

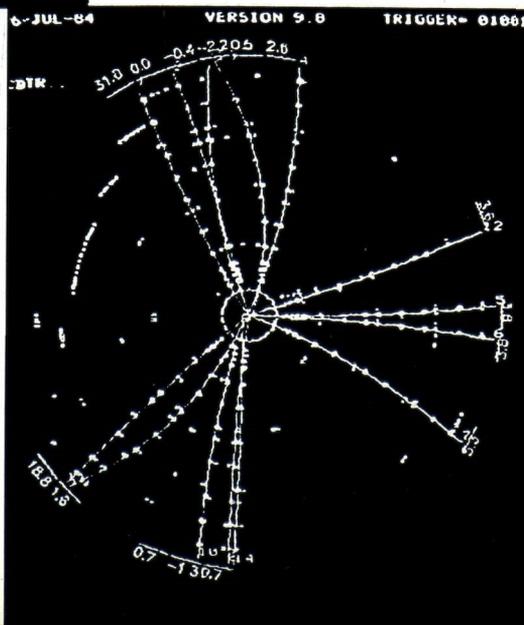
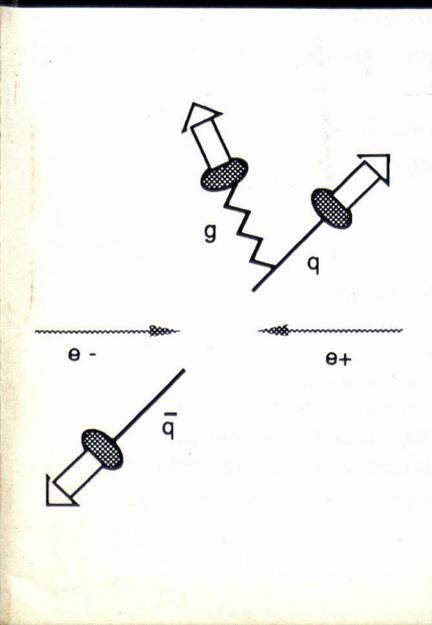
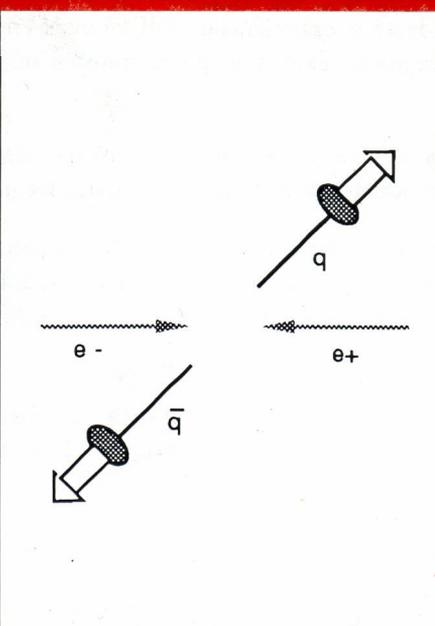
GAZETA DE FISICA

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FISICA

VOL. 13, FASC. 4

Publicação Trimestral

Outubro a Dezembro 1990



Experiências de aniquilação de electrão-positrão ($e^- e^+$) mediadas por estados quark-antiquark ($q\bar{q}$) e quark-anti-quark-gluão ($q\bar{q}g$)

GAZETA DE FÍSICA

Fundada em 1946 por A. Gibert

Propriedade e Edição: Sociedade Portuguesa de Física

Directores: Filipe Duarte Santos

João Bessa Sousa

Comissão de Redacção e Administração: Manuel F. Thomaz, Carlos Matos Ferreira, Armando J. P. L. Policarpo, Ana Maria Eiró, Margarida C. Martins da Cruz, Maria Fernanda Cristóvão da Silva, Adriano Pedroso de Lima, José Manuel Monteiro Moreira.

Endereço: Sociedade Portuguesa de Física, Av. da República, 37-4.º — 1000 Lisboa

A **Gazeta de Física** publica artigos, com índole de divulgação, considerados de interesse para estudantes, professores e investigadores em Física. 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 S.P.F.

A **Gazeta de Física** deverá constituir também um espaço de informação para as actividades da S.P.F., nomeadamente as suas Delegações Regionais e Divisões Técnicas.

Os manuscritos deverão ser submetidos para publicação em duplicado, dactilografados a dois espaços. Figuras ou fotografias deverão ser apresentadas em folhas separadas e prontas para reprodução, com eventual redução de tamanho.

Toda a correspondência deverá ser enviada para

Gazeta de Física

Sociedade Portuguesa de Física

Av. República, 37-4.º — 1000 LISBOA

A **Gazeta de Física** é enviada gratuitamente a todos os Sócios da S.P.F. no pleno uso dos seus direitos.

Preço de assinatura: país 1500\$00; estrangeiro US\$25.

Preço do fascículo avulso (sede e delegações da SPF): 400\$00.

Publicação subsidiada pelo Instituto Nacional de Investigação Científica
e pela Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica

Tiragem: 2400 exemplares

Composição, Impressão e Acabamento — *Imprensa Portuguesa* — Porto

Na capa: A colisão frontal de um electrão (e^-) e um positrão (e^+) dá origem a um grande número de partículas que no entanto se distribuem em dois jactos (a) ou menos frequentemente 3 jactos (b). Isto explica-se pela existência de estadias intermédias de quark (q) e antiquark (\bar{q}) no primeiro caso, e com um gluão adicional (g) no segundo (os rastros das partículas incidentes não são visíveis).

A Física e as necessidades da Indústria

Reflexões sobre cursos de licenciatura e de pós-graduação

STUART B. PALMER

Head of Department of Physics, University of Warwick, Coventry, U.K.

1. Introdução

Diz-se frequentemente que um curso de Física pode constituir, pela sua flexibilidade e exigências multifacetadas, uma plataforma de acesso a uma grande variedade de carreiras. No entanto, o mais natural é que um físico siga uma das três carreiras seguintes: professor de Física, em escolas secundárias ou no ensino superior; investigador a tempo inteiro, em institutos do Estado ou institutos privados, e por último, embora não de menor importância, há a exigente carreira de Físico na indústria.

Exigente pelo menos em dois aspectos: por um lado cada organização industrial tem de assegurar-se de que lhe é lucrativo empregar um licenciado (ou pós-graduado) em Física; por outro lado é igualmente importante que o físico saiba que lhe oferecem uma perspectiva de trabalho e uma carreira profissional intelectualmente estimulante. Se qualquer um destes requisitos falhar, a carreira que parecia a priori prometedora virá a ser curta.

Neste artigo, propõe-se a análise destes dois aspectos separadamente. Em primeiro lugar, consideremos o ponto de vista industrial, numa perspectiva do exterior. O que se espera de um licenciado em Física? Em que diferem as suas potencialidades das de um mestre ou doutorado em Física? Estão as universidades actualmente a oferecer preparação adequada às exigências da indústria ou deverão rever toda a estrutura dos seus cursos para satisfazer esta exigência?

Em segundo lugar temos de considerar as expectativas e as aspirações do estudante que entra na carreira industrial. Deverá continuar

dedicado à investigação e desenvolvimento da Física, ou preferirá transferir-se para o sector da administração e gestão, procurando promoções até aos níveis mais elevados que essa carreira lhe pode trazer?

2. O ponto de vista dos industriais

Possivelmente o inquérito mais actual e fiável sobre o ponto de vista industrial, quanto à preparação ideal de um físico, será o que foi realizado há dois anos na Grã-Bretanha por um grupo de estudo conjunto do «Institute of Physics» e do «University Grants Committee» [1]. Não nos surpreende que daí tenha resultado uma forte recomendação no sentido de se desenvolver em todos os estudantes de Física «uma compreensão clara da utilidade da Física» e de em todas as fases do seu curso dever ser dada uma ênfase e importância particulares a este ponto de vista.

Relativamente ao inquérito referido, foram analisadas 500 respostas a um questionário enviado aos administradores de um leque muito amplo de indústrias. Destas respostas pôde concluir-se que quase 70 % dos físicos que na Grã-Bretanha entram na carreira industrial são contratados pelas mesmas 40 grandes empresas. Provou-se que as conclusões a tirar da análise das respostas dessas 40 empresas são idênticas às que resultariam da análise de todas as respostas do conjunto. Vamos analisá-las aqui em duas vertentes complementares, tratando separadamente o caso dos cursos de licenciatura e dos cursos de pós-graduação.

i) *Cursos de licenciatura*

Os resultados mais relevantes mostram-se na figura 1 e na tabela 1 [2].

A figura 1 resume os resultados das respostas das 500 Empresas interrogadas. A análise da figura mostra que uma grande maioria das entidades patronais na indústria prefere empregar estudantes com algum conhecimento em Física Aplicada ou mesmo com um grau universitário nesta área. Há muito fraca aceitação para especializações como Física Médica e Microelectrónica, embora Optoelectrónica tenha uma aceitação razoável.

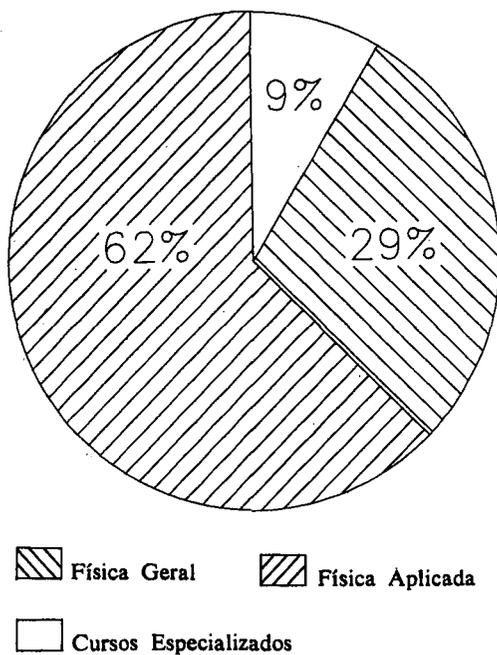


Fig. 1—Cursos universitários preferidos pela Indústria (ver ref. 1).

A tabela 1 mostra as preferências dos industriais em relação a 26 tópicos em Física. Verifica-se novamente que são preferidas as áreas de Física Aplicada relacionadas com Electrónica, nomeadamente: Electrónica analógica e digital, Sensores e transdutores; Processamento de sinais/comunicação; equipamento semiconductor/microelectrónica, Física Computacional/simulação de modelos, dentre as mais populares. Outros cursos industrialmente

TABELA 1

Area of study	% of whole sample: vital or very useful	% of «top 40» companies: vital or very useful
Analogue/digital electronics	87	94
Sensors and transducers	83	76
Computational physics/modeling	82	92
Semiconductor devices/microelectronics	79	86
Signal processing/communications	79	81
Electromagnetism	78	89
Mechanics, vibration waves	73	83
Geometrical/physical optics and lasers	70	86
Analytical techniques (spectroscopy, microscopy, etc)	69	64
Thermodynamics (gases, liquids, solids)	65	68
Acoustics and ultrasonics	64	76
Image analysis/processing	63	68
Solid state (including crystallography, dielectric properties & lattice dynamics)	62	72
Advanced classical mechanics	53	60
Atomic and molecular physics	42	54
Environmental physics	42	48
Statistical mechanics	42	30
Vacuum physics	35	41
Low temperature physics (including superconductivity and superfluidity)	31	52
Ionisation and plasma physics	29	46
Quantum mechanics	28	46
Biophysics/medical physics	22	11
Nuclear	21	27
Elementary particles	18	22
Geophysics	14	8
Astronomy/astrophysics	7	11

relevantes incluem a Acústica e Ultrasons, a Física do Estado Sólido e Física das Baixas Temperaturas/supercondutividade. Deve notar-se que o questionário foi realizado num período em que os novos supercondutores de alta temperatura se revelavam prometedores para uma espectacular revolução tecnológica a curto prazo. A Física das baixas temperaturas poderá agora não ser tão popular, já que se sabe não serem estes novos supercondutores facilmente utilizáveis em aplicações tecnológicas imediatas.

Este último aspecto põe em evidência um dos dilemas habituais do professor de Física. Tem de se encontrar uma solução de compromisso entre os interesses imediatos e os «tópicos quentes» para o industrial, e por outro lado a necessidade de fornecer ao estudante a preparação básica científica e as técnicas que o tornem apto para acompanhar com flexibilidade e crescente adaptação as rápidas mudanças impostas pelo progresso tecnológico. Por isso, a todos os estudantes de Física deve ser proporcionada uma sólida formação básica, quer na Física Clássica quer na Física Quântica.

Temos estado apenas preocupados com os programas das disciplinas dos cursos de licenciatura. Há no entanto outros aspectos muito revelantes dos cursos, como se expõe na Tabela 2. Por falta de espaço, não faremos

TABELA 2 — Pontos mais relevantes do curriculum e qualificação dos potenciais candidatos a emprego (na perspectiva da Indústria)

-
1. Terem feito estágios na Indústria durante o curso universitário (contínuo ou intercalados).
 2. Estágio final do curso (Seminário ou equivalente) em domínio relevante para a Indústria.
 3. Facilidade de comunicação e expressão (oral e escrita).
 4. Conhecimentos práticos em computação e programação.
 5. Familiarização com a Electrónica.
 6. Treino em áreas de gestão e metologia empresarial.
 7. Contacto com a área da produção e desenvolvimento.
 8. Conhecimentos de línguas estrangeiras.
-

aqui uma análise profunda de qualquer das áreas referidas nessa tabela. No entanto, torna-se evidente que a indústria vê como atributos essenciais as aptências individuais quanto a dotes de comunicação e de exposição, e a preparação em computação e electrónica, enquanto a experiência em áreas de gestão, desenvolvimento de produção e conhecimento de uma ou mais línguas estrangeiras são requisitos complementares considerados úteis.

O modo de incentivar a ligação e a colocação do estudante na indústria é muito mais problemático. Assume normalmente um de dois aspectos: ou o estudante, durante o seu curso, passa um ano inteiro na indústria («thick sandwich») ou passa intermitentemente vários períodos de três meses cada («thin sandwich»). Estes cursos podem também proporcionar ao estudante o bonus adicional de uma retribuição financeira. O maior problema advém do objetivo do estágio, que deve dar ao estudante, como físico, uma visão clara das realidades da sua carreira na indústria e ao mesmo tempo deve actuar como um estímulo para que ele abrace tal carreira. A realidade é frequentemente bem diferente, podendo acontecer que no fim do estágio o estudante sinta que não quer de modo algum trabalhar mais para a mesma empresa ou para a indústria. Essa atitude, embora possa ocorrer por diversas razões, é devida principalmente à falta de reflexão, de enquadramento e de preparação do próprio pessoal da empresa responsável pelo estágio. Recai de facto uma grande responsabilidade sobre cada instituição industrial para transformar o estágio numa experiência estimulante e num desafio para o estagiário, de modo a construir uma oportuna e duradoura propaganda futura da carreira industrial. O desenvolvimento das capacidades de comunicação e exposição oral e escrita é o aspecto mais importante identificado na tabela 2, que pode ser tratado num curso de licenciatura. Os estudantes devem ser encorajados e frequentemente obrigados a escrever relatórios desde os primeiros anos do seu curso. Os tópicos desses relatórios devem ser escolhidos tanto para rever um assunto particular como para permitir ao estudante exprimir a sua crítica de acordo com o seu ponto de vista, já que numa carreira industrial ele será solicitado a escrever qualquer um destes tipos de relatórios.

É também muito importante que o estudante mostre facilidade de comunicação oral e nesse sentido deve ser solicitado, durante o curso, a colaborar num trabalho tutorial em pequenos grupos e também a fazer comunicações para audiências mais alargadas, sobre

temas tratados possivelmente em projectos do último ano. Os estudantes deviam tomar consciência das facilidades áudio-visuais disponíveis e da melhor maneira de as usar e potencializar.

ii) Cursos de pós-graduação

Admitindo que a indústria é o maior empregador de pós-graduados que deixam as Universidades e Institutos Superiores com os graus de Mestrado ou de Doutoramento, deveria existir um bom ajustamento entre as exigências da indústria e os assuntos ministrados nas escolas de Ensino Superior. O assunto foi tratado em inquéritos recentes, realizados também na Grã-Bretanha pelo Institute of Physics (IOP) e pelo University Grants Committee (UGC). Na Fig. 2 mostra-se, no período de 1988-91, a oferta (relativamente a estudantes com mestrado e doutoramento) e a procura ao nível de 500

Empresas, para um espectro de 25 especializações.

