gonçalves Ramalheite.

11.º e 12.º ano

1.º Lugar: *Escola Secundária Rocha Peixoto* — Jaime Santos Cardoso, Abílio José Carvalho e Vitor Manuel dos Santos Cardoso.

2.º Lugar: *Escola Secundária António Nobre* — Paulo Alexandre Machado, Pedro Manuel Cardoso e Rita Sarmento S. Domingues.

Criatividade 9.º e 10.º

1.º Lugar: *Escola Secundária de Rio Tinto* — Eduardo Cunha, Luís Rodrigues e Nuno Botelho.

2.º Lugar: *Escola Secundária António Nobre* — André Cardoso Rocha, Cristiano Marantes e Jorge André Matos.

Criatividade 11.º e 12.º

1.º Lugar: *Escola Secundária António Nobre* — Paulo Alexandre Machado, Pedro Manuel Cardoso e Rita Sarmento S. Domingues.

2.º Lugar: *Escola Secundária de Mogadouro* — Ana Paula R. Miranda, Alexandre A. Jerónimo e Heliodoro António Pereira.

A Direcção da Delegação Regional Norte da SPF agradece os apoios recebidos da Delegação de Turismo da Câmara Municipal do Porto, do Banco Totta & Açores, da JNICT, da Fundação Calouste Gulbenkian, e da Gradiva, sem quais não seria possível a realização desta prova regional. Agradece ainda o apoio prestado pelas escolas que organizaram a prova intermédia, imprescindível face ao número de equipas participantes.

Prova para o 9.º e 10.º ano

1.ª Parte (90 min.)

Espelhos planos

Material disponível: 2 espelhos planos; 2 suportes de madeira; 1 objecto pequeno; 1 régua; 1 transferidor e 2 folhas de papel branco

Objectivo do trabalho: Com o material disponível, determine a relação matemática entre o ângulo que fazem os dois espelhos e o número de imagens obtidas, por reflexão nos mesmos, de um pequeno objecto colocado entre eles.

No final, elabore um relatório sucinto do trabalho.

Pontuação:

Realização experimental - 0 a 5

Medições - 0 a 5

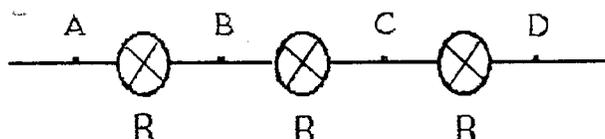
Relação matemática - 0 a 5

Relatório - 0 a 5

2.ª Parte (40 min.)

Em série ou em paralelo?...

As seguintes três lâmpadas, cuja resistência unitária tem valor R , encontram-se associadas em série:



1. Com a ajuda de dois fios condutores, e sem desfazer qualquer das ligações existentes, mostre como transformar aquela série numa associação em paralelo.
2. Calcule as resistências eléctricas equivalentes das duas associações de lâmpadas, em série e em paralelo.
3. Compare a energia total dissipada nas duas associações de lâmpadas, em série e em paralelo, durante um mesmo intervalo de tempo, e utilizando o mesmo gerador de corrente.

Prova para o 11.º e 12.º ano

1.ª Parte (90 min.)

Resistência interna de um gerador

Material disponível: 1 gerador químico; 1 voltímetro; 1 amperímetro; 2 resistências eléctricas iguais; 1 interruptor e 6 fios de ligação.

Objectivo do trabalho: Com o material disponível, determine a resistência interna do gerador, realizando o maior número possível de ensaios. No final, elabore um relatório sucinto do trabalho.

2.ª Parte (40 min.)

As amigas tartarugas...

Quatro tartarugas estão em repouso nos quatro vértices de um quadrado de lado (a). Simultaneamente, começam a deslocar-se com velocidade de valor constante (v), seguindo a 1.ª sempre na direcção da 2.ª, a 2.ª sempre na direcção da 3.ª, a 3.ª sempre na direcção da 4.ª e a 4.ª sempre na direcção da 1.ª.

Encontrar-se-ão as tartarugas?

Em caso afirmativo, indique onde, e deduza uma expressão que permita calcular o tempo (t) que demoraram a encontrar-se.

(Despreze as dimensões do corpo das tartarugas.)