Da análise da Fig. 2 conclui-se que, para certas especializações, o número de estudantes que obtêm os graus de doutor e de mestre não chega para satisfazer os pedidos da indústria. Esse desajuste não é preocupante em certos casos, já que há muitas outras carreiras alternativas que um pós-graduado pode seguir. No entanto, o desajustamento é tão flagrante em certas situações, que não pode deixar de causar grandes preocupações nesses casos. Assim, nas áreas de electrónica, sensores e transdutores, mecânica dos fluídos, física do vácuo, análise e processamento de imagens e física computacional/modelação, a indústria pede mais do dobro dos estudantes que se formam. Por outro lado, em física das partículas elementares, física nuclear e das altas energias, física atómica, física médica e biofísica, astronomia e astrofísica, física da ionização e dos plasmas, óptica,

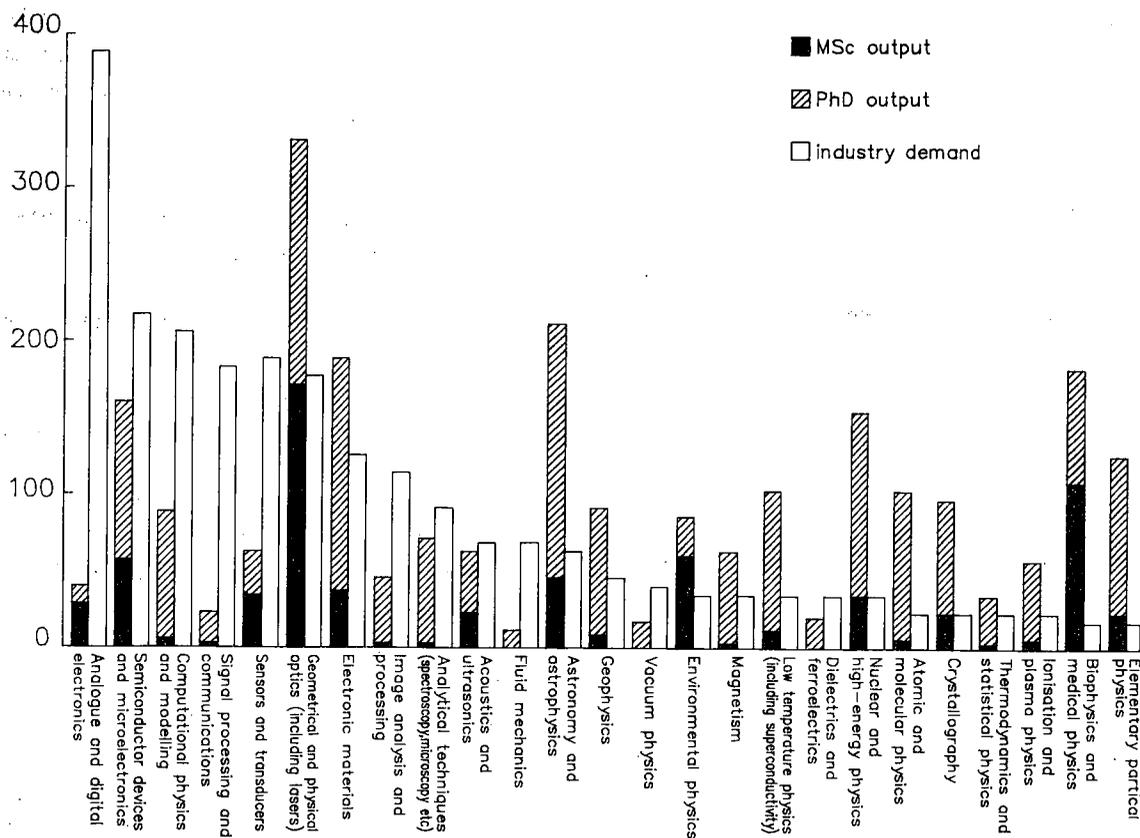


Fig. 2 — Procura e oferta no conjunto de 25 especialidades (ver ref. 3).

o número de estudantes que se formam é mais do que o dobro do número pedido pela indústria!

As conclusões a tirar deste estudo são as seguintes:

- a) Devem ser realizados mais cursos de Mestrado em tópicos relevantes do ponto de vista industrial. Em particular é crucial que esses cursos sejam pensados e localizados de maneira a estimular e atrair os estudantes de Física;
- b) A indústria deveria estar mais receptiva e motivada para dar um suporte financeiro adequado à realização de trabalhos de doutoramento que considerasse mais relevantes, proporcionando ao estudante um salário adequado durante o seu período de estudo. Um doutoramento orientado para a indústria é visto frequentemente como um doutoramento de segunda categoria. Assim, uma maior receptividade e empenhamento por parte da indústria, aliados a aliciantes de ordem financeira (já em prática em pequena escala) poderiam ajudar a inverter rapidamente esta situação.

3. O ponto de vista do Estudante

É evidente que os cursos de licenciatura e de pós-graduação não podem ser alterados sem termos presentes os objectivos e os anseios dos próprios estudantes. Em primeiro lugar, o que atrai os estudantes para um curso de Física? Da informação que temos ao nosso dispor, tudo indica que na Escola as crianças são especialmente atraídas para a Física através de assuntos como Astronomia, Partículas Elementares e Relatividade. Estes são, porém, aqueles assuntos que não têm uma importância perceptível imediata para a indústria ou para os agentes fomentadores das aplicações tecnológicas.

É contudo necessário e vital assegurar que tais assuntos excitantes, carismáticos, não desapareçam dos cursos de licenciatura; caso contrário, o número de estudantes que escolhe Física à partida, diminuirá muito rapidamente. A Física relevante para a indústria deve por

isso ser introduzida ao nível dos cursos de licenciatura, dando especial relevo aos benefícios que a Física Aplicada traz à sociedade e à indústria; e aos meios mais adequados de tirar partido da aplicação da Física para melhorar o ambiente, a qualidade e o nível de vida. Como simples exemplo podíamos perguntar: como seria a sociedade moderna sem o conhecimento do Magnetismo e das suas aplicações? e como seria sem as vantagens que resultaram da descoberta dos raios X?

Acima de tudo temos de ser cuidadosos no sentido de garantir que o número de estudantes que saem das Universidades não seja apenas condicionado pela crescente procura da tecnologia de ponta actual. É necessário mostrar aos estudantes que o estudo da Física é não só excitante e estimulante em si mesmo, mas mostrar-lhes também a relevância da Física para a manutenção e para a melhoria do nosso mundo do dia-a-dia. Os estudantes têm de ser convencidos, pelos nossos próprios esforços e esclarecida actuação, que a Física Industrial pode ser tão excitante e exigente como qualquer um dos ramos mais exóticos e proeminentes da Física, como ciência em si.

4. O que podem fazer os Departamentos Universitários de Física?

Qualquer Departamento de Física tem hoje uma clara obrigação de envolver nos seus cursos a indústria e cientistas a ela ligados. No entanto, todas as decisões sobre conteúdos do curso, métodos de ensino e normas de avaliação devem ser tomadas em última instância pelos membros do Departamento.

Há vários processos de envolver a indústria no curso de licenciatura. Descrevem-se a seguir alguns deles, por ordem decrescente do grau de envolvimento.

Em primeiro lugar, uma determinada empresa pode subsidiar um posto académico, garantindo por exemplo o pagamento de um vencimento para um lugar universitário por um período variável, tipicamente entre 4 e 7 anos. Esta atitude conduz a situações como

«The Mitsubishi Chair in Semiconductor Physics» ou «General Motors Lectureship in Applied Magnetism». Em tais casos, o docente pago pela indústria continua normalmente com os seus serviços docente e administrativo, mas o programa de investigação é orientado pelos interesses da companhia em causa.

Em segundo lugar, o departamento pode conceder a categoria de professor convidado ou honorário (honorary Professor or honorary Fellow) a físicos ligados à indústria. Dessas pessoas espera-se que co-orientem projectos, ministrem cursos de curta duração e aconselhem o departamento em matérias respeitantes à indústria. É sempre importante que esses físicos já sejam bem conhecidos do departamento e que com ele tenham tido uma colaboração prévia bem sucedida.

Em terceiro lugar, o departamento pode convidar físicos ligados à indústria para dar cursos de curta duração, a serem seguidos principalmente por alunos do último ano da licenciatura ou do primeiro ano de pós-graduação. Esta situação é muito comum já que não implica, para quem dá o curso, uma grande ocupação de tempo na preparação e apresentação de algumas aulas sobre assuntos da sua própria especialidade. Por outro lado, a empresa expõe-se por este processo aos bons alunos e potenciais candidatos a um lugar na indústria.

Uma outra opção é a organização de seminários industriais dados por pessoas com preparação e especializações diversas. Este processo tem a vantagem de trazer ao Departamento novas pessoas com a possibilidade de conduzir a colaborações bilaterais extensivas e frutuosas.

Finalmente, parece muito recomendável convidar para o Departamento antigos graduados que exerçam uma carreira industrial com sucesso. A criação de uma rede de ex-estudantes que se sintam ainda ligados ao departamento é um recurso que pode ser utilizado por um variado leque de razões.

A lista anterior não é de modo algum exaustiva. Há muitas outras maneiras de forjar ligações com a indústria com benefício para

o Departamento, para os Estudantes e para a Indústria.

Antes de terminar, deveríamos considerar brevemente aditamentos e extensões que poderão ser feitas aos cursos de Física correntes, para que a preparação global seja mais relevante do ponto de vista industrial. Tais aditamentos podem ser inteiramente realizados pelo Departamento ou numa base de colaboração com a indústria local. É sempre útil, para um estudante de Física, ter uma formação incluindo conhecimento de tarefas simples como a utilização da máquina de furar, do torno e de ferramentas de mão. Se estas tarefas forem apoiadas por desenho técnico rudimentar, então o estudante estará muito mais apto para apreciar o que é ou não possível realizar, e como.

O estudante deveria também possuir conhecimentos básicos de electrónica. Deveria ser capaz de soldar, montar transistores e circuitos integrados, e levar a cabo testes simples utilizando aparelhos comuns.

Finalmente, a facilidade para fazer e estruturar programas de computação, pelo menos numa das linguagens modernas, é quase uma necessidade em todos os ramos de Física.

Conclusões

O desenvolvimento de um curriculum em Física ideal para preencher as necessidades industriais é um assunto interminável, em que todos nós, académicos e industriais, temos as nossas próprias convicções. No presente artigo tentou-se apresentar, o mais brevemente possível, um ponto de vista pessoal sobre os aspectos mais relevantes do assunto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] «Physics in Higher Education: an analysis and statement of policy», publ. Institute of Physics London (1988); ver também *Physics Bulletin*, **39** 63 (Feb. 1988).
- [2] *Physics World*, **1**, 45 (Nov. 1988).
- [3] *Physics World*, **2**, 57 (Sept. 1989).
- [4] *Physics World*, **2**, 39 (Jan. 1989).

Tradução de: *M. Fátima Pinheiro
J. Bessa Sousa*

Observação experimental dos Quarks

JOÃO VARELA

Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas, Lisboa

O Prémio Nobel da Física foi este ano atribuído a J. Friedman, H. Kendall e R. Taylor pelos trabalhos realizados em 1969 no acelerador de electrões do Stanford Linear Accelerator Center (SLAC), de estudo da difusão inelástica de electrões em alvos de hidrogénio. Esta experiência revelou, pela primeira vez de forma directa, que os prótons são objectos compostos de quarks. Descrever os resultados mais marcantes da experiência, bem como o seu enquadramento na história da pesquisa dos constituintes e interacções fundamentais da matéria, é pois o objectivo deste artigo.

1. Introdução

A experiência realizada há cerca de vinte anos por Friedman, Kendall, Taylor e colaboradores, que evidenciou a existência dos quarks no interior dos prótons, é uma versão sofisticada e tecnologicamente complexa de um acto que quotidianamente experimentamos: a observação dos objectos que nos rodeiam.

De facto, «ver um objecto» equivale a dispor de radiação luminosa, ou numa linguagem moderna, de um feixe de fotões, os corpúsculos de luz, bem como de um detector, no caso os nossos olhos, capaz de registar os fotões reflectidos no objecto em observação. O número de fotões captados por unidade de tempo, a sua distribuição espacial na retina e o espectro de energia, ou seja, de cor, são identificados pelos órgãos visuais e transmitidos ao cérebro que reconstitui uma imagem do objecto.

Os laureados deste ano realizaram, em princípio, algo semelhante: dispunham de um feixe de partículas, na ocasião electrões, que fizeram incidir sobre o objecto em estudo, o próton, constituinte único do núcleo do átomo de hidrogénio, e construíram um detector capaz de registar as características dos electrões difundidos pelos prótons. Esta informação foi utilizada para realizar, com o auxílio de computadores, a reconstituição da «imagem do próton». Com alguma surpresa esta revelou que os prótons não possuem uma densidade de matéria

uniforme no seu interior, sendo antes constituídos por corpúsculos de matéria.

Embora a estrutura das duas maneiras de «ver» um objecto seja semelhante, as diferenças são, obviamente, enormes. À vista desarmada, dificilmente distinguimos objectos de dimensões inferiores a um décimo de milímetro, ou seja, 10^{-4} metros. As experiências realizadas em Stanford permitiram investigar distâncias da ordem de 10^{-18} m. Cem milhões de milhões de vezes mais pequenas! E mesmo mil vezes mais pequenos que as dimensões do próton, que se sabe medir cerca de 10^{-15} m, ou seja 1 fermi (fm). Só desta forma foi possível «ver» os quarks.

A segunda diferença diz respeito ao feixe incidente. Em vez da radiação luminosa, os investigadores norte-americanos utilizaram electrões. Não é, no entanto, na natureza da partícula incidente, fóton ou electrão, que reside a diferença mais importante. De acordo com as teorias quânticas as partículas da matéria, e designadamente os electrões, têm um comportamento ondulatório semelhante às ondas electromagnéticas, e em particular, à radiação luminosa. É a famosa dualidade onda-corpúsculo, que tanto se aplica aos electrões como aos fotões. A grande diferença entre a luz e o feixe de electrões acelerados no SLAC está na energia das partículas. Os fotões da luz têm, em média, uma energia de cerca de 4 eV (eléctron-volt), enquanto os electrões foram acele-

rados até uma energia de 2×10^{10} eV. Ou seja, uma energia cinco mil milhões de vezes superior. Como veremos adiante com mais detalhe, foi este facto que permitiu, pela primeira vez, a observação experimental dos quarks.

Naturalmente, a forma como a partícula incidente é difundida pelo objecto-alvo depende da natureza da interacção entre as duas partículas. No caso que pretendemos tratar, o conhecimento das leis da interacção electromagnética entre cargas eléctricas em movimento foi imprescindível para a interpretação dos resultados experimentais em termos da estrutura do protão.

Na escala de energia que estamos a considerar, as colisões entre electrões e protões são normalmente inelásticas. Significa isto que parte da energia cinética incidente é convertida em matéria, formando-se após a colisão cerca de uma dezena de novas partículas. Por outro lado, o protão alvo fragmenta-se e perde portanto identidade. Por estas razões, a interpretação dos resultados das experiências não é trivial. Foi certamente mérito de Friedman, Kendall e Taylor terem sabido utilizar este processo físico para revelar a subestrutura do protão.

Mas antes de analisar com mais detalhe esta questão, é talvez útil compreender como as experiências de difusão de partículas têm ao longo da história da Física fornecido informação preciosa sobre a constituição da matéria.

2. A experiência de Rutherford

No princípio do século XX, mais precisamente em 1911, E. Rutherford teve uma ideia genial: utilizar partículas α (núcleo de hélio), radiadas por uma fonte de rádio, para investigar a estrutura dos átomos. Na altura, já se sabia que os átomos contêm cargas eléctricas positivas e negativas em número igual, que se compensam formando um objecto electricamente neutro. Desconhecia-se no entanto a distribuição interna dessas cargas. Para responder a esta questão, Rutherford decidiu bombar-

dear uma fina folha de ouro com partículas α , de energia cinética igual a 5 MeV (5 milhões de eV), e observar a forma como estas são desviadas da sua trajectória. As partículas α têm uma carga eléctrica $+2$, em unidades de carga do protão, e são desviadas devido à interacção coulombiana com as cargas nos átomos. A força de interacção é proporcional ao produto das duas cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.

As observações realizadas pelos colaboradores de Rutherford mostraram que as partículas α não são praticamente desviadas, excepto nalguns casos em que podem ocorrer deflecções a grande ângulo. Significa que nestes casos as partículas são sujeitas a uma força de repulsão muito intensa, o que pode acontecer se a partícula incidente se aproximar a curta distância de uma grande concentração de carga. Este raciocínio levou Rutherford a propor que no átomo os protões se concentram no núcleo, e que as cargas negativas (electrões) se encontram dispersas no volume do átomo (Fig. 1-a).

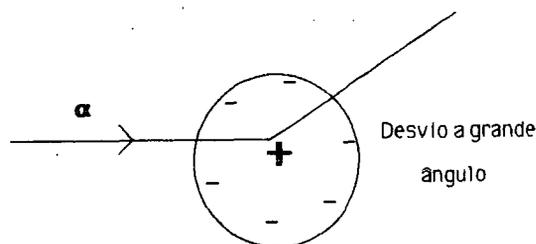


Fig. 1a — Difusão de uma partícula α num átomo, segundo o modelo de Rutherford.

Estava definitivamente afastado o modelo atómico de Thomson, que admitindo uma distribuição uniforme da carga positiva e negativa no átomo era incapaz de explicar os desvios a grande ângulo (Fig. 1-b).

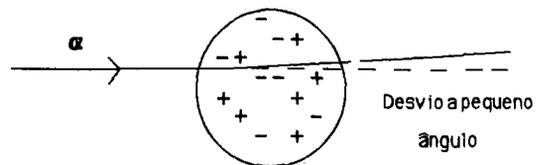


Fig. 1b — Difusão de uma partícula α num átomo, segundo o modelo de Thomson.

3. Microscópios e aceleradores de partículas

A experiência de Rutherford abriu uma nova via de exploração da matéria e foi o modelo de um grande número de experiências de física de partículas que se seguiram. A história destas experiências está estreitamente ligada ao desenvolvimento da tecnologia de aceleração de partículas. De facto, a descoberta da dupla natureza das partículas, ondulatória e corpuscular, mostrou que o poder de resolução de pequenas distâncias está directamente relacionado com a impulsão, e portanto com a energia, das partículas incidentes. É o que nos diz a famosa relação de L. de Broglie $\lambda = h/p$, onde h é a constante de Plank, λ o comprimento de onda associado à partícula e p a impulsão da partícula considerada como ponto material. O comprimento de onda é tanto menor quanto maior for a impulsão.

A propagação de uma onda não é perturbada por objectos de dimensão inferior ao comprimento de onda. É um fenómeno conhecido das ondas mecânicas ou electromagnéticas. Os microscópios ópticos, por exemplo, não permitem descer abaixo da casa do meio micron ($0.5 \cdot 10^{-6}$ m), a ordem de grandeza do comprimento de onda da luz visível. Nos microscópios electrónicos, os electrões acelerados por uma tensão de 10^5 volts têm, de acordo com a relação de Broglie, um comprimento de onda de $3.7 \cdot 10^{-12}$ m, ou seja, cerca de cem mil vezes mais pequeno que o da luz visível. Nesta perspectiva, os modernos aceleradores de partículas não são mais do que potentes microscópios. O acelerador linear de electrões em Stanford, capaz de acelerar os electrões até à energia de $2 \cdot 10^{10}$ electrão-volt, tem um poder de análise muitíssimo superior ao microscópio electrónico.

Tem sido este, ao longo da história da Física, um argumento decisivo para construir aceleradores cada vez mais energéticos. Mas um outro existe. Em 1906 A. Einstein estabeleceu a relação entre massa e energia $E = mc^2$, ou seja, massa e energia são manifestações

diferentes da mesma realidade. Se dispusermos num ponto, graças ao choque de duas partículas, de energia cinética suficiente, outras partículas podem ser criadas por materialização de parte desta energia. Assim, as colisões de partículas não se traduzem somente pelo desvio das suas trajectórias, o que em termos ondulatórios corresponde à perturbação da onda associada à partícula incidente, como acontece na experiência de Rutherford. A energias elevadas, este processo designado por difusão elástica, é suplantado pela difusão inelástica na qual há criação de matéria. Este fenómeno conduziu à descoberta de novas partículas, de existência efémera, nos aceleradores. Claro está, quanto mais massivas forem estas partículas mais energético deverá ser o acelerador que as produz.

Do ponto de vista do estudo da estrutura da matéria, a criação de novas partículas é uma complicação suplementar, que terá talvez desencorajado alguns físicos de realizar as experiências que levaram à descoberta dos quarks.

4. Secções eficazes e factores de forma

De modo a tornar mais clara a abordagem dos resultados do SLAC, convém introduzir previamente alguns aspectos técnicos relacionados com o formalismo das colisões de partículas.

Quando se faz incidir uma partícula num alvo de matéria, a primeira questão que surge é a de saber qual a probabilidade de a partícula interagir com um dos núcleos atómicos. Na sua trajectória, a partícula incidente encontra corpúsculos de matéria, os núcleos, dispersos num imenso espaço vazio (desprezamos nesta análise os electrões atómicos que praticamente não perturbam a trajectória das partículas, se estas forem de muito alta energia). Haverá uma interacção se a partícula passar suficientemente próximo de um dos núcleos, digamos numa certa área circular em torno do núcleo (Fig. 2). A esta «área de influência» chama-se

secção eficaz. A probabilidade de interacção depende, então, do valor da secção eficaz. Depende também de outros factores macroscópicos bem conhecidos, como sejam a densidade de núcleos no alvo e a espessura deste.

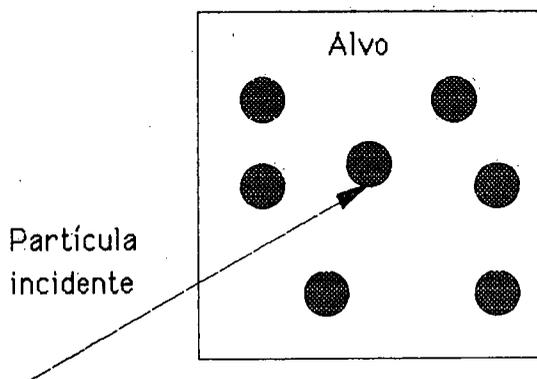


Fig. 2 — Interacção de uma partícula num alvo; a cada núcleo do alvo está associada uma secção eficaz.

A probabilidade de interacção é medida experimentalmente contando o número de partículas que são desviadas e dividindo pelo número total de partículas incidentes. Com base nesta medida, e tomando em consideração os factores macroscópicos indicados, calcula-se o valor experimental da secção eficaz. A secção eficaz depende das propriedades da força de interacção, designadamente do seu alcance, bem como da estrutura do centro difusor. É uma das quantidades mais importantes em física das partículas.

Nas experiências de difusão mede-se normalmente o ângulo de desvio da partícula difundida. Tem-se, portanto, acesso experimental à probabilidade de difusão a um dado ângulo. Esta probabilidade é, como anteriormente, proporcional a uma secção eficaz, que neste caso, se designa secção eficaz diferencial. A soma das secções eficazes diferenciais correspondentes a todos os ângulos de difusão possíveis é igual à secção eficaz total.

Suponhamos que pretendemos calcular a secção eficaz de difusão de uma partícula de massa m e carga eléctrica z numa partícula alvo de carga Z , tal que o ângulo de desvio

esteja compreendido entre θ e $\theta + d\theta$, onde $d\theta$ é um intervalo elementar. Num versão simplificada, podemos raciocinar como se segue. Consideramos que a partícula incide com um certo *parâmetro de impacto* b relativamente à partícula alvo (ver Fig. 3). Se as duas partí-

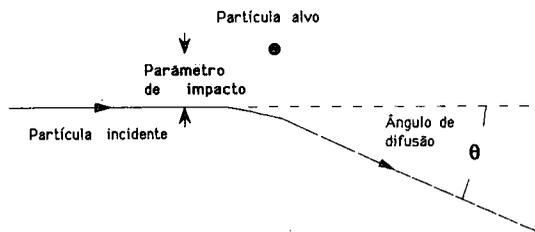


Fig. 3 — Definição de parâmetro de impacto.

culas forem pontuais, a força máxima entre elas é simplesmente $F = zZ/b^2$. Admitamos como simplificação que a partícula incidente é sujeita a esta força durante o tempo T em que se encontra a uma distância inferior a $\sqrt{2}b$ da carga Z (Fig. 4), ou seja $T = 2b/v$,

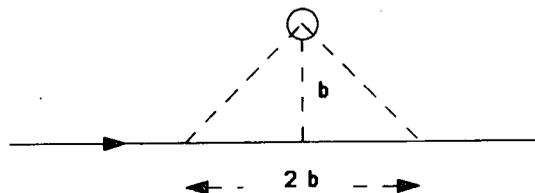


Fig. 4 — Durante o tempo $T = 2b/v$ a partícula incidente encontra-se a uma distância inferior a $\sqrt{2}b$ da partícula alvo. O factor 2 que intervem nesta definição de tempo de interacção é arbitrário; no entanto, a escolha deste factor não afecta as conclusões qualitativas que se obtêm.

onde v é a velocidade da partícula. De acordo com as leis da mecânica de Newton, a partícula incidente adquire um acréscimo de impulsão $q = F.T$. Esta impulsão tem a direcção transversa à linha de incidência da partícula, já que é nessa direcção que actua a força. Após a interacção, a partícula tem uma componente longitudinal de impulsão aproximadamente igual à impulsão inicial p , acrescida de uma

componente transversa q . O ângulo de desvio é, portanto, aproximadamente $\theta = q/p$ (se θ for suficientemente pequeno). Agrupando os vários factores, e sabendo que $v = p/m$, obtém-se uma relação entre o ângulo de desvio θ e o parâmetro de impacto b :

$$\theta = \frac{2mzZ}{bp^2}$$

Ao intervalo de θ a $\theta + d\theta$ corresponde o intervalo em parâmetro de impacto b a $b + db$. Com base na expressão anterior, o cálculo diferencial permite obter uma relação entre $d\theta$ e db :

$$d\theta = \frac{2mzZ}{b^2p^2} db$$

Podemos agora reformular a questão inicial e perguntar qual a probabilidade de incidência com um parâmetro de impacto situado entre b e $b + db$. Esta probabilidade é simplesmente proporcional à área de coroa circular de raios b e $b + db$ (Fig. 5). Ou seja, a secção eficaz

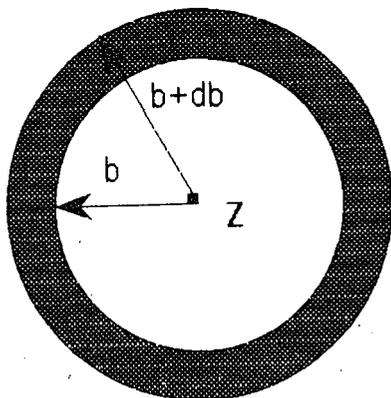


Fig. 5 — A secção eficaz $d\sigma(b)$ corresponde à coroa circular de área $2\pi bdb$.

diferencial é $d\sigma = 2\pi bdb$. Utilizando as relações obtidas entre b e θ e entre db e $d\theta$, obtém-se finalmente a expressão de secção eficaz diferencial em termos do ângulo de difusão:

$$d\sigma(\theta) = \frac{8\pi m^2 z^2 Z^2}{p^4 \theta^3} d\theta$$

As simplificações efectuadas nesta dedução cancelam-se mutuamente de tal modo que esta é a expressão exacta da secção eficaz de Rutherford. É curioso notar que o cálculo realizado no quadro da teoria quântica conduz ao mesmo resultado. Não é o caso das restantes expressões a que faremos referência, que só podem ser obtidas no âmbito da mecânica quântica.

O ponto importante onde queríamos chegar é este: de que modo se altera a secção eficaz diferencial se a partícula-alvo não for pontual? Neste caso, a partícula pode ser descrita por uma densidade $\rho(r)$, onde r é a coordenada relativa ao centro da partícula, admitindo que a densidade é esfericamente simétrica. A secção eficaz obtém-se somando as contribuições de todos os elementos de carga para a deflexão da partícula incidente (Fig. 6). Obtém-se o seguinte resultado:

$$d\sigma = (d\sigma)_{Ruth} |F(q^2)|^2$$

onde $d\sigma(\theta)_{Ruth}$ é a secção eficaz de difusão numa partícula pontual e $F(q^2)$ uma função de $q^2 = p^2\theta^2$ que se designa por *factor de forma*. O factor de forma F obtém-se da densidade ρ

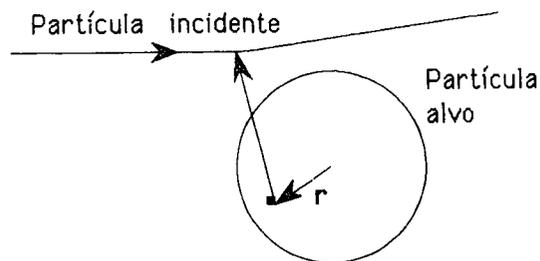


Fig. 6 — Difusão de uma partícula num objecto caracterizado por uma densidade de carga $\rho(r)$: contribuição de um elemento de carga $dZ = \rho(r)dV$, onde dV é um elemento de volume, para a deflexão da partícula.

por uma operação matemática designada por transformação de Fourier. As funções F e ρ são, pois, duas representações diferentes de uma mesma coisa, a estrutura da partícula alvo. A medida experimental de $d\sigma(\theta)$ quando comparada com a expressão anterior, conduz à

determinação do factor de forma e , consequentemente, da densidade $\rho(r)$.

Repare-se que, sendo a impulsão p da partícula incidente um parâmetro fixo, o factor de forma F é uma função do ângulo de difusão θ . De acordo com a nossa intuição anterior, o cálculo mostra que F é uma função decrescente de θ , ou seja, a probabilidade de difusão a grandes ângulos é maior no caso de partículas alvo pontuais.

No caso de difusão de electrões, surge uma complicação suplementar. Contrariamente às partículas α utilizadas por Rutherford, os electrões têm spin $-1/2$: uma propriedade quântica que tem equivalente clássico no movimento de rotação da partícula sobre si própria. Esta «rotação» dá origem a um campo magnético próprio da partícula que se manifesta por um momento magnético associado. Se a partícula incidente for relativista, ou seja, tiver uma velocidade próxima da velocidade da luz, para além da interacção eléctrica considerada, há que ter em conta a interacção magnética com a partícula alvo. Trata-se de um efeito relativista, que está fora do âmbito deste artigo analisar em maior detalhe. Este processo foi pela primeira vez tratado por Mott, pelo que é usual designá-lo por difusão de Mott. Para pequenas velocidades, a secção eficaz de Mott coincide com a expressão de Rutherford.

5. Dos núcleos aos quarks

A investigação da estrutura dos núcleos utilizando a difusão elástica de electrões foi iniciada em 1953, por Hofstadter e colaboradores. A secção eficaz de difusão de electrões de 750 MeV em núcleos de ^{40}Ca e ^{48}Ca é apresentada na Fig. 7. A forma desta curva lembra as figuras de interferência que se obtêm na difracção da luz por um disco opaco de dimensões equivalentes ao comprimento de onda da radiação. Trata-se, de facto, do mesmo tipo de fenómeno e constitui uma manifestação

clara da natureza ondulatória dos electrões. O comportamento oscilatório do factor de forma que se obtém desta medida da secção eficaz diferencial, corresponde aproximadamente à distribuição da densidade de carga

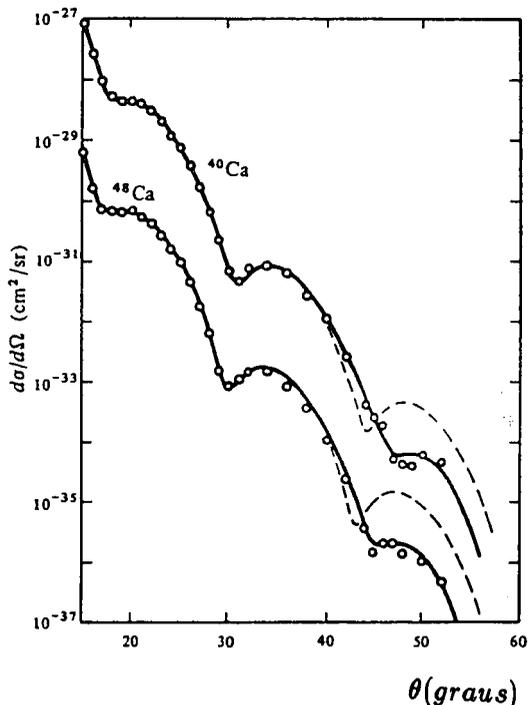


Fig. 7 — Secção eficaz diferencial, por unidade de ângulo sólido, em função do ângulo θ , medida na difusão de electrões de 750 MeV em isótopos de cálcio.

do núcleo representada na Fig. 8. O núcleo não é exactamente um disco opaco, tem uma zona exterior na qual a densidade diminui gradualmente. Obtém-se destas medidas o valor do raio médio dos núcleos $r = 1.2A^{1/3}$ fermi, onde A é o número atómico.

O mesmo processo físico foi utilizado poucos anos depois para estudar a estrutura do próton. Neste caso, o formalismo e a sua interpretação são mais complexos por duas razões. A primeira prende-se com o facto de o próton, contrariamente aos núcleos mais pesados, não poder ser considerado um centro difusor estático. Para impulsões transferidas elevadas, o próton pode adquirir uma velocidade de recuo significativa. Nestas condições, a transformada de Fourier do factor de forma

não é exactamente a distribuição de densidade do próton. A segunda, resulta do facto do próton ser um objecto de spin $-1/2$ e de possuir portanto momento magnético. É natural supor que de forma equivalente à carga eléctrica, o

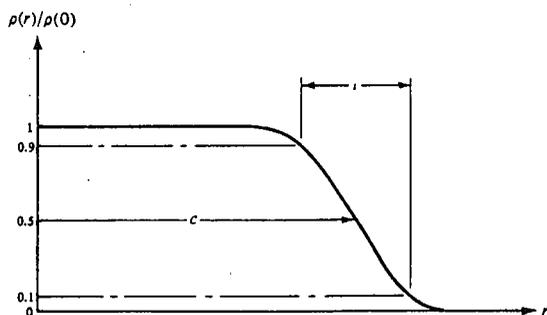


Fig. 8 — A densidade de carga dos núcleos é dada aproximadamente pela distribuição representada na figura. c é o raio do núcleo, definido a meia altura.

momento magnético do próton não tenha uma origem pontual mas esteja associado a uma certa distribuição espacial. Assim, a contribuição para a secção eficaz da interacção magnética da partícula incidente com o momento magnético do próton faz intervir outro factor de forma, designado por factor de forma magnético. Temos assim que a difusão em prótons é descrita em termos de dois factores de forma, um eléctrico e outro magnético, a partir dos quais se podem calcular os raios eléctrico e magnético do próton.

As medidas experimentais mostram que os prótons não são partículas pontuais. São objectos com uma dimensão de cerca de 1 fm, valor que se obtém tanto da análise do factor de forma eléctrico como do magnético. No entanto, o próton não tem uma superfície bem definida: a sua densidade diminui exponencialmente do centro para a periferia.