Delegação Regional do Centro

Decorreram no passado dia 5 de Abril no Departamento de Física da Universidade as provas das Olimpíadas Regionais de Física / 93. As actividades estenderam-se ao longo do dia de acordo com o seguinte programa:

- 09h00 - 09h45 — Recepção das equipas participantes;
- 10h00 - 13h00 — Provas teórico-experimentais;
- 13h00 - 14h30 — Almoço nas cantinas universitárias;
- 14h30 - 17h00 — Provas de criatividade;
- 15h30 - 16h30 — Mostra do material utilizado nas provas teórico-experimentais (para professores acompanhantes);
- 15h00 - 16h00 — Sessão de vídeos didácticos para as equipas que não entram nas provas de criatividade;
- 17h30 — Lanche seguido de distribuição de prémios.

Este ano participaram cerca de 150 alunos dos escalões A (9.º / 10.º ano) e B (11.º / 12.º ano) em representação de trinta e duas escolas secundárias e C+S da Região Centro. Os vencedores das diferentes provas, a quem foram atribuídos prémios especiais, foram os seguintes:

1. Prova teórico-experimental do escalão A: *Escola Secundária José Estevão - Aveiro*, representada pelos alunos João Pedro Duarte, Ricardo Magalhães e Ricardo Fradinho.
2. Prova teórico-experimental do escalão B: *Escola Secundária de Nuno Álvares - Castelo Branco*, representada pelos alunos Nuno Miguel Girão de Almeida, Francisco José Rico Agostinho e Fernando Gabriel Dias Mendes.
3. Prova de Criatividade do escalão B: *Escola Secundária Cristina Torres - Figueira da Foz*, representada pelos alunos Francisco Miguel Carvalho Mendes, Mário Nuno Campos Oliveira e Micael Costa Parente, que apresentaram o trabalho intitulado «Projecto Coecu».

Em relação à prova de criatividade do escalão A, o júri não atribuiu o primeiro prémio, tendo decidido distinguir com uma menção honrosa a Escola Secundária de Estarreja, representada pelos alunos Carlos Lisboa, Carlos Vieira e Daniel Rebelo, que apresentaram o trabalho «Maquete sobre recursos energéticos».

Os vencedores destas Olimpíadas Regionais participarão, em representação da Região Centro, nas Olimpíadas Nacionais de Física, cuja organização está este ano a cargo da Delegação Regional do Sul e Ilhas da S.P.F..

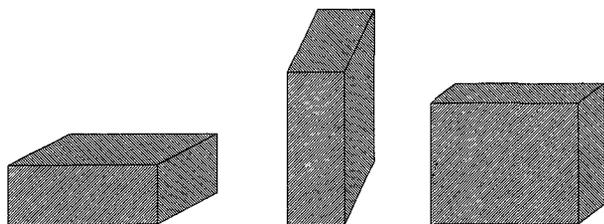
A Delegação Regional do Centro da S.P.F. agradece a excelente colaboração dos docentes, investigadores e funcionários do Departamento de Física da Universidade de Coimbra que com o seu empenho muito contribuíram para o êxito desta realização. De modo especial, deseja salientar o trabalho dos elementos do júri e de todos os que prepararam, acompanharam e corrigiram as provas.

Igualmente se agradece o apoio e patrocínio do Departamento de Física, dos Serviços Sociais da Universidade de Coimbra, da Câmara Municipal de Coimbra, de Gradiva Publicações Lda. e do Projecto «Softciências».

Prova para o 9.º ano

1.ª Parte (60 min.)

Imagina um tijolo maciço com a forma de um paralelepípedo com as dimensões de 20cmx10cmx5cm e com uma massa de 2kg. O tijolo é pousado por 3 vezes sobre uma superfície lisa de areia fina, de cada vez com uma face de área diferente voltada para baixo como mostra a Fig. 1.