Chegamos finalmente a 1969 e às medidas de Friedman, Kendall e Taylor. Como já foi dito, a difusão de electrões energéticos (realizaram-se experiências variando a energia dos feixes entre 7 e 17 GeV) é predominantemente

inelástica. O electrão incidente, além de ser deflectido na sua trajectória de um certo ângulo θ , perde uma parte da sua energia inicial. Esta energia é recuperada nas várias partículas criadas na colisão. A difusão é assim descrita em termos de duas variáveis, o ângulo θ e a energia perdida pelo electrão $\nu = E - E'$, em que E e E' são respectivamente a energia inicial e final do electrão. Experimentalmente, mede-se a probabilidade de difusão do electrão com um ângulo θ e com uma energia perdida ν , a que corresponde uma secção eficaz diferencial que depende destas duas variáveis.

O problema, neste caso, é o seguinte: como interpretar estas secções eficazes em termos de factores de forma? Vimos que os factores de forma são funções da impulsão transferida da partícula incidente à partícula alvo. Mas agora há também energia transferida ν , o que levanta a possibilidade de os factores de forma dependerem também desta variável. Se tentarmos extrair factores de forma a partir da secção eficaz experimental $d\sigma(\theta)$, tal como fizemos para a difusão elástica, verificamos que os resultados dependem da segunda variável, a energia transferida. Ou seja, as funções assim obtidas não têm o significado de um factor de forma. Isso corresponderia a admitir que o próton tem estruturas diferentes consoante o valor de ν , o que não faz sentido.

Os experimentadores norte-americanos, numa primeira análise dos dados, definiram duas novas variáveis q^2 e W , dependentes de θ e ν , para descrever a secção eficaz. Do ponto de vista matemático, trata-se de uma simples transformação de variáveis, a secção eficaz pode ser dada em função de θ e ν ou outro par de variáveis, dependentes das primeiras. Do ponto de vista físico, a diferença é no entanto significativa.

A variável q^2 é neste enquadramento o quadrado da energia-impulsão transferida, tal como é definida na relatividade. Como é sabido, em mecânica relativista a energia e as três componentes da impulsão formam uma entidade única, o quadrivector energia-impulsão.

Assim é natural admitir que, neste caso, os factores de forma dependam de q^2 . Explicitamente $q^2 = (\vec{p} - \vec{p}')^2 - \nu^2$, em que \vec{p} e \vec{p}' são respectivamente, os vectores impulsão inicial e final do electrão. Para pequenos valores de θ e para electrões energéticos ($p \simeq E$), obtém-se o resultado aproximado $q^2 = pp' \theta^2$.

A variável W é a massa invariante do conjunto de partículas (hadrões) produzidas na colisão. A massa invariante é um conceito relativista e representa a massa de uma partícula fictícia que, ao desintegrar-se, origina este conjunto de partículas com as energias e impulsões observadas. Nesta perspectiva, podemos considerar que a colisão inelástica electrão-protão produz duas partículas, um electrão e uma partícula de massa W . A situação é formalmente equivalente à difusão elástica em que se tem no estado final um electrão e um protão, ou seja, $W = M$. Por analogia, o factor de forma em difusão inelástica deve, portanto, ser extraído da secção eficaz $d\sigma(q^2)$, determinada a valores fixos da massa W . Na experiência do SLAC, o detector só identifica e mede o electrão final. No entanto, o valor de W pode ser obtido a partir de E , E' e θ , utilizando os princípios de conservação de energia e impulsão total.

Vimos que o quociente da secção eficaz experimental pela secção eficaz teórica de Mott corresponde ao factor de forma $F(q^2)$. Na Fig. 9, mostra-se o resultado histórico obtido em 1969: este quociente medido para três valores fixos de W é praticamente constante. Um factor de forma constante corresponde a um objecto pontual. Os resultados da experiência de Friedman, Taylor e Kendall são compatíveis com a difusão dos electrões em partículas pontuais existentes no interior dos protões. Para comparação, representa-se na mesma figura o resultado que se obtém em difusão elástica: F decresce fortemente com q^2 . Neste caso o electrão interage globalmente com o protão.

Um tratamento mais elaborado da difusão inelástica mostra que em termos muito gerais

a secção eficaz diferencial $d\sigma(q^2, \nu)$ é dada em termos de duas funções W_1 e W_2 , em princípio dependentes de q^2 e ν , que se designam por *funções de estrutura*. Não são mais do que a generalização dos factores de forma da difusão elástica. Os resultados experimentais revelaram que W_1 e W_2 são independentes de q^2 , como

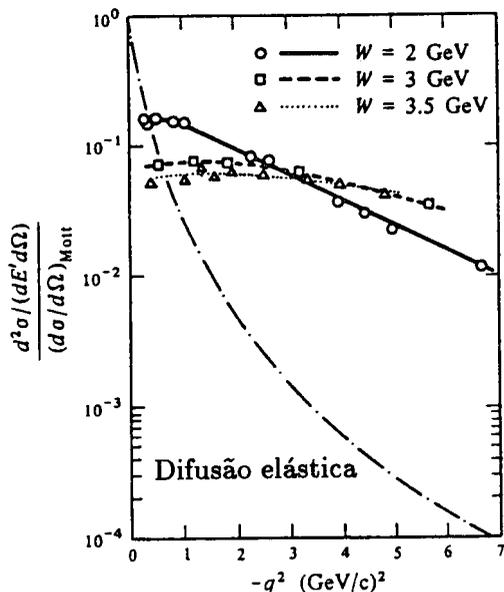


Fig. 9 — Secção eficaz diferencial de difusão electrão-protão, normalizada à secção eficaz de Mott.

vimos. Os experimentadores norte-americanos mostraram ainda que as funções de estrutura são funções universais de uma variável adimensional $x = q^2/2M\nu$, em que M é a massa do protão. As funções W_1 e W_2 e a variável x contêm certamente informação sobre a estrutura do protão em termos dos quarks.

O passo seguinte na interpretação dos resultados foi dado por R. Feynman, famoso físico norte-americano. Feynman decidiu descrever a colisão electrão-protão noutra referencial. Em vez de utilizar o referencial do laboratório, no qual o protão se encontra em repouso, utilizou um referencial onde o protão tem uma impulsão elevada, por exemplo, o referencial do centro de massa. Em seguida admitiu que os quarks partilham a impulsão do protão, tomando uma fracção variável x dessa impulsão, e designou

por $f(x)dx$ a probabilidade de um quark ter uma fracção de impulsão entre x e $x + dx$. Com estes pressupostos, descreveu a difusão electrão-protão em termos de interações electrão-quark, mostrando que a variável $x = q^2/2M\nu$ representa de facto a fracção de impulsão do quark interveniente na colisão e que as funções $W_1(x)$ e $W_2(x)$ são combinações lineares das distribuições de probabilidade $f(x)$ dos vários tipos de quarks que compõem o protão.

Fechava-se assim um ciclo da história da física de partículas. Os quarks do modelo introduzido em 1960 por Gell-Mann para explicar as regularidades verificadas na tabela dos hadrões produzidos nas colisões de partículas eram observados de forma directa nas experiências de difusão de electrões. Confirmava-se que os hadrões são partículas compostas de um quark e um anti-quark, os mesões, ou compostas de três (anti)quarks, os bariões, de que o protão e o neutrão são exemplos. O protão e o neutrão são formados por dois tipos de quark, o quark u , com carga $+2/3$ e o quark d com carga $-1/3$, nas combinações seguintes $p = uud$ e $n = udd$. Outros tipos de quarks foram descobertos, designadamente os quarks s , c e b , sendo de prever ainda a existência de um sexto quark, o quark t .

Novas experiências de difusão em protões e em neutrões foram posteriormente realizadas, com energias mais elevadas e com diferentes partículas incidentes. Em particular, foram utilizados feixes de muões, uma partícula em tudo análoga ao electrão mas com uma massa duzentas vezes superior, e feixes de neutrinos que não possuindo carga eléctrica interagem com os quarks através da interacção fraca. Esta segunda geração de experiências permitiu consolidar o modelo dos quarks, confirmando os vários aspectos que muito resumidamente viemos de referir.

Muito resta dizer sobre o conhecimento actual dos quarks e das suas interações, bem como sobre os projectos actuais que visam aprofundar a pesquisa nesta área. Interação forte, cromodinâmica quântica, gluões, liber-

dade assintótica, jactos de partículas, confinamento, plasma de quarks e gluões são alguns dos tópicos que vêm na sequência lógica do tema deste artigo. Fica talvez para uma próxima oportunidade.

REFERÊNCIAS

Artigos originais:

1. Experiência de Rutherford:
E. Rutherford, *Phil. Mag.*, 21, 669 (1911).
2. Investigação da estrutura nuclear por difusão elástica de electrões:
R. Hofstadter, H. R. Fechter and J. A. McIntyre, *Phys. Rev.*, 92, 978 (1953).
3. Difusão elástica de electrões em protões:
R. W. McAllister and R. Hofstadter, *Phys. Rev.*, 102, 851 (1956).
4. Observação de constituintes pontuais nos protões:
E. D. Bloom *et al.*, «High Energy Inelastic e-p Scattering at 6° and 10°», *Phys. Rev. Lett.*, 23, 930 (1969).
M. Breidenbach *et al.*, «Observed Behavior of Highly Inelastic Electron Proton Scattering», *Phys. Rev. Lett.*, 23, 935 (1969).

BIBLIOGRAFIA

1. *Photon-Hadron Interactions*, por R. Feynman, W. A. Benjamin, 1972.
2. *Introduction to High Energy Physics*, por D. Perkins, Addison-Wesley, Menlo Park, Calif., 1987, Capítulos 6 e 8.

★

Quotas da SPF

Prezado sócio: se ainda não pagou as suas quotas para o ano de 1991, agradecemos que o faça o mais rapidamente possível junto da respectiva Delegação.

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

*Quotas: não estudantes ... 2000 Escudos
estudantes 750 Escudos*

Relaxação dieléctrica em Polímeros

JOSÉ MANUEL PEREIRA CARMELO e LUIZ ANTÓNIO F. M. DIAS CARLOS

Departamento de Física, Universidade de Évora, Ap. 94, 7001 Évora Codex

O presente artigo esboça alguns dos aspectos elementares da relaxação dieléctrica em polímeros.

O estudo dos polímeros através das respectivas propriedades eléctricas tem a vantagem do acesso a um amplo domínio de frequências inerentes às medidas eléctricas, bem como o elevado grau de precisão destas.

1. Introdução

O presente artigo pretende introduzir alguns conceitos elementares sobre a relaxação dieléctrica em polímeros baseando-se num texto dos mesmos autores cuja feitura foi solicitada pela empresa FINICISA — Fibras Sintéticas S.A. de Portalegre. Daí que os exemplos da secção 5 tenham recaído sobre poliésteres.

Nas secções 2 e 3 introduziremos algumas ideias básicas sobre o comportamento dieléctrico dos polímeros, enquanto na secção 4 se relaciona o fenómeno da relaxação dieléctrica com a mobilidade e estrutura das cadeias moleculares dos materiais poliméricos.

Após uma curta referência às propriedades dieléctricas dos polímeros de Acrilato e Metacrilato (secção 5), passamos à conclusão na secção 6.

2. Comportamento dieléctrico de polímeros: Ideias básicas

A maioria dos polímeros pertence à classe dos materiais dieléctricos, isto é, dos materiais isoladores eléctricos, cuja resistividade típica é maior que $10^8 \Omega \cdot m$.

Os materiais dieléctricos apresentam duas características importantes: a possibilidade de armazenarem carga eléctrica e de utilizarem parte da energia armazenada para produzir calor. As propriedades eléctricas de muitos destes materiais podem ser descritas satisfatoriamente por uma constante dieléctrica complexa, $\epsilon = \epsilon' - i\epsilon''$. Um tratamento mais rigo-

roso exige a utilização dum tensor. A parte real ϵ' desta constantes está associada ao poder de armazenamento de carga eléctrica no meio, variando entre 1 para o vácuo (unidades de vácuo) e vários milhares no caso dos materiais ferroeléctricos. O poder de armazenamento de carga dos polímeros é relativamente baixo, variando ϵ' entre 1 e 2 para os polímeros não polares e entre 2 e 20 para os polares, isto é, aqueles em que alguns dos segmentos das cadeias moleculares funcionam como pequenos dipolos microscópicos.

Por outro lado, a parte imaginária da constante dieléctrica, ϵ'' , caracteriza o material relativamente à taxa de energia dissipada sob a forma de calor. O quociente ϵ''/ϵ' denomina-se factor de dissipação. ϵ''/ϵ' varia entre cerca de 10^{-4} para os materiais de baixa perda e 1 no caso de meios caacterizados por perdas de energia consideráveis.

A constante dieléctrica caracteriza a resposta dos materiais dieléctricos à aplicação de campos eléctricos alternados. No caso do campo ser estático, as propriedades eléctricas podem ser caracterizadas por uma constante dieléctrica real, isto é, $\epsilon'' = 0$. No instante em que se aplica um campo eléctrico estático, para além dos dipolos moleculares, que na ausência de campo, e devido à agitação térmica, estão orientados aleatoriamente em todas as direcções do espaço, formam-se dipolos electrónicos e atómicos associados à deformação das nuvens electrónicas dos átomos relativamente aos núcleos, e desvios dos próprios núcleos relativamente uns aos outros, respectivamente.

Enquanto os dipolos de origem electrónica e atómica se alinham quase instantaneamente com o campo estático aplicado, o que origina o aparecimento duma polarização no meio correspondendo a uma constante dieléctrica real de origem exclusivamente electrónica e atómica que denominaremos ϵ_∞ , os dipolos moleculares, devido aos significativos momentos de inércia associados às suas massas elevadas, demoram um tempo apreciável a alinharem-se com o campo. A este tempo de resposta chama-se tempo de relaxação τ . Aquando da conclusão do processo de alinhamento dos dipolos moleculares com o campo, à polarização electrónica e atómica vem juntar-se uma nova polarização denominada de orientação. Este alinhamento vem também provocar um acréscimo na constante dieléctrica. Ao valor final da constante dieléctrica, quando medida após um intervalo de tempo (relativo à aplicação do campo) superior ao tempo de relaxação, denominaremos ϵ_e . É claro que $\epsilon_e > \epsilon_\infty$.

No caso da aplicação dum campo eléctrico alternado, isto é, de radiação electromagnética em que o campo eléctrico executa um movimento de precessão de frequência ω (número de radianos por unidade de tempo) ou equivalentemente f (número de ciclos por unidade de tempo) em torno da direcção de propagação, a resposta do meio vai ser função da frequência do campo ω e da temperatura. O caso do campo estático corresponde ao limite $\omega = 0$.

Para frequências superiores a 10^2 Hz (temperatura ambiente), os períodos de rotação do campo alternado são inferiores aos tempos de relaxação típicos dos polímeros, e apenas os dipolos de origem eléctrica e atómica acompanham o movimento de precessão do campo. Nesta zona de frequências $\epsilon'(\omega)$ é constante ou levemente decrescente com o aumento de ω para largos domínios de frequências, enquanto $\epsilon''(\omega)$ se mantém perto de zero. Contudo, quando a frequência do campo aplicado ω coincide ou se aproxima das frequências naturais de vibração dos átomos das moléculas (o que ocorre tipicamente na região infravermelha do espectro) ou com frequências características de transições entre os níveis electrónicos dos

átomos (regiões visível, ultravioleta e raio-X), $\epsilon'(\omega)$ mostra apreciáveis «degraus» descendentes acompanhados de descontinuidades e $\epsilon''(\omega)$ picos de absorção associados a dissipação de energia sob a forma de calor. No presente contexto não são estes picos, denominados picos de ressonância, os que assumem maior interesse.

3. Relaxação dieléctrica: sua dependência da frequência e temperatura

No caso da frequência do campo alternado ser suficientemente baixa, isto é, se o período característico da precessão do campo for maior que o tempo ou tempos de relaxação τ característicos dos diplos moleculares do material, estes conseguem acompanhar, embora com um certo atraso, o movimento do campo (diferença de fase). Nesta zona de frequências $\epsilon'(\omega)$ decresce levemente e $\epsilon''(\omega)$ mantém-se perto de zero. Contudo, quando f se aproxima de $1/\tau$ os elevados momentos de inércia dos dipolos moleculares impedem que estes continuem a acompanhar os movimentos do campo. A esta frequência $\epsilon'(\omega)$ sofre uma quebra considerável e $\epsilon''(\omega)$ exhibe um pico de absorção centrado em $f = 1/\tau$, associado às perdas de energia por dissipação de calor. É a esta quebra de $\epsilon'(\omega)$ associada a perda de energia que se chama relaxação dieléctrica. Os picos de relação apresentam «vertentes» menos abruptas que os de ressonância (Fig. 1).

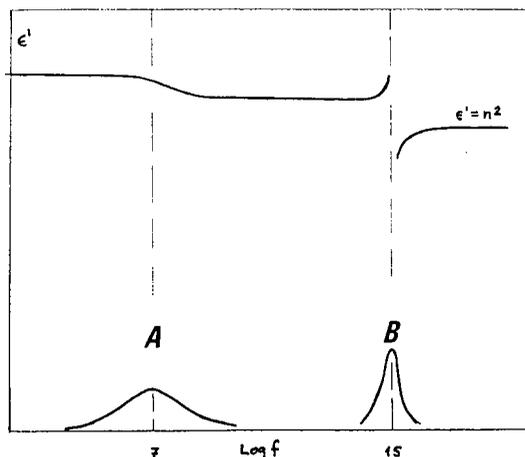


Fig. 1 — (A): Picos de relaxação; (B): Picos de ressonância electrónica.