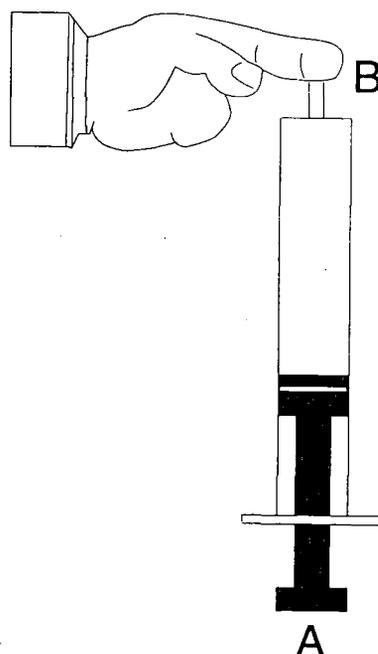


1. Representa em três diagramas as forças que actuam sobre o tijolo pousado na areia nos três casos considerados (um diagrama por cada caso).
2. Determina a força que o tijolo exerce sobre a areia em cada caso.
3. A deformação da areia é a mesma nos três casos? Porquê?
4. Qual a grandeza física que vai determinar a intensidade da deformação da areia?
5. Relaciona essa grandeza física com a altura do tijolo em cada uma das 3 situações.
6. Comenta os resultados.

II

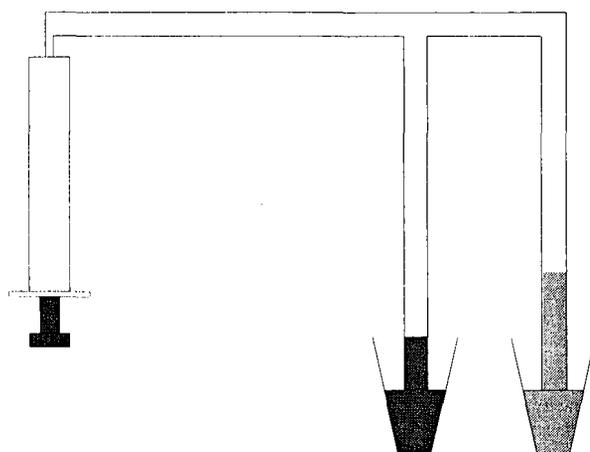
A Fig. 2 representa uma seringa virada para cima cujo êmbolo se move sem atrito. O êmbolo tem uma massa m e uma secção s .

1. Imagina que manténs o êmbolo a meio da seringa, apoiando uma mão no ponto A. Em seguida tapas a extremidade, apoiando um dedo no ponto B. O que é que acontece quando retiras a mão que segura o êmbolo em A?
2. O êmbolo volta a atingir uma posição de repouso? Que posição será essa? Traça o diagrama das forças que actuam sobre o êmbolo e justifica cada uma dessas forças.
3. Imagina agora que a experiência era feita com uma seringa, cujo êmbolo tem a mesma massa m mas uma secção s' diferente da do êmbolo da seringa inicial. O que aconteceria de diferente?
4. E se a experiência fosse feita com uma seringa cujo êmbolo tem a mesma secção s mas uma massa m' diferente da do êmbolo da seringa inicial? O que aconteceria de diferente?
5. Comenta os resultados.



2.ª Parte (90 min.)

À tua frente tens uma placa de madeira à qual foi presa uma seringa ligada a dois tubos.



1. Mergulha a extremidade de um dos tubos num copo com água e a do outro num copo com glicerina. Puxa o êmbolo da seringa para baixo. Descreve o que acontece e explica porquê.
2. Seja h a altura da coluna de um dos líquidos, d a sua massa volúmica e s a secção do respectivo tubo. Escreve as expressões para a massa das colunas de líquido, para o seu peso e para a pressão que se exerce na sua base.
3. Relaciona as pressões que se exercem nas bases das duas colunas de líquidos.
4. Para 10 posições diferentes do êmbolo, mede as alturas das superfícies livres da água e da glicerina, usando para o efeito a fita métrica presa à placa de madeira e a placa de cartolina.

5. Representa 10 pontos correspondentes aos valores medidos num gráfico em que o eixo dos xx corresponde aos valores da altura da coluna de água e o eixo dos yy aos valores da altura da coluna de glicerina. Usa, para fazer o gráfico, o papel milimétrico fornecido. Traça a recta que passa perto dos pontos representados no gráfico.

6. A partir da recta traçada no gráfico e das fórmulas referidas nas respostas aos pontos 2 e 3, calcula a densidade relativa da glicerina em relação à água.

7. Esvazia o tubo de glicerina empurrando o êmbolo com cuidado e substitui o copo de glicerina por um copo com óleo.

8. Repete o procedimento descrito nos pontos n.os 4, 5 e 6 para o óleo em vez de glicerina.

9. A partir dos 2 valores para as densidades relativas da glicerina e do óleo em relação à água, calcula a densidade relativa da glicerina em relação ao óleo.

10. Traça a recta correspondente ao valor obtido para a densidade relativa da glicerina em relação ao óleo num gráfico em que o eixo dos xx corresponde aos valores da altura da coluna de óleo e o eixo dos yy aos valores da altura da coluna de glicerina. Usa, para o efeito, a terceira folha de papel milimétrico fornecido.

11. Substitui o copo de água pelo copo de glicerina e, para 10 posições diferentes do êmbolo, mede as alturas das superfícies livres do óleo e da glicerina. Representa os pontos no mesmo gráfico em que representaste a recta referida no ponto anterior.

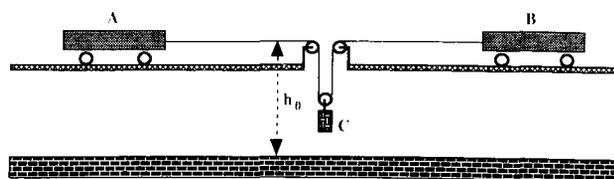
12. Comenta os resultados.

13. Imagina finalmente a seguinte situação: O êmbolo tem uma massa $m_e = 500$ g, um raio $r_e = 2$ cm e desliza sem atrito. Os dois tubos estão mergulhados nos copos com água e glicerina e não é exercida qualquer força externa sobre o êmbolo. Quando os níveis da água e da glicerina atingem o repouso, qual é a sua altura?

Prova para o 11.º ano

1.ª Parte (90 min.)

O sistema que será utilizado para a realização experimental é constituído por dois carros A e B, e está representado na figura. No interior dos carros serão colocados pequenos blocos de ferro, sendo conhecidas as massas de cada um destes blocos. Cada um dos carros pode mover-se sobre uma placa horizontal onde fica colocada uma fita métrica, que permite conhecer o espaço percorrido por cada um deles nas experiências a realizar.



Na roldana móvel é suspenso um corpo C, sendo conhecida a massa total deste conjunto. O espaço percorrido por este corpo pode ser determinado com o auxílio de outra fita métrica. Para isso deve medir-se a altura da posição inicial da qual o corpo C é abandonado do repouso.

Realização da experiência

— Os carros são colocados sobre as respectivas placas, devendo registar-se as suas posições iniciais. Nestas condições o fio que liga os dois carros e que mantém suspensa a roldana móvel, deve ficar horizontal. A altura inicial a que se encontra o corpo C deve ser registada.

— O conjunto é abandonado do repouso, procedendo-se ao registo do tempo que demora o corpo C até atingir o solo. Simultaneamente deve registar-se os espaços percorridos por cada um dos carros.

— Todos os valores obtidos devem ser convenientemente indicados.

Estas operações exigem a máxima atenção e coordenação de tarefas a serem realizadas por cada um dos elementos da equipa.

Se houver dúvidas quanto aos valores registados pelos três elementos, devem repetir-se as operações.

É conveniente que se determinem as médias dos valores mais fiáveis obtidos por cada um dos elementos da equipa.

Análise dos resultados

Sabendo que os movimentos dos carros e do corpo C são uniformemente acelerados:

1. Determinar os módulos das acelerações $|a_A|$ e $|a_B|$ dos movimentos dos carros A e B.

Calcular a relação $|a_A|/|a_B|$.

2. Obter os módulos das quantidades de movimento $|p_A(t)|$ e $|p_B(t)|$ dos carros A e B, respectivamente, durante o intervalo de tempo de descida do corpo C.

3. Qual a quantidade de movimento total $p = p_A(t) + p_B(t)$ do sistema constituído pelos carros A e B durante o movimento.

Justificar a resposta.

II

1. Calcular a energia cinética do conjunto constituído pela roldana móvel e pelo corpo C, $E_{cc}(t)$, em função do tempo e analisar como varia o seu valor durante o movimento de descida.

2. Obter e analisar o comportamento da função energia potencial em função do tempo, $E_{pc}(t)$, do conjunto indicado em 1), durante o movimento de descida.

3. Determinar a energia mecânica em função do tempo, $E_{mc}(t)$, do referido conjunto, durante o movimento de descida.

Analisar o resultado obtido, relacionando o comportamento da função $E_{mc}(t)$ com a variação da energia do sistema constituído pelos dois carros.