No caso dum meio dieléctrico constituído por moléculas pequenas e com um único tipo de dipolo molecular, apenas existe um pico de relaxação. Debye [1, 2], o grande iniciador do estudo de relaxação dieléctrica, construiu um modelo aplicável a este caso.

Deste modelo decorre que a dependência em frequência de $\epsilon(\omega) = \epsilon'(\omega) - i \epsilon''(\omega)$ é da forma:

$$\epsilon'(\omega) = \epsilon_{\infty} + \frac{(\epsilon_e - \epsilon_{\infty})}{1 + (\omega\tau)^2} \quad (1a)$$

$$\epsilon''(\omega) = \frac{(\epsilon_e - \epsilon_{\infty})}{1 + (\omega\tau)^2} \omega\tau \quad (1b)$$

onde ϵ_e e ϵ_{∞} foram definidas anteriormente no contexto do campo estático ($\omega=0$). $\epsilon'(\omega)$ e $\epsilon''(\omega)$ estão representadas na Fig. 2 em função de $\ln(\omega\tau)$ (para uma certa temperatura).

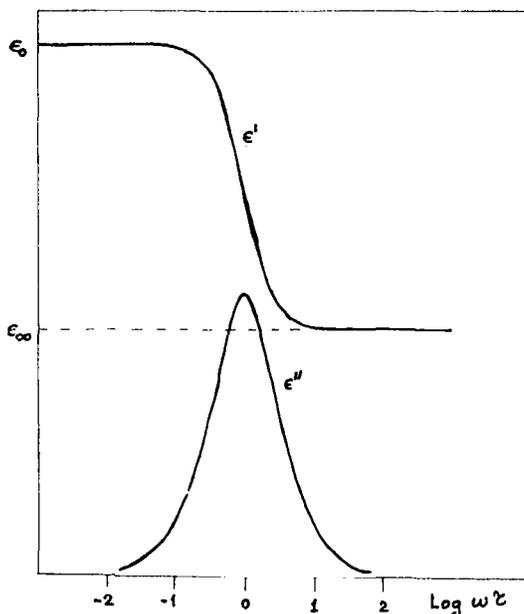


Fig. 2 — Comportamento típico de $\epsilon'(\omega)$ e $\epsilon''(\omega)$ em torno duma frequência de relaxação.

A localização do pico depende da temperatura através da dependência relativamente à mesma do tempo de relaxação τ . Da teoria de Debye obtém-se:

$$\tau = A \exp(\Delta H^*/RT) \quad (2a)$$

onde A é uma constante numérica e ΔH^* a variação de entalpia de activação por mole (entalpia de Arrhenius) associada ao processo de relaxação dieléctrica. A equação (2a) implica que:

$$\frac{d(\ln \tau)}{d(1/T)} = \frac{\Delta H^*}{R} \quad (2b)$$

isto é, se se representar graficamente $\ln \tau$ em função de $1/T$ obtém-se uma linha recta cujo declive fornece o valor da entalpia de Arrhenius.

As cadeias moleculares dos polímeros podem, devido à liberdade de movimentos em torno de segmentos de cadeia individuais, apresentar um sem fim de configurações. No caso dos polímeros polares, os momentos de inércia dos dipolos cujos movimentos impliquem movimentos da cadeia central, são muito superiores aos dos dipolos correspondentes a segmentos de cadeia laterais. Esta diversidade na mobilidade dos dipolos dos materiais poliméricos implica que, ao contrário dos meios dieléctricos constituídos por moléculas pequenas e simples, os respectivos espectros $\epsilon''(\omega)$ apresentem mais que um pico de relaxação dieléctrica. Estes picos correspondem a sucessivas perdas de energia associadas à cessação do acompanhamento dos movimentos de precessão do campo eléctrico aplicado por parte dos diferentes tipos de dipolos. É devido ao facto da posição e forma dos picos de relaxação estar intimamente relacionada com a estrutura das cadeias moleculares e respectiva mobilidade, que estudos de relaxação dieléctrica podem ser utilizados para recolher informação sobre as propriedades estruturais e mecânicas dos polímeros.

Há essencialmente duas maneiras de estudar as variações da constante dieléctrica e das posições dos diferentes picos de relaxação: ou se fixa a temperatura e se faz variar a frequência do campo aplicado, a partir de $\omega = 0$, registando-se os valores de $\epsilon'(\omega)$ e $\epsilon''(\omega)$ e a presença dos vários picos de relaxação nesta última função, ou se fixa a frequência e, tomando como ponto de partida uma temperatura de

referência em que todos os dipolos moleculares ainda acompanhem os movimentos do campo aplicado, estuda-se a variação de $\epsilon'(T)$ e $\epsilon''(T)$ à medida que se vai baixando a temperatura.

Note-se que baixar a temperatura tem um efeito semelhante ao de aumentar a frequência do campo eléctrico aplicado. De facto, altas temperaturas favorecem a agitação térmica, logo a mobilidade dos dipolos e a possibilidade destes melhor acompanharem os movimentos do campo, tal como baixas frequências facilitam igualmente o acompanhamento desses movimentos. Em geral pode-se pois dizer que a diminuição da frequência do campo aplicado conjugada com o incremento da temperatura tendem a aumentar a polarização dos materiais dieléctricos, enquanto que o aumento dessa frequência e o decréscimo da temperatura tendem a diminuir a polarização desses materiais e a favorecer pois perdas de energia e a ocorrência de relaxação dieléctrica.

Quer variando a frequência a partir de $\omega = 0$ (mantendo a temperatura constante), quer diminuindo a temperatura a partir de uma temperatura suficientemente elevada (mantendo-se constante a frequência do campo) se vão obtendo picos de absorção nas funções $\epsilon''(\omega)$ e $\epsilon''(T)$, respectivamente. Esses picos são vulgarmente denominados, segundo a nomenclatura introduzida por Deutsch [3], de picos α , β , γ , etc., por ordem crescente das frequências ou decrescente das temperaturas a que vão sucessivamente aparecendo.

4. Relação entre a relaxação e a mobilidade e estrutura das cadeias

Nestes polímeros amorfos a relaxação α está normalmente associada à transição vítrea (transição «borracha-vidro»). O pico surge devido à imobilização dos movimentos da cadeia principal do polímero, que deixa de poder acompanhar os movimentos do campo aplicado. Os picos secundários β , γ , etc., que

surtem a frequências mais altas (ou temperaturas mais baixas), são devidos à imobilização das cadeias laterais ou de segmentos «locais» da cadeia principal, os quais possuem momentos de inércia menores que a cadeia principal, e logo maior mobilidade.

A mobilidade dos segmentos moleculares e respectivos dipolos pode ser modificada, para além da acção das variações de temperatura e frequência do campo aplicado, pela adição de substâncias plastificantes que vão alterar os tempos de relaxação e as posições dos picos. A adição de plastificantes é uma técnica vulgarmente empregue no controlo das propriedades físicas dos materiais poliméricos.

A posição e conformação dos segmentos laterais da cadeia central jogam um papel determinante na mobilidade das cadeias poliméricas, pois determinam o seu tipo de empacotamento. A conformação polimérica pode em casos particulares facilitar a formação de ligações de hidrogénio intermoleculares, contribuindo assim para uma diminuição da mobilidade da cadeia central. Pode também facilitar a formação de ligações de hidrogénio intramoleculares, o que implica uma redução da mobilidade dos segmentos laterais.

A geometria dos dipolos moleculares pode ser de vários tipos conforme a localização do dipolo:

- numa cadeia lateral flexível;
- numa cadeia rígida perpendicular à cadeia central;
- numa cadeia rígida paralela à cadeia central;
- combinação dos casos anteriores.

Na Fig. 3 representam-se alguns exemplos destas geometrias dipolares.

Terminamos o presente comentário com uma referência a dados relativos a um caso particular: os poliésteres de Acrilato e Metacrilato. Pretendemos assim concretizar as ideias que acabamos de introduzir.

Polímero	Geometria Dipolar	Estrutura
Polimetil Acrilato	Dipolo de cadeia lateral flexível e dipolo de cadeia perpendicular rígida	$-\left[\text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right]_n -$
Cloreto de Polivinil	Dipolo de cadeia perpendicular rígida	$-\left[\text{CH}_2 - \text{CH} \right]_n -$
Óxido de Polietileno	Dipolo de cadeia perpendicular rígida	$-\text{CH}_2 - \text{O} - \text{CH}_2 -$
Poliésteres	Dipolo de cadeia perpendicular rígida e dipolo de cadeia paralela rígida	$-\left[\text{R} - \text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{O-R} \end{array} \right]_n -$
Poli (P-Clorofenil Acetileno)	Dipolo de cadeia perpendicular rígida e dipolo de cadeia paralela rígida	$-\left[\text{CH} = \text{C} \right]_n -$

Fig. 3 — Diferentes geometrias dipolares.

5. Comportamento dielétrico de alguns poliésteres: polímeros de acrilato e metacrilato

Neste tipo de materiais poliméricos a unidade que se repete na cadeia central tem a

estrutura representada na Fig. 4. Alguns exemplos desta classe de poliésteres estão reunidos na Tabela 1, onde se especifica o tipo de radicais R e R' (ver Fig. 4).

Na Fig. 5 representa-se a variação de ϵ' e ϵ'' com a temperatura obtida através de estu-

dos de Ishida [4] (PMA com $f = 10^2$ Hz) e Mikhailov e Borisova [5] (PMMA com $f = 10^2$ Hz e PM α CIA com $f = 4 \times 10^2$ Hz).

Duas relaxações são observadas neste tipo de materiais: um pico α associado a um movimento de cadeia central e um pico associado à cessação da rotação do grupo $-\text{COOR}$ em torno da ligação C-C, imobilizando-o relativamente à cadeia principal. As temperaturas

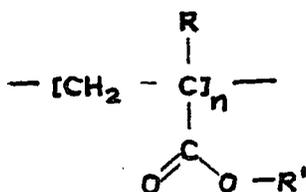


Fig. 4 — Unidade estrutural característica dos polímeros de acrilato e metacrilato.

centrais dos picos da Fig. 5 podem ser modificadas se fizermos variar as frequências do campo aplicado.

Como para uma dada temperatura os tempos de relaxação τ são iguais ao inverso das frequências de relaxação f , no caso ideal dos movimentos dos dipolos moleculares serem independentes a equação (2b) implica que a relação entre $\ln f$ e $1/T$ deva ser linear (f e T frequências e temperaturas de relaxação).

TABELA 1

R	R'	Poliéster
H	CH ₃	Metacrilato de polimetil (PMMA)
CH ₃	CH ₃	Acrilato de polimetil (PMA)
Cl	CH	Cloroacrilato de polimetil (PM α CIA)

TABELA 2

Polímero	ΔH^*_{α} (KJ/mole)	ΔH^*_{β} (KJ/mole)
PMA	238	63
PMMA	460	84
PM α CIA	544	109

Entalpias de activação (ΔH^*) de alguns materiais poliméricos (KJ/mole)

Na Fig. 6 representam-se os diagramas f - T das relaxações α e β do PMA [4], PMMA [5] e PM α CIA [3]. Os declives das funções obtidas fornecem valores das entalpias de activação associadas aos diferentes processos de relaxação.

A substituição de CH₃ (no PMMA) por H (no PMA) leva a que a entalpia de activação seja muito superior quer para a relaxação α quer para a β , ao mesmo tempo que a temperatura de relaxação se revela mais elevada.

No caso da substituição do átomo de cloro (no PM α hIA) pelo grupo metil (no PMMA), o raio de Van Der Waals do Cloro é $1,8 \times 10^{-10}$ m, um valor muito próximo do do grupo metil. O facto de as relaxações α e β e as entalpias de activação serem superiores no PM α CIA deriva neste caso das intensas forças inter e intramoleculares resultantes da polaridade da ligação C-Cl.

Na Tabela 2 reúnem-se os valores das entalpias de activação calculadas a partir dos dados da Fig. 6.

As propriedades dieléctricas dos polímeros de Acrilato e Metacrilato que acabámos de referir ilustram bem a dependência do comportamento dieléctrico dos polímeros face a variações de temperatura e frequência do campo aplicado, de acordo com as ideias introduzidas nas secções 2 e 3. Confirmam também a relação existente entre a relaxação dieléctrica e a mobilidade e propriedades estruturais das cadeias poliméricas referidas na secção 4.

6. Conclusão

A relaxação dieléctrica, estando intimamente relacionada com a mobilidade das cadeias e subcadeias poliméricas, do seu empacotamento, estrutura e geometria, dá acesso a uma série de dados cuja interpretação pode conduzir à recolha de informação preciosa sobre as propriedades físicas dos materiais poliméricos.

No presente artigo pretendeu-se introduzir o cenário e os conceitos necessários à compreensão do fenómeno da relaxação dieléctrica.

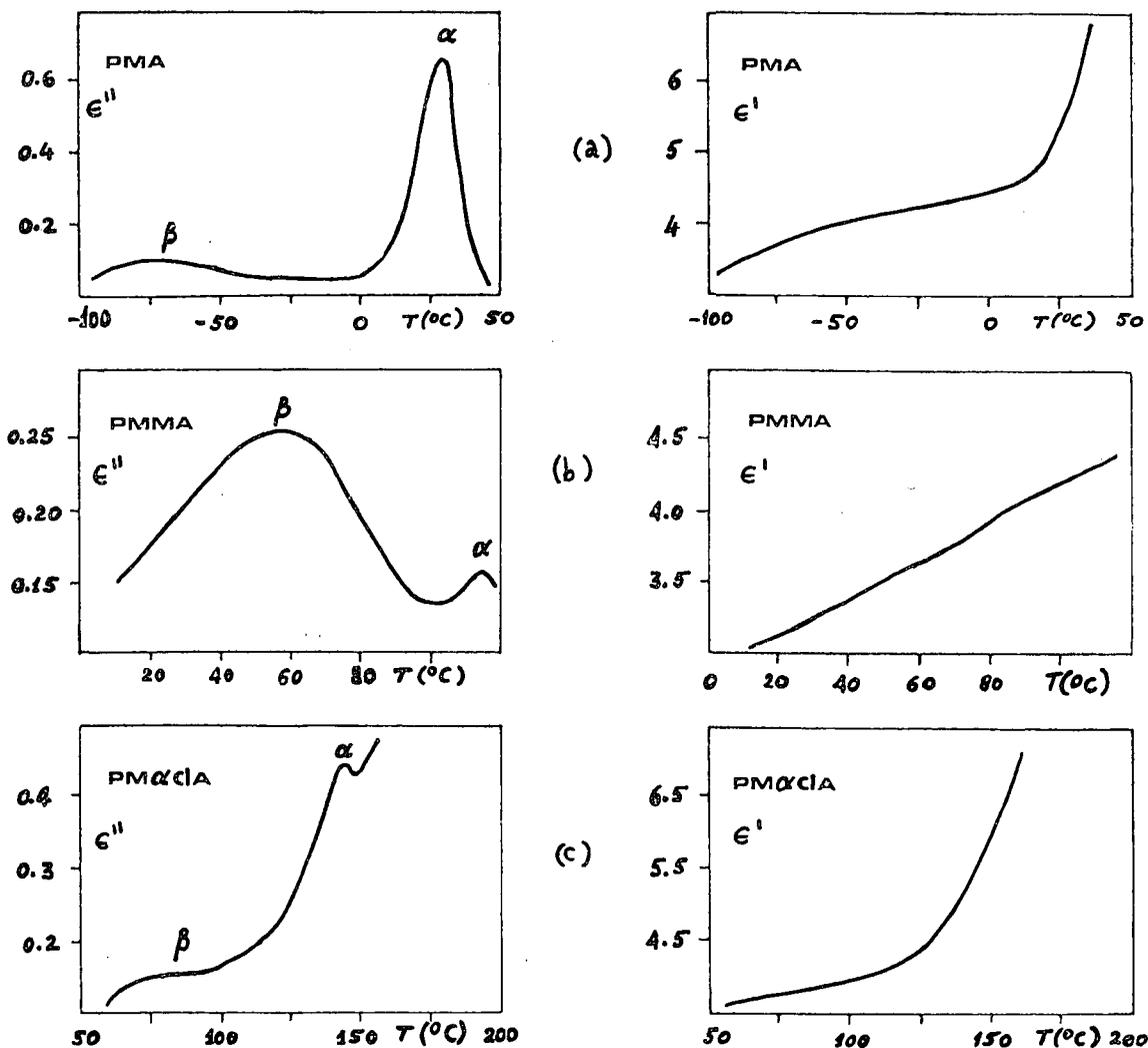


Fig. 5 — Dependência de ϵ' e ϵ'' com a frequência para o PMA (a), PMMA (b) e PM α CIA (c).