Informação

Para um sistema de n partícula podemos definir um ponto característico desse sistema, designado por centro de massa. A posição, a velocidade e a aceleração desse ponto torna possível conhecer alguns aspectos relacionados com a evolução do sistema ao longo do tempo.

As relações matemáticas que permitem determinar os seus valores são as seguintes:

$$r_{cm}(t) = \frac{m_1 r_{1} + m_2 r_{2} + \dots + m_i r_i + \dots + m_n r_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_i + \dots + m_n}$$

$$v_{cm}(t) = \frac{m_1 v_{1} + m_2 v_{2} + \dots + m_i v_i + \dots + m_n v_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_i + \dots + m_n}$$

$$a_{cm}(t) = \frac{m_1 a_{1} + m_2 a_{2} + \dots + m_i a_i + \dots + m_n a_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_i + \dots + m_n}$$

onde m_i e r_i são, respectivamente a massa e o vector posicional da partícula i constituinte do sistema; v_i é a sua velocidade e a_i a respectiva aceleração.

Para o sistema constituído pelos dois carros A e B, determinamos a posição do centro de massa em cada instante t através da relação:

$$x_{cm}(t) = \frac{m_A x_A(t) + m_B x_B(t)}{m_A + m_B}$$

onde

$$x_A(t) = x_{OA} + 1/2 a_A t^2$$

e

$$x_B(t) = x_{OB} + 1/2 a_B t^2$$

Considerando o sistema constituído pelos dois carros A e B:

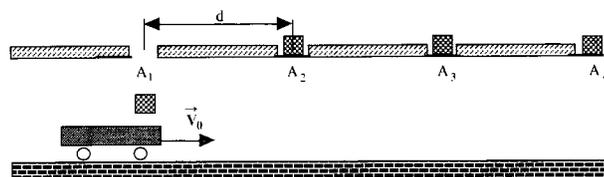
1. Analisar o que acontece à posição do centro de massa do sistema constituído pelos dois carros durante o movimento.
2. Qual é a velocidade do centro de massa do sistema enquanto os carros se movimentam?
3. Qual é a aceleração do centro de massa do sistema durante o movimento?
4. A partir dos dados obtidos, determinar a relação entre as forças que o fio exerce sobre o carro A e sobre o carro B.

2.ª Parte (90 min.)

I

Uma pequena vagoneta de massa m que se desloca com movimento rectilíneo e uniforme, com velocidade v_0 , passa por baixo de uma série de alçapões igualmente distanciados

entre si (ver Fig.); de cada um deles cai para dentro da vagoneta um pacote de massa $m = M/3$. O movimento da vagoneta entre dois alçapões consecutivos é uniforme.



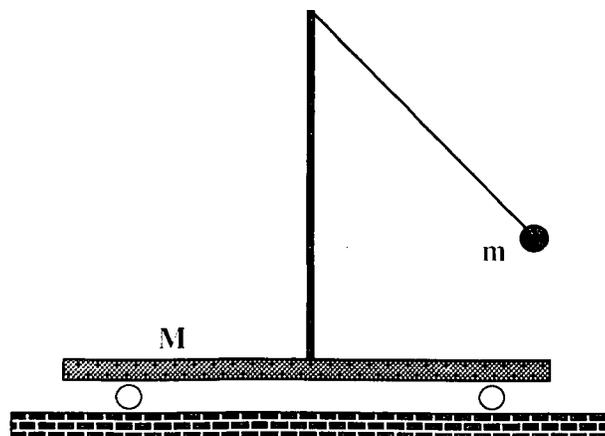
1. Determinar a relação entre as velocidades da vagoneta, v/v_0 , onde v é o módulo da velocidade depois de ela cair sobre ela o primeiro pacote.
2. Quanto tempo demora a vagoneta a percorrer o espaço compreendido entre os alçapões A_1 e A_2 ?
3. Calcular, justificando, quantos pacotes devem cair para o interior da vagoneta para que a sua velocidade se reduza a metade do valor inicial.
4. Determinar o tempo necessário para que se atinjam as condições indicadas em (3).