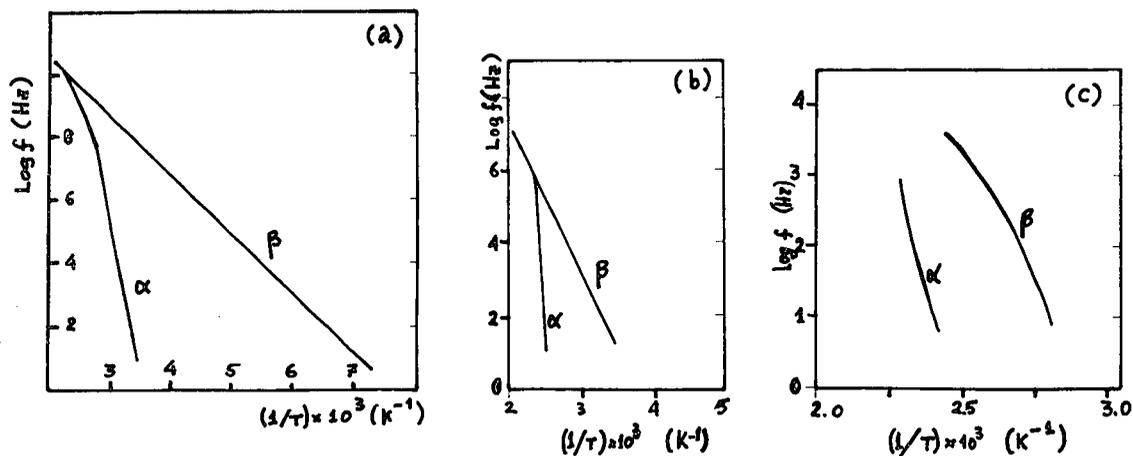


Fig. 6 — Diagrama f - T das relaxações α e β do PMA (a), do PMMA (b) e do PM α CIA (c).

Uma vantagem clara da utilização de estudos baseados nas propriedades dieléctricas destes materiais, decorre do facto das medições eléctricas poderem ser efectuadas numa larga região de frequências e com um notável grau de precisão. Por isso a constante dieléctrica e as perdas em polímeros sólidos podem ser estudadas desde 10^{-4} Hz até às frequências ópticas. Juntando este facto às possibilidades de variação da temperatura e pressão, a profundidade e possibilidade deste tipo de técnica experimental é impressionante, sendo largamente utilizada no estudo do comportamento molecular [2, 6].

A teoria da relaxação dieléctrica foi criada por Debye [1] e Fröhlich [7]. Como bons trabalhos de revisão sobre o assunto recomenda-se os livros de Smyth [8] e de Hill e co-autores [9].

Quanto à aplicação da relaxação dieléctrica ao estudo de polímeros recomenda-se os livros de McGrum e co-autores [10], de Hedvig [11], de Blythe [2], bem como o trabalho de Ngai e Rendell [12].

REFERÊNCIAS

- [1] P. DEBYE — Polar Molecules, *Chemical Catalog Co.* (1929) (reeditado por Dover Publications).
- [2] A. BLYTHE — «Electrical Properties of Polymers», Cambridge University Press (1979).
- [3] K. DEUTSCH, E. HOFF e W. REDDISCH — *J. Polymer Sci.*, **13**, 565 (1954).
- [4] Y. ISHIDA — *Kolloid Z.*, **174**, 124, (1961).
- [5] G. MIKHAILOV e T. BOISOVA — *Sov. Phys. Tech. Phys.*, **3**, 120 (1958); *Vysokomolekul. Soedin.*, **2**, 1772 (1960).
- [6] K. NGAI, ed. — «Relaxations in Disordered Systems», Naval Research Laboratory, Washington, D. G., (1985).
- [7] H. FRÖHLICH — «Theory of Dielectrics», Oxford University Press, (1949).
- [8] J. SMITH — «Electric Dipole Moments», Butterworths, Londres, (1955).
- [9] N. HILL, W. VAUGHAN, A. PRICE e M. DAVIES — «Dielectric Properties and Molecular Behaviour», Van Nostrand, Londres, (1969).

- [10] N. MCGRUM, B. READ e G. WILLIAMS — «Anelastic and Dielectric Effects in Polymeric Solids», Wiley, N. Y., (1967).
- [11] P. HEDVIG — «Dielectric Spectroscopy of Polymers», Adam Hilger, Bristol (1977).
- [12] K. NGAI e R. RENDELL — «Dielectric and Conductivity Relaxations in Conducting Polymers», páginas 967 a 1039 do «Handbook of Conducting Polymers», ed. por T. Skotheim, M. Dekker, inc., N.Y. (1986).

EXPERIÊNCIAS DE ENSINO ASSISTIDAS POR COMPUTADOR

CRIAÇÃO DE UM GRUPO DE TRABALHO

A Comissão Directiva da Sociedade Portuguesa de Física aprovou no passado dia 18 de Dezembro a criação de um Grupo de Trabalho para o Desenvolvimento de Experiências de Ensino Assistidas por Computador (GT/DEAC), por proposta de um grupo de sócios pertencentes a diversas instituições.

Este Grupo tem por missão coordenar os esforços individuais, no sentido de desenvolver a ligação de meios informáticos a equipamentos laboratoriais e a meios audiovisuais, assim como elaborar metodologias de ensino que apliquem tais meios.

O Grupo promoverá igualmente estudos tendentes a testar os resultados obtidos no ensino com aplicação destas novas tecnologias. Apela-se assim, aos sócios interessados em colaborar neste Grupo de Trabalho, que contactem com:

Prof. Doutor António Almeida Melo
Departamento de Física
Faculdade de Ciências da Univ. de Lisboa
Campo Grande, Edifício C1, Piso 4
1700 Lisboa

Algumas considerações sobre a didáctica do conceito de energia

MARIANA VALENTE

Departamento de Física, Universidade de Évora

DUARTE COSTA PEREIRA

Departamento de Química, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto

«energy is eternal delight»

W. BLAKE, 1793

1. Fases na construção do conhecimento

Fala-se muito, hoje em dia, na importância das «concepções alternativas» no processo ensino/aprendizagem das ciências. Segundo o modelo subjacente a esta corrente, os alunos constroem versões privadas dos conceitos sobre que posteriormente elaboram as suas interpretações.

Nesta perspectiva construtivista do conhecimento é de extrema importância que o professor conheça o ponto de onde parte o aluno, para que possa escolher estratégias adequadas, facilitando-lhe a construção de novos modelos conceptuais mais próximos dos modelos científicos. Digamos que o conhecimento das «concepções alternativas», relacionadas com os vários domínios da ciência, será condição necessária, ainda que não suficiente, para o «sucesso» da aprendizagem.

Todo o professor que já tenha ensinado mecânica sentiu, certamente, a importância destas concepções e a resistência que elas oferecem à adopção do modelo formal, aceite cientificamente. O grande desafio que se põe é: *como provocar a mudança?*

Muitos autores e em especial R. Driver falam do papel que o confronto entre os modelos dos alunos e a «realidade» pode desempenhar na construção do conhecimento, levando-os a fazerem previsões, com base nos seus modelos conceptuais, e a confrontá-las com situações (bem escolhidas) que provoquem o conflito. A literatura tem dado muita ênfase à definição de estratégias que ajudem a conhe-

cer os «modelos alternativos». Propostas de confronto não são, todavia, muito frequentes, nomeadamente no que diz respeito ao ensino da mecânica.

Muitos dos modelos explicativos dos alunos resistem fortemente ao ensino formal e há mesmo professores que, face a novas situações, projectam, eles próprios, de uma forma subtil, modelos não científicos.

Se há áreas da Física em que o confronto é clarificador e é suficiente para provocar a mudanças (algumas situações no estudo da corrente eléctrica), outras há em que o confronto é problemático. É este o caso da mecânica. Esta situação advém do facto de o «mundo» ideal, sem atrito, que queremos conceptualizar, ser um «mundo» que pouco tem a ver com a experiência do aluno. Nós propomos uma fase de *confronto/configuração* ⁽¹⁾, e consideramos que há áreas da Física em que a configuração terá, necessariamente, um papel muito mais importante que o confronto, por exemplo em áreas em que os conceitos sejam muito abstractos, como é também o caso da energia.

Configurar é dar forma, é ajudar o aluno na construção de um «todo» coerente e em interacção. Não há vários conhecimentos, isto

⁽¹⁾ A configuração corresponderá no processo de ensino/aprendizagem, a uma entidade com estatuto epistemológico intermédio entre os modelos perceptuais (intuitivos) e os conceptuais que são explanatórios.

é, não há um conhecimento válido para a sala de aula, na resolução de problemas abstractos e outro válido para as situações quotidianas. O professor na sala de aula não deve separar mas sim ligar. Uma prática pedagógica muito arreigada, que se pode considerar contraproducente por anticonfiguracionista, é a de chamar a atenção do aluno para as diferenças entre a linguagem corrente e a linguagem científica, sem ter a preocupação de estabelecer ligações. Com efeito, a linguagem científica interactiva necessariamente com a linguagem corrente através da divulgação científica, e é frequente, hoje em dia, encontrarmos na literatura conceitos científicos trabalhados pela arte da escrita. A tendência será no sentido do conhecimento científico agir sobre o senso comum alterando-o, já que não se trata de mundos completamente separados. Como diz B. Sousa Santos (1987): «Na ciência moderna, a ruptura epistemológica simboliza o salto qualitativo do conhecimento do senso comum para o conhecimento científico; na ciência pós-moderna o salto mais importante é o que é dado do conhecimento científico para o senso comum. O conhecimento científico só se realiza enquanto tal na medida em que se converte em senso comum».

Há professores que colocam o problema da educação científica no facto desta e da própria ciência correrem contrariamente ao senso comum. Mas não tem de ser assim. Configurar também é não esquecer que a educação científica tem a ver com a experiência de todos os dias. É fazer com que o conhecimento adquirido possa ser relacionado com o que é observado. Para isso, não basta considerar apenas situações ideais; é preciso não ter medo de abordar, também, sistemas complexos (reais). Por exemplo, no caso da energia é preciso estudar, de uma forma acessível, sistemas abertos e longe do equilíbrio, pois só assim a Física escolar fará algum sentido; caso contrário, não será capaz de dar resposta a muitas das questões levantadas. Como diz J. Wellington (1985), a Física escolar está cheia de noções ridículas.

Se a configuração é possível então é imprescindível um bom uso da linguagem verbal. A chave da configuração poderá estar numa verdadeira «acção comunicacional», como diria Habermas (as «verdades» jogam-se na comunicação através da argumentação). «A comunicação tem uma vocação de verdade, ponto de partida da concepção de Habermas»⁽²⁾, (Fernando Gil, 1986). Como refere Ogborn (1986), a verdade científica já não se encontra na cabeça (posição racionalista), nem «lá fora» (posição empirista): «a «verdade» tem de ser construída entre nós!» (veridicção). Esta atinge-se na interacção dos vários discursos, e para que os discursos possam interactivar está implícito que as «vias» utilizadas na construção de um mundo coerente sejam «vias» que façam sentido para o aluno.

Vamos, nesta perspectiva configuracionista, abordar o conceito de energia.

2. Alguns problemas no ensino/aprendizagem da energia

2.1. Resultados de algumas experiências

A — Colocaram-se questões a um grupo de sete alunos do 4.º ano de licenciatura em ensino de Física e Química, no sentido de caracterizar as suas representações de energia e de entropia. Da análise das respostas pudemos verificar que:

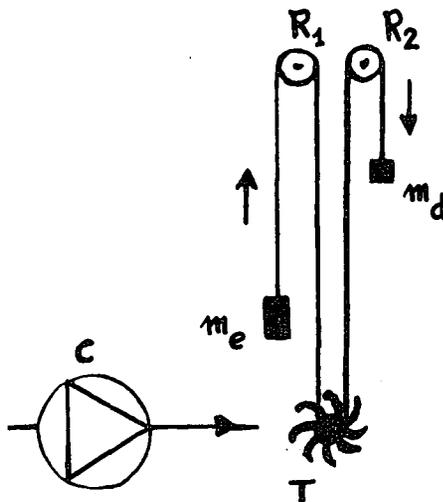
— a energia aparece, em quatro das respostas, associada ao conceito de trabalho;

— o conceito de entropia surge, em seis das respostas, como uma medida de desordem de um sistema. Nenhum dos sete alunos associou, de alguma forma, este conceito à energia. Este facto parece confirmar a ideia repetidamente afirmada por muitos autores de que ao conceito de entropia associam os alunos o

(2) Seria interessante explorar a importância das teses de Habermas na Educação. Contamos fazê-lo num futuro próximo.

«chavão» desordem, de reduzido significado físico para eles.

B — Com alunos do 1.º ano de uma licenciatura em engenharia montámos a seguinte experiência:



C — compressor

T — turbina

m_e ; m_d — corpos de massas m_e e m_d

R_1 R_2 — roldanas

Era então colocada a seguinte questão: porque é que quando se juntam mais corpos ao sistema, de forma a aumentar o valor da massa m_e e mantendo m_d constante, este se desloca mais lentamente?

Dos 45 alunos nenhum tentou dar uma explicação em termos energéticos e as explicações centradas na análise de forças falhavam. É de salientar que tendo-se explicitamente chamado a atenção para o princípio de conservação da energia os alunos não eram capazes de o aplicar.

2.2. Ênfase curricular dada ao conceito de energia

No nosso ensino secundário a energia não desempenha um papel importante. A força continua a reinar. Não é por acaso que os alunos raramente fazem análises energéticas na interpretação de um fenómeno.

Claro que a conceptualização da energia não é tarefa fácil. Antes de abordarmos algu-

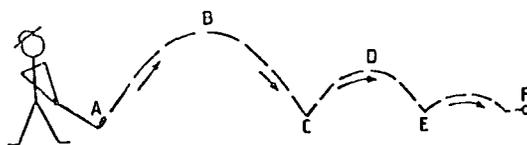
mas dificuldades na aprendizagem nesta área gostaríamos de fazer algumas reflexões sobre a necessidade de lhe dar mais ênfase.

Não há dúvida que a energia desempenha um papel muito importante na nossa sociedade, sendo referida multiplamente em contextos não científicos e por vezes conflituosos com as ideias de conservação e degradação consignadas, respectivamente, nos 1.º e 2.º princípios da termodinâmica. Só por isso se justificaria um melhor tratamento deste conceito numa educação científica adequada. Cada vez mais, a «produção» e o desenvolvimento nos alunos de atitudes tam problemas do ponto de vista do ambiente e, o desenvolvimento, nos alunos, de atitudes de participação numa sociedade em que a natureza não seja sacrificada poderia ser um objectivo importante da educação científica, mesmo a um nível de «ciência para todos» (Ogborn, 1987), que é o que se justifica no Ensino Básico.

Temos ainda que considerar o facto de o conceito de energia ser verdadeiramente interdisciplinar, permitindo transferências de aprendizagem sempre desejáveis curricularmente. Os recursos motivacionais não faltam: para além dos contextos habituais, também a vamos encontrar na literatura, na pintura, em banda desenhada...

2.3. Concepções alternativas no domínio da energia

Driver e Warrington (1985) descrevem algumas experiências para a identificação das concepções alternativas nesta matéria. Identificam, assim, as confusões entre força e energia e entre energia e velocidade. J. Solomon (1985) faz referência às dificuldades de aplicação do princípio de conservação da energia, ilustrando com a seguinte situação:



Neste contexto, era perguntado aos alunos, após ter sido recordado o princípio de conservação da energia, o que acontecia à energia da bola. Muitas das respostas indicavam que a energia fica armazenada na bola.

Muitas vezes estas dificuldades não desparecem com o ensino formal e acontece ser o próprio professor a transferir, sem dar por isso, este tipo de confusão. Vejamos a seguinte situação observada. Um professor estagiário tenta explorar o conceito de força. Para isso pede aos alunos que imaginem dois livros A e B, sendo a massa do livro B dupla da do livro A, e representa-os no quadro. É então pedido aos alunos que assinalem, tendo em conta a ordem de grandeza relativa, as forças mínimas necessárias que devem ser aplicadas em cada um dos corpos para que estes percorram a mesma distância de 10 cm. A necessidade de fixar a mesma distância sugere que as forças seriam diferentes se as distâncias fossem diferentes (confusão subjacente entre força e trabalho).

3. Algumas propostas para a conceptualização da energia

Na conceptualização da energia podemos considerar vários aspectos, como refere Duit (1985).

- I — Conceptualização da energia;
- II — Transferência da energia;
- III — Transformação da energia;
- IV — Conservação da energia;
- V — Degradação da energia.

No ensino, quando se fala de energia, os aspectos mais explorados são os da transferência e transformação. Como já dissemos a conceptualização da energia não é tarefa fácil. Muitas vezes, quando introduzido formalmente no currículo, o conceito aparece, numa perspectiva operacional, associado à capacidade de realizar trabalho ⁽³⁾. Ora, além desta definição do ponto de vista científico não ser correcta (2.º princípio da Termodinâmica), também não ajuda muito partir do conceito de trabalho,

o qual coloca grandes problemas ao nível da conceptualização.

R. Driver, Solomon e Duit (1985) propõem uma conceptualização centrada nos princípios de conservação e «degradação» da energia. Este último aspecto deverá ser introduzido antes do princípio de conservação, que é contra-intuitivo e que só poderá ser compreendido se antes se introduzir o conceito de «degradação» ⁽⁴⁾. Fazendo desta forma a abordagem do conceito de energia, os alunos poderão caminhar, por vias com sentido para eles, para a construção das representações conceptuais. Poderemos, pois, considerar que se trata de um processo de *configuração*

Feynman introduz o conceito de energia de uma forma puramente teórica. O conceito aparece metaforicamente. Conta ele que... um miúdo brinca, no quarto, com vinte e oito cubos, absolutamente indestrutíveis. A mãe, de vez em quando, preocupada, vai dando uma vista de olhos para ver se tudo está a correr bem até que, uma das vezes, se apercebe que só estão à vista vinte e cinco cubos. Intrigada, olha à volta mas nem vestígios dos cubos. Tenta encontrar uma explicação para o facto. Põe então a hipótese dos cubos estarem escondidos numa pequena caixa, que se encontra no quarto. Vai abrir a caixa mas o filho impede-a. A mãe inteligente pensa: «Eu sei que a massa da caixa é de 600 g e que a massa de cada cubo é de 100 g. Se pesar a caixa posso certificar-me se os cubos lá estão». Assim o faz e obtém o número total de cubos a partir da expressão:

$$\text{Número de cubos visíveis} + \frac{\text{massa da caixa} - 600 \text{ g}}{100 \text{ g}}$$

Tudo continua na mesma até que esta expressão deixa de perfazer 28. É então que

⁽³⁾ Aliás, esta definição chega a aparecer nos alunos do 8.º ano ainda antes de iniciarem o estudo da Física: é veiculada através da disciplina de Biologia.

⁽⁴⁾ Há autores que defendem que não deve utilizar este termo que sugere haver um inferno das energias e uma evolução no sentido do «mau».

repara que a água do aquário, por sinal muito suja, mudou de nível. Ela sabe que o nível habitual é de 6 cm e que a altura de cada cubo é de meio centímetro. Utilizando a seguinte expressão

$$\begin{aligned} & \text{Número de cubos visíveis} + \\ + & \frac{\text{massa da caixa} - 600 \text{ g}}{100 \text{ g}} + \frac{\text{altura da água} - 6 \text{ cm}}{0,5 \text{ cm}} \end{aligned}$$

obtem de novo 28. A situação vai-se complicando mas a mãe consegue sempre, fazendo alguns cálculos, obter o número 28. No limite já não há cubos à vista.

Com a energia passa-se algo de semelhante. É como se os cubos escondidos representassem as várias formas de energia. Fazendo uma série de cálculos somos capazes de obter sempre o mesmo número. A diferença está em que no caso dos cubos sabemos o que é um cubo enquanto que no caso da energia dispomos só da quantidade, mas não sabemos de facto se alguma «coisa» estará por detrás dessa quantidade.

Ogborn (1986) critica quem, como Feynman, faz da energia um conceito puramente abstracto, afirmando que essa posição corresponde a uma abordagem à séc. XIX⁽⁵⁾. «A energia tem uma propriedade muito real: é a origem da gravidade» (Ogborn, 1988)⁽⁶⁾.

Retomando a conceptualização da energia centrada nas ideias de conservação e «degradação», podemos ainda considerar várias perspectivas metodológicas na abordagem do princípio da conservação:

- perspectiva indutivista;
- perspectiva instrumentalista;
- perspectiva centrada na reflexão histórica e epistemológica.

Em vez de se escolher entre a perspectiva indutivista que ensina a lei de conservação da energia como um resultado experimental, e a perspectiva instrumentalista que a vê como uma convenção ou definição, o aluno deveria seguir as fascinantes discussões entre os grandes cientistas (Elkana, 1970).

A história do princípio de conservação da energia é muito rica: este princípio foi estabelecido «simultaneamente» por mais de uma dezena de cientistas, no séc. XIX, seguindo caminhos muito diferentes. Há textos disponíveis (haveria que os traduzir e adaptar) que seriam um bom ponto de partida para promover o debate na sala de aula⁽⁷⁾.

Do ponto de vista epistemológico a energia desempenha um papel muito importante, pois vai de encontro à nossa reconhecida procura de quantidades invariantes, fundamentais em Física (Sextl, 1981) e de inegável importância em Psicologia do Desenvolvimento, nomeadamente pelo célebre conceito piagetiano de Conservação⁽⁸⁾. Sextl (1981) propõe que se comece com exemplos muito simples, por exemplo a queda livre, e se chame a atenção para o facto admirável de por detrás das variações de velocidade e de altura haver uma quantidade que permanece constante. Deve-se passar, depois, para situações mais complexas e valorizar o aspecto de haver sempre uma quantidade que se mantém constante, para além das múltiplas transformações que observamos.

⁽⁵⁾ Talvez não tenha muita razão em dizer que é à séc. XIX, pois embora tenha havido abordagens muito diferentes deste conceito nesta época, havia, por influência da corrente filosófica de então («filosofia da natureza») a convicção de que havia algo que permanecia constante no meio de tanta diversidade. Esse algo não era certamente para esses cientistas, só um número.

⁽⁶⁾ Duit, 1981, faz referência ao facto da maioria dos estudantes preferirem os conceitos de energia estabelecidos por Mayer, Joule e Helmholtz, que proporcionam algo de mais profundo do que uma pura quantidade.

⁽⁷⁾ Existem alguns textos de Mayer, Joule, Lazare Carnot, Sadi Carnot e de outros traduzidos pelo grupo: «Epistemologia da Física para a Formação de Professores» — programas de pesquisa. Universidade de São Paulo (Amélia Império Hamburger, 1988).

⁽⁸⁾ As várias conservações cronologicamente consecutivas são: quantidade de matéria, peso e volume. Sendo energia o limite epistemológico para que tende o conceito de conservação. Segundo esta óptica o 1.º princípio da termodinâmica seria uma mera tautologia.

Uma abordagem epistemológica, centrada na argumentação, ajudará à configuração de um mundo, por parte do professor e dos alunos, em que a energia que se conserva e se «degrada» poderá proporcionar a compreensão de muitos dos fenômenos que ocorrem na natureza e dos problemas que se põem à nossa sociedade.

Para além disto, o princípio da conservação da energia representa também um instrumento de pensamento, aspecto importante na educação científica. Como diz Sexl (1981), é a constância da energia total que dá tanta importância a este conceito físico e não uma maior ou menor ligação à experiência. A energia aqui é também um conceito teórico que escapa a qualquer tentativa de operacionalização.

4. Conclusão

Há dois aspectos de grande importância no que diz respeito ao ensino/aprendizagem da energia: o social e o da conceptualização⁽⁹⁾.

Na nossa abordagem configuracionista os dois aspectos devem estar intimamente ligados. A Física tem de ser capaz de ir ao encontro da experiência das pessoas e de mudar a sua maneira de ver o mundo. Já o vai fazendo através de bons trabalhos de divulgação. Ao nível da educação em Física há que abordar de uma forma simples, mas séria, sistemas mais complexos que tenham mais a ver com o mundo em que vivemos e não centrarmos só a nossa atenção em situações que, de tão simplificadas, já nada têm a ver connosco.

Se queremos proporcionar aos nossos alunos uma aprendizagem significativa e relevante da Física, teremos, então, de conseguir formas de ligar a Física ao «mundo» (físico e social) e à vida. No que diz respeito à energia não podemos ignorar, por exemplo, o caso dos sistemas abertos e longe do equilíbrio — como diz Ogborn (1989)⁽¹⁰⁾ falar de energia também é falar de flores e de pessoas.

A conceptualização da energia passa, necessariamente, pelo princípio da conservação. Para dar «sentido» a este princípio tem de se intro-

duzir o conceito de «degradação» da energia, já que o princípio da conservação é um princípio contra-intuitivo.

O conceito de degradação pode ser introduzido de uma forma simples, com pequenos exemplos e recorrendo a analogias simples (como por exemplo: quando utilizamos a água no banho, esta deixa de ser utilizável mas não desaparece enquanto água, Schlichting, 1989).

Neste contexto, tem toda a razão de ser a introdução de alguns problemas da nossa sociedade como a preocupação por uma política energética racional, que passará também pela diminuição da quantidade de energia degradada. Para isso o professor deverá apresentar algumas situações que levem os alunos a sugerir formas de diminuir a quantidade de energia degradada.

O professor deve centrar os estudos energéticos em situações que tenham a ver com os interesses do dia a dia dos alunos (exemplos: estudo do aquecimento da sua própria casa, estudos de dieta e emagrecimento, etc.).

Mas, para além dos aspectos anteriormente salientados, uma abordagem configuracionista do conceito de energia pressupõe que este conceito seja abordado não numa perspectiva compartimentada, mas sim integradora. Assim, os professores de disciplinas como Física, Química, Biologia ou Ciências do Ambiente, devem cooperar no sentido de, em conjunto, encontrarem estratégias de abordagem compatíveis com a verdadeira «vocação» interdisciplinar do conceito de energia.

⁽⁹⁾ Há um outro aspecto que também merece atenção: o tecnológico.

⁽¹⁰⁾ Comunicação apresentada na Hungria em Setembro de 1989 na «International Conference on Energy Alternatives, Risk Education».

BIBLIOGRAFIA

- DRIVER, R. e WARRINGTON, L. — Students use of the principle of energy conservation in problem situations; *Physics Education*, 20 (1985).
- DRIVER, R. — Teaching energy in schools; towards an analysis of curriculum approaches; Pro-

- ceedings of an invited conference: teaching about energy within the secondary school (1986).
- DUIT, R. — Understanding energy as a conserved quantity—Remarks on the article by Sexl; *Eur. J. Sci. Educ.*, vol. 3, n.º (1981).
- DUIT, R. — In search of an energy concept; Proceedings of an invited conference; teaching about energy within secondary science curriculum (1986).
- ELKANA, Y. — Science, Philosophy of Science and Science Teaching; *Educ. Phil. and Theory*, vol. 2 (1970).
- GIL, F. — Provas; *Estudos Gerais*, Série Universitária (1986).
- KUHN, T. S. — The Essential Tension; Universidade de Chicago (1977).
- OGBORN, J. — Energy and fuel—the meaning of «the go of things»; Proceedings of an invited conference: teaching about energy within the secondary science curriculum (1986).
- SANTOS, B. B. — Um discurso sobre as Ciências; *Edições Afrontamento* (1987).
- SEXL, R. U. — Some observations concerning the teaching of the energy concept; *Eur. J. Sci. Educ.*; vol. 3, n.º 3 (1981).
- SOLOMON, J. — Learning about energy: how pupils think in two domains; *Eur. J. Sci. Educ.*; vol. 5, n.º 1 (1983).
- SOLOMON, J. — Teaching the conservation of energy; *Physics Education*, 20 (1985).
- SCHILICHTING — Saving energy as a news energy resource; Comunicação apresentada na «International Conference on Energy Alternatives, Risk Education; Balaton, Hungria (1989).



OLIMPIADAS SPF 1990

PROVAS NACIONAIS

No passado dia 27 de Setembro decorreu na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, durante a 7.ª Conferência Nacional de Física, a Etapa Nacional das Olimpíadas de Física 90.

Foram vencedoras nas diferentes provas as seguintes equipas:

PROVA TEÓRICO-EXPERIMENTAL

- 9.º ano—Sara Alexandra Azinheira Vaz
Vitor Manuel Santos Cardoso
Oscar João Dias
Escola Secundária Eça de Queiroz—Póvoa de Varzim

- 11.º ano—Ana Catarina Almeida Sampaio
Maria José Giesteira Pereira
Paulo Jorge dos Santos Rodrigues
Escola Secundária Eça de Queiroz—Póvoa de Varzim

PROVAS DE CRIATIVIDADE

Dispositivo Experimental

O júri deliberou atribuir o prémio ex-aequo às seguintes equipas:

- Alice Paula Alves Urbano
Mafalda Susana Sousa
Vitor Jorge Rodrigues Nobre
Escola Secundária de Raul Proença—Caldas da Rainha
- Vitor Manuel de Azevedo Pimentel
João Paulo Duarte Santos
Luís Miguel Araújo Rosas
Externato de N. Sr.ª do Perpétuo Socorro—Porto

Programa de Computador (a indicar em próxima Gazeta)

Outras (painel, jogos, trabalho áudio-visual...)

- Joana Silva
Pedro Vieira
Ana Rita Marto
Escola Secundária Maria Lamas—Torres Novas

TEXTOS DAS PROVAS

PROVA TEÓRICO-EXPERIMENTAL — 9.º ano

(Duração 1 h)

ACTIVIDADE 1

Todos os automóveis têm um sistema mecânico (macaco) que é utilizado quando é necessário mudar uma roda.

Verifiquem se sobre a vossa mesa de trabalho se encontra o seguinte material:

— «Macaco» de um carro e respectiva manivela, Fita métrica, Folhas de papel, Régua.

1. Rodem a manivela e observem o comportamento do «macaco».

Façam um esquema do «macaco» e utilizem-no para representar vectorialmente e caracterizar uma força que actuando num determinado instante na manivela possa fazê-la rodar.

2. Proponham uma explicação para o funcionamento do «macaco».

3. Um homem «dá» 10 voltas completas à manivela. Suponham que a intensidade da força que vai aplicando é sempre 20 N.

Calculem o trabalho realizado pelo homem.

4. A maior parte das máquinas simples são utilizadas porque permitem multiplicar a força que nela se exerce.

Planifiquem e descrevam os procedimentos necessários, usando o material de que dispõem para determinar o factor multiplicativo desta máquina simples, pressupondo que há conservação de energia.

ACTIVIDADE 2

Verifiquem se sobre a vossa mesa de trabalho se encontra o seguinte material:

- Bobina de 60 espiras (resistência $r = 5\Omega$) montada em suporte;
- Prego suspenso numa mola elástica;
- Reóstato (resistência variável de 0Ω a 20Ω);
- Fios de ligação;
- Interruptor;
- Fonte de alimentação;
- Material diverso (palito, palhinhas, íman, clips e prego).

Durante toda a actividade utiliza uma diferença de potencial de 10 V.

1. Liguem a bobina à fonte de alimentação, introduzindo nesse circuito o interruptor.

2. Coloquem o conjunto prego + mola quer no interior quer na vizinhança exterior da bobina e observem os efeitos produzidos na mola quando o circuito está aberto e quando está fechado.

2.1. Registem as observações realizadas.

2.2. Justifiquem os efeitos observados.

3. Voltem a colocar o conjunto prego + mola quer no interior quer na vizinhança exterior da bobina e observem o comportamento do prego em relação aos diferentes materiais, quando o circuito está aberto e quando está fechado.

3.1. Registem as observações realizadas.

3.2. Justifiquem os diferentes comportamentos manifestados pelo prego.

4. Introduzam no circuito anterior, em série com a bobina, o reóstato.

Coloquem o conjunto mola + prego na zona onde observaram os maiores alongamentos da mola.

4.1. Determinem, nestas condições, o valor médio da intensidade da corrente correspondente aos alongamentos máximo e mínimo da mola.

4.2. Apresentem os cálculos efectuados indicando o vosso procedimento.

5. Expliquem como poderiam utilizar o conjunto bobina + mola + prego como aparelho de medida eléctrica.

PROVA TEÓRICO-EXPERIMENTAL — 11.º ano

(Duração 1 h 30 min.)

ACTIVIDADE 1

Todos certamente já andaram de bicicleta e puderam observar a sua mecânica de transmissão de movimentos.

Nesta experiência a bicicleta deverá permanecer no suporte, simulando o pedalar com a mão.

Verifiquem se têm à vossa disposição o seguinte material:

- Bicicleta no suporte;
- Dinamómetro de 10 N;
- Mola elástica ($K = 50 \text{ Nm}^{-1}$ para alongamentos entre 15 cm e 60 cm);
- Fita métrica;
- Régua;
- Tesoura.

1. Quando se anda de bicicleta as forças exercidas no pedal podem ser realizadas em diferentes direcções.

Na Fig. 1 está representado o esquema do sistema de transmissão do movimento desde

o pedal até à roda traseira, através das rodas dentadas de raios R_2 e R_3 e da correia de transmissão.

Representem vectorialmente, no ponto P da Fig. 1, a força eficaz para a rotação do eixo do pedal. Justifiquem a representação efectuada.

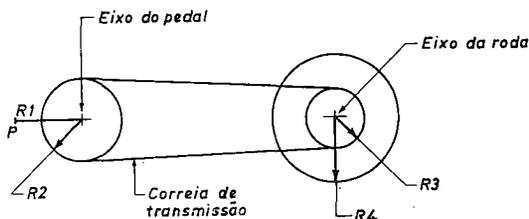


Fig. 1 — Esquema do sistema de transmissão do movimento.

2. Para a bicicleta se deslocar é necessário a existência de uma força (\vec{F}_2) na roda traseira. Esta força \vec{F}_2 aparece quando se exercem forças que fazem rodar o pedal (\vec{F}_1).

Utilizem o dinamómetro e a mola elástica para medir simultaneamente:

- a força eficaz (F_1) exercida no pedal, e
- a força necessária para equilibrar a que aparece na roda traseira (F_2).

(Sugestão — As medidas devem ser efectuadas quando o pedal e a roda traseira estão paradas).

2.1. Determinem o valor médio da vantagem mecânica do sistema de transmissão da vossa bicicleta.

2.2. Descrevam, justificando o processo utilizado para fazer as medições necessárias à determinação do valor médio da vantagem mecânica.

2.3. Estimem um valor para os erros cometidos.

3. Estabeleçam uma relação analítica entre a velocidade linear (v_1) em P (Fig. 1) e a velocidade linear de um ponto da periferia da roda traseira (v_2).

Indiquem, justificando o modo como chegaram a essa relação.

4. Expliquem como o pedalar faz a bicicleta avançar.

ACTIVIDADE 2

Pretende-se transformar a escala do voltímetro numa escala de velocidades de modo a que o voltímetro possa ser utilizado como velocímetro.

Nesta experiência a bicicleta deverá permanecer no suporte, simulando o pedalar com a mão.

Verifiquem se têm à nossa disposição o seguinte material:

— Bicicleta com dínamo montado na roda traseira, Voltímetro, Fios de ligação, Fita métrica, Cronómetro, Etiquetas, Tesoura, Papel milimétrico.