II

Um carro de massa M pode mover-se livremente sobre um plano horizontal. No carro fixou-se um pêndulo, constituído por um corpo de massa m , pendurado num fio de comprimento l . No instante inicial o sistema encontra-se em repouso, sendo θ o ângulo formado entre a direcção definida pelo fio e a vertical (ver figura).

Observar com cuidado a demonstração experimental:

1. Identificar e representar as forças que actuam sobre o carro e sobre o pêndulo. Identificar quais as forças que constituem entre si um par acção reacção.
2. Explicar o motivo pelo qual o carro descreve o movimento observado, relacionando-o com o movimento observado para o pêndulo.
3. Analisar o comportamento do sistema no que respeita às transferências de energia entre as suas partes constituintes, considerando as possíveis conversões de energia, bem como a conservação da energia total.



CIÊNCIA ATRAVÉS DA EUROPA

— Um projecto pioneiro em educação

Promove 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 1994.

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 5 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.

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**

Podem obter-se directamente de:

Evelyn Van Dyk
Science across Europe
The Association for Science Education
College Lane
Hatfield
Herts AL10 9AA
England

(preço aproximado: £ 20/unidade)

Informações adicionais:

Dr^a. Mariana Pereira,
Departamento de Educação, Faculdade de Ciências - Univ. Lisboa, Campo Grande - C1-3, P-1700 Lisboa PORTUGAL. Tel: 01-7573141, Fax: 01-7573624.

PROGRAMA EUROPEU DE MOBILIDADE PARA ESTUDANTES DE FÍSICA

Iniciativa da Sociedade Europeia de Física (*)

Cerca de 125 universidades de 25 países de todas as partes da Europa, decidiram participar no Programa Europeu de Mobilidade para Estudantes de Física (European Mobility Scheme for Physics Students, EMSPS) promovido pela European Physical Society (EPS). Dessas universidades, 82% pertencem aos 15 países da Europa Ocidental e 26% aos países da Europa central e de leste, que participam no programa TEMPUS da Comunidade Europeia.

Este esquema de mobilidade pretende possibilitar que os estudantes de física de toda a Europa possam estudar durante um período de mobilidade (vulgarmente um ano académico, e de preferência durante a segunda metade do curso conducente a uma licenciatura) numa instituição de outro país, que os acolhe. Haverá reconhecimento académico quando o estudante regressa ao país de origem, sendo a responsabilidade académica sempre da universidade de origem, instituição esta que confere o grau.

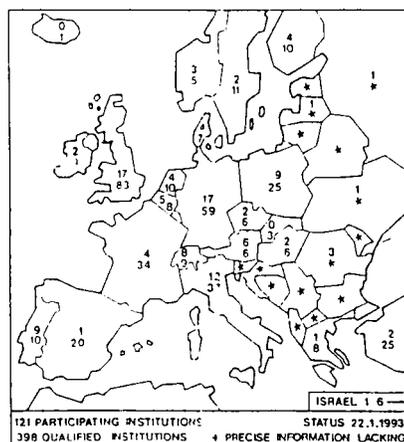
Para subsidiar este programa foi apresentada pela Universidade de Ghent (Bélgica), em nome de todas as outras, uma candidatura ao programa ERASMUS da Comunidade Europeia (CE) sob a forma de um Programa de Cooperação Inter-universitária (PIC), tendo em vista trocas de estudantes de países da Comunidade ou da EFTA. Uma candidatura semelhante foi apresentada ao programa TEMPUS pela Universidade de Hannover (Alemanha) para trocas de estudantes de países da Europa de Leste e da CE. O PIC submetido ao programa ERASMUS já foi aprovado, iniciando-se a permuta de estudantes em 1993/94. No caso da candidatura ao programa TEMPUS ser também aceite, este projecto de mobilidade conjunta ERASMUS-TEMPUS antecipará a fusão dos dois programas prevista no Programa Quadro de Ciência e Tecnologia da Comunidade Europeia para 1994-98.

Foi criado pela EPS um comité de mobilidade com coordenadores escolhidos de forma a representarem as várias regiões da Europa. Este comité será responsável pelo funcionamento do

programa, e os seus membros ajudarão a resolver os problemas que poderão ocorrer nas instituições da sua região.

Base de dados

Está a ser organizada uma base de dados do EMSPS no Departamento de Física da Universidade de Manchester, UK, usando um computador cedido pela Hewlett-Packard. Esta base de dados a que se pode aceder remotamente, conterá toda a informação académica necessária relativa a todas as Universidades que participam no programa, incluindo o número de lugares disponíveis para cada ano numa dada instituição. A ligação à base de dados é feita por telnet 130.88.20.113, sob a



identificação de «student» e a «password» de «student». O responsável desta base de dados é M. G. James que pode ser contactado por correio electrónico no endereço «mgi@v2.ph.man.ac.uk».

Número de estudantes

Cada instituição pode fixar o número máximo de estudantes que pode aceitar em cada ano. Para uma distribuição equilibrada será desejável que cada Universidade receba tantos estudantes como os que pretende enviar para o estrangeiro. Na fase inicial foi acordado que o número máximo de estudantes a

enviar por cada instituição é 3, havendo bolsas disponíveis para uma média de 1 estudante por instituição para 1993/94.

Nove universidades portuguesas aderiram a este programa, estando previstas para o próximo ano lectivo 5 saídas de estudantes portugueses, 3 de Coimbra e 2 de Lisboa, que irão para Genebra (Suíça), Orsay (França), Pádua (Itália) e Hannover (Alemanha). Receberemos nas nossas universidades 3 estudantes, 1 em Coimbra vindo de Genebra e 2 em Lisboa vindos de Orsay e de Hannover.

Coordenadores

Se está interessado neste programa contacte o coordenador local da sua Universidade, a seguir indicado, ou procure directamente na base de dados. Não esqueça que o coordenador local terá sempre que aprovar o programa de estudos.

Os professores coordenadores das Universidades Portuguesas que aderiram ao programa são os seguintes:

Estela Pereira

Universidade de Aveiro

José Borges de Almeida

Universidade do Minho

Maria Salete Leite

Fac. de Ciências e Tecnologia da Univ. de Coimbra

Avelino Morgado

Universidade da Beira Interior

Rui Namorado Rosa

Universidade de Évora

Ana Maria Eiró

Fac. de Ciências da Universidade de Lisboa

Jorge Crispim Romão

Instituto Superior Técnico, Univ. Técnica de Lisboa

Luís Fraser M. Monteiro

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Univ. Nova de Lisboa

Manuel de Barros

Universidade do Porto

(*) Ver notícia na Gazeta de Física, n.º 3, Julho-Setembro de 1992, p. 111.

SOFTCIÊNCIAS

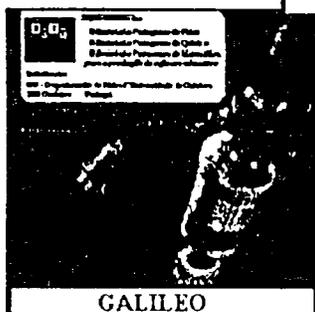
Produção de Software Educativo

Uma acção comum das Sociedades Portuguesas de Física, Química e Matemática

Lançamento dos primeiros programas de computador, dirigidos aos novos currículos dos ensinos básico e secundário

S O F T

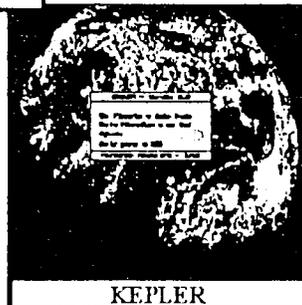
CIÊNCIAS



GALILEO



JOGOS QUÍMICOS



KEPLER

1. GALILEO Uma viagem espacial
2. JOGOS QUÍMICOS Jogo das Substâncias e Adivinhas
3. KEPLER céu na nossa mão

Solicite já os seus programas para:

SOFTCIÊNCIAS

SPF — Departamento de Física
Universidade de Coimbra
3000 COIMBRA

Versões para IBM - PC

Envie cheque no valor de 2000\$00 por cada programa com o respectivo manual (1500\$00 para Sócios da SPF, SPQ ou SPM). O preço inclui os portes de correio.

O manual do programa «Galileo» inclui um caderno adicional, «Uma viagem espacial acompanhada pela imprensa», como oferta especial de lançamento.

NO PRÓXIMO NÚMERO

G A Z E T A D E
FÍSICA

A FÍSICA E O AMBIENTE

O FUTURO DA FUSÃO TERMONUCLEAR

UMA VIDA NA FÍSICA: J. PINTO PEIXOTO