1. Com o material de que dispõem liguem o voltímetro aos terminais A e B do dínamo da bicicleta.

Ao fazerem as ligações atendam ao facto de que a corrente produzida pelo dínamo é uma corrente alternada.

2. Planifiquem e descrevam os procedimentos necessários para transformar a escala do voltímetro numa escala de velocidades expressa em Km h^{-1} .

3. Realizem as experiências planeadas registando os valores obtidos e apresentem os cálculos efectuados.

4. Com os valores obtidos construam um gráfico da d.d.p. aos terminais do dínamo em função da velocidade da bicicleta.

5. Atendendo aos resultados obtidos critiquem os métodos utilizados.

Proponham alterações à planificação feita anteriormente de modo a obter melhores resultados.

Justifiquem as propostas de alteração.

Delegação Regional de Lisboa

7.ª CONFERÊNCIA NACIONAL DE FÍSICA FÍSICA - 90

Palavras de Introdução (*)

Tal como acontece na maioria dos países europeus, também em Portugal se realizam periodicamente conferências nacionais de Física de âmbito geral, sem prejuízo dos encontros sectoriais de âmbito internacional que têm lugar. A própria Sociedade Europeia de Física, que organiza e patrocina diversos encontros de carácter especializado também leva a efeito regularmente a sua conferência geral, subtitulada «Tendências na Física».

A Conferência Nacional de Física, organizada pela Sociedade Portuguesa de Física, constitui já um acontecimento que de dois em dois anos é esperado, e ao qual os físicos e professores de Física portugueses acorrem com regularidade. Não obstante o tradicional individualismo nacional, existe a consciência de que é importante haver um fórum em que as pessoas se conheçam e possam confrontar as suas posições e opiniões para que se encarem com êxito os problemas que se põem àqueles que, no exercício da sua profissão, lidam com a Física.

Iniciativas como aquela que a Gazeta de Física tomou ao publicar o conjunto de relatórios de síntese sobre a situação de vários campos da Física em Portugal, são de louvar pois tais relatórios constituem uma base de conhecimento de grande valor. A análise desses relatos com o objectivo de retirar as ilações apropriadas e orientações para o futuro, será feita através de um debate previsto na FÍSICA 90.

São várias as preocupações que ressaltam quando se observa o panorama da Física no nosso país.

Em primeiro lugar a quebra de investimento que se tem constatado nas últimas duas décadas no que respeita a equipamentos (não informáticos) nos grupos de investigação experimental tem aumentado a dependência em relação aos laboratórios estrangeiros. O Programa Ciência da Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia justifica algumas expectativas de inversão desta tendência.

Noutro lado continua preocupante a baixa procura das licenciaturas em Física por parte dos jovens que terminam o secundário e consequentemente a qualidade média dos candidatos é, em geral, baixa. O caso de algumas licenciaturas em Astronomia, Engenharia Física ou Física Tecnológica de certas Escolas constituem a excepção que interessa analisar. De igual modo se verifica um problema de falta de qualidade nos candidatos às licenciaturas de formação de professores de Física dos ensinos secundário e básico.

Além da formação inicial, a formação contínua dos professores de Física também tem de ser alvo de atenção particular, numa altura em que se implementa uma profunda reforma curricular. O êxito de tal reforma não tem que ver só com a formação de professores, mas também com os conteúdos programáticos das disciplinas, os textos de apoio e o material didáctico para a realização e demonstração de experiências.

Julgo que a SPF tem uma palavra a dizer em todas estas questões e tem credibilidade para essa intervenção.

A entrada em vigor do mercado único europeu em 1993 constituirá um teste também à situação da Física em Portugal por comparação com o que se passa nos restantes países da comunidade europeia.

A resolução dos problemas que hoje se põem quando se pretende melhorar a qualidade da Física que se pratica em Portugal exige um esforço muito grande e muito coordenado no qual a FÍSICA 90 se integra com um contributo importante.

(*) Por lapso este texto não foi incluído no livro de resumos da conferência.

À Comissão organizadora da conferência desejo que venha a sentir a recompensa dos trabalhos que teve e das iniciativas estimulantes e originais que introduziu no programa.

Manuel Fernandes Thomaz
Presidente da SPF

A Conferência

A «7.ª Conferência Nacional de Física» — Física 90 contou com 905 participantes assim distribuídos: 553 do ensino secundário e 352 do ensino superior e investigação. Na Fig. 1 mostra-se a origem institucional dos 352 participantes, não sendo possível dar distribuição geográfica para o ensino secundário por insu-

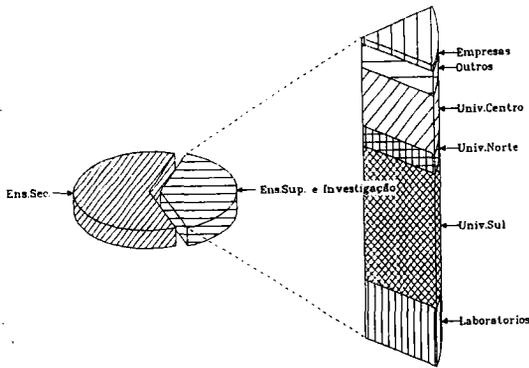


Fig. 1 — Origem Institucional dos participantes da Física 90.

ficiência de dados. Na Fig. 2 faz-se uma comparação do n.º de participantes e do n.º de comunicações apresentadas, em todas as Con-

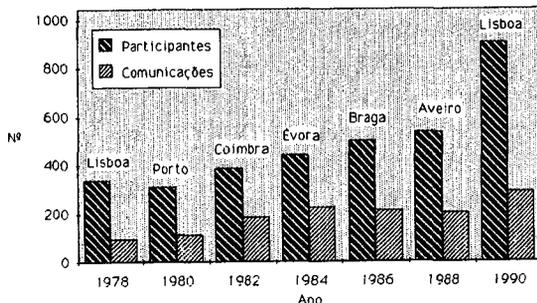


Fig. 2 — Conferências Nacionais de Física.

ferências Nacionais de Física. Como se depreende desta figura a participação na Física 90 ultrapassou o que seria de esperar de acordo com a evolução de 1978 a 1988.

Esta Conferência teve lugar nas Instalações do Museu de Ciência da Universidade de Lisboa e do Museu Nacional de História Natural. Contou com o apoio das entidades a seguir discriminadas:

ENTIDADES QUE APOIARAM A ORGANIZAÇÃO DA FÍSICA 90

Museu de Ciência da Universidade de Lisboa
Museu Nacional de História Natural

JNICT — Junta Nac. de Inv. Científica e Tecnológica
INIC — Instituto Nacional de Investigação Científica
Secretaria de Estado da Reforma Educativa
Fundação Calouste Gulbenkian
Fundação Oriente
Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento
Instituto Britânico/British Council

Departamento de Física do ICEN-LNETI
Departamento de Energia e Eng. Nucleares do ICEN-LNETI

Departamento de Física da FCUL
Departamento de Física do IST
Departamento de Física da Universidade de Évora
Projecto Eureka / Universidade de Coimbra
Universidade da Beira Interior
Faculdade de Ciências da Univ. de Lisboa

Departamento de Física
Departamento de Química
Biblioteca Central
Departamento de Biologia Vegetal
Departamento de Educação

Faculdade de Ciências e Tecnologia / UNL
Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica
UNINOVA — Instituto de Desenv. de Novas Tecnologias

PLATANO EDITORA / Didáctica Editora
Imaginaudio — Emp. de espectáculos som e vídeo, S.A.
Tecnodidáctica
GICOL — Gabinete de Incent. e Congressos de Lisboa
Câmara Municipal de Lisboa
MIMODA

Banco Totta e Açores
Nestlé S.A.
Triunfo S.A.

Vierra
TLP — Telefones de Lisboa e Porto
TAP — Transportes Aéreos Portugueses



Banco Pinto e Sotto Mayor
 Montepio Geral
 FOC
 Criolab
 Biodinâmica

**LISTA DE UNIVERSIDADES E LABORATÓRIOS
 DE INVESTIGAÇÃO PRESENTES NA EXPOSIÇÃO
 DA FÍSICA 90**

Sociedade Portuguesa de Física
 Instituto Nac. de Meteorologia e Geofísica (INMG)
 Departamento de Física do ICEN-LNETI
 Departamento de Energia e Eng. Nucleares do ICEN-
 -LNETI
 Departamento de Física (Faculdade de Ciências de
 Lisboa)
 IST / Departamento de Física
 Projecto Eureka (Universidade de Coimbra)
 Universidade de Évora
 Departamento de Física (Universidade de Aveiro)
 Departamento de Física (Universidade de Coimbra)

**LISTA DE EMPRESAS DE MATERIAL CIENTIFICO-
 -DIDÁCTICO E EDITORAS PRESENTES NA EXPO-
 SIÇÃO DA FÍSICA 90**

IBM
 FOC ESCOLAR
 KONIK
 TECNODIDÁCTICA
 M.T. BRANDÃO
 CASSEL
 TÊXTO EDITORA
 «O LIVRO»
 DIDÁCTICA EDITORA
 PLÁTANO
 ESCOLAR EDITORA
 GRADIVA

A comissão organizadora convidou 10 Conferencistas estrangeiros e financiou a participação de 3 físicos dos países de língua oficial Portuguesa (PALOP's): 1 moçambicano, 1 angolano e 1 caboverdiano.

O programa científico da Conferência consistiu em 7 sessões plenárias, 12 palestras convidadas (3 diárias em paralelo, sendo 1 relacionada com problemas de ensino), 18 comunicações orais de assuntos específicos com a duração de 30 min cada, feitas por jovens

investigadores recém-doutorados ou em vias de conclusão do doutoramento, 21 oficinas pedagógicas, 21 estações laboratoriais, e duma exposição permanente de cerca de 290 comunicações apresentadas na forma de «posters» e organizadas por temas:

<i>Tema</i>		
I	Astrofísica e Astronomia	3
II	Física Nuclear	8
III	Física de Partículas	7
IV	Fusão Nuclear e Plasmas	14
V	Física Atómica	9
VI	Física Molecular	13
VII	Física da Matéria Condensada	34
VIII	Ciência de Materiais	31
IX	Óptica	17
X	Energia	2
XI	Física Teórica	9
XII	Física Médica e Biofísica	9
XIII	Geofísica Interna	24
XIV	Meteorologia	21
XV	Oceanografia	9
XVI	Instrumentação	44
XVII	História das Ideias da Física	2
XVIII	Ensino da Física	16

Ainda durante a Conferência estiveram patentes diversas exposições sobre: a) a actividade da SPF desde 1978; b) os programas de investigação em curso em diversas instituições portuguesas; c) livros e material científico e didáctico.

Um número limitado de participantes teve oportunidade de visitar uma das três instituições: LNEC, INMG e Museu da Água.

Também durante a Conferência decorreram as Olimpíadas Nacionais de Física.

Constituíram-se 3 júris que analisaram as comunicações orais e as comunicações em «posters» apresentadas por jovens investigadores.

Os jovens investigadores premiados pela apresentação de comunicações orais foram:

- *M.^a Isabel Lopes* — Dep. de Física da Univ. Coimbra.
- *Luis Alves* — Centro de Electrodinâmica da Univ. Técnica de Lisboa, IST.

e os premiados pela apresentação de comunicações em «posters» foram:

- *Fátima Raposo*—Secção da Física Aplicada, UNL.
- *R. Aguiar*—Departamento de Energias Renováveis, LNETI.

Os prémios consistem no financiamento em 1991, de uma viagem a uma Conferência na Europa da especialidade do candidato, com apresentação de trabalho científico.

Mereceram «menção Honrosa» pela apresentação de comunicações orais os seguintes jovens investigadores:

- *Rui Coelho da Silva* — Dep. de Física, ICEN/LNETI.
- *Ana Maria Henriques* — LIP/SPACAL.
- *Maria do Carmo Lopes* — Dep. de Energia e Engenharia Nucleares, ICEN/LNETI.

À semelhança das Conferências anteriores também se mandou cunhar uma medalha comemorativa da *Física 90* da autoria do escultor José João de Brito e gravada pela Medaglis (numeração à Francesa de 1/300 a 300/300). Os motivos da medalha foram usados por J. António Marques da Costa na decoração da capa do Livro de Resumos da *Física 90* (*).

No último dia da *Física 90*, 129 participantes responderam a um inquérito onde se pretendia avaliar a opinião dos participantes sobre a Conferência nos seus múltiplos aspectos: programas científico e social, instalações, ambiente, secretariado. A distribuição das respostas ao inquérito por grupo profissional é apresentada na Fig. 3, a avaliação por «itens»

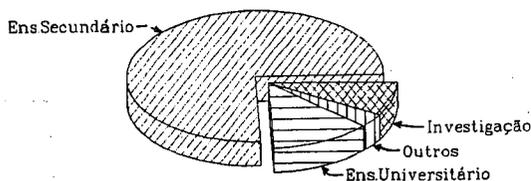


Fig. 3 — Distribuição das respostas ao inquérito por grupo profissional.

na Fig. 4a e a distribuição das médias das respostas individuais na Fig. 4b.

Conforme se observa na Fig. 3 há uma preponderância de respostas ao inquérito por

parte dos professores do ensino secundário. Uma análise mais detalhada das respectivas respostas e comentários laterais levam à necessidade de se organizar num futuro próximo um amplo debate sobre a polémica questão: *deverão ou não as Conferências Nacionais de Física reunir todos os profissionais de Física — Ensino (secundário e superior) e Investigação?*

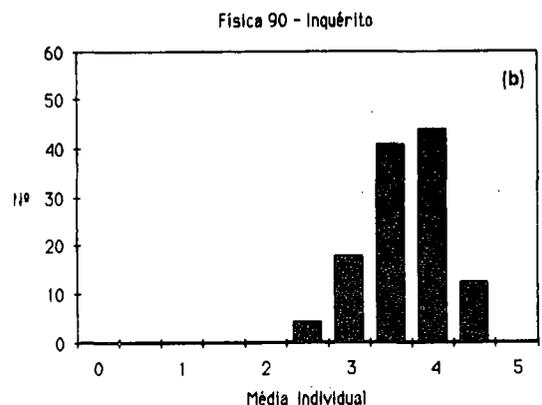
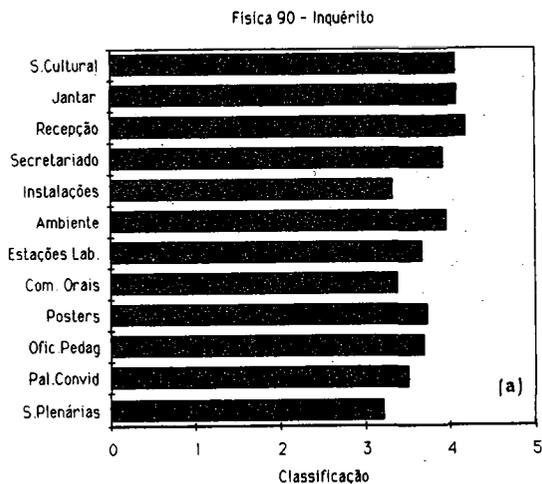


Fig. 4 — a) Resultados do Inquérito (base 0-5);
b) Distribuição das Médias das respostas Individuais.

A direcção da Delegação Regional de Lisboa, aproveitando esta oportunidade, apela a todos os físicos contribuições nesta matéria que possibilitem a organização dum debate vivo e elucidativo.

(*) Os físicos ainda interessados quer na medalha quer na cópia do livro de Resumos poderão contactar directamente o secretariado da Delegação Regional de Lisboa.

Delegação Regional de Coimbra

Acções para Professores e Alunos dos últimos anos do Ensino Secundário

A Delegação de Coimbra continua a promover a realização de Acções em Escolas do Ensino Secundário, destinadas a Professores e Alunos dos anos terminais. Foi solicitada a colaboração nesta iniciativa aos Professores dos Departamentos de Física das Universidades de Coimbra e Aveiro, tendo estes correspondido em número bastante significativo, o que muito nos apraz registar. A todos eles apresentamos os nossos agradecimentos.

Para o presente ano-lectivo é a seguinte a lista das Acções promovidas por esta Delegação:

Campos — Prof. Dr. Luís Alte da Veiga.

Computadores no laboratório: modernas tendências e novas oportunidades — Prof. Dr. Francisco Cardoso.

Condutores, Semicondutores e Supercondutores (até 15 de Fevereiro de 1991) — Prof.^a Dr.^a Maria José B. Almeida.

Física divertida (a partir de 15 de Março de 1991) — Prof. Dr. Carlos Fiolhais.

Física do sólido versus materiais do futuro — Prof.^a Dr.^a Lourdes Andrade.

Interesse da perspectiva estatística nos ensinamentos básico e secundário — Prof. Dr. Manuel Fernandes Thomas.

Lasers e Holografia — Prof. Dr. João de Lemos Pinto.

Mecânica Quântica — o que é? — Prof.^a Dr.^a Maria Helena Caldeira.

Natureza da Luz — Prof.^a Dr.^a Maria Helena Caldeira.

O núcleo atómico: estabilidade e desintegração — Prof. Dr. Adriano Pedrosa de Lima.

O universo primitivo (até 31 de Janeiro de 1991) — Prof. Dr. Manuela Fiolhais.

Olhos e Óculos — Mecanismo Físico da Visão (até 15 de Fevereiro de 1991) — Prof.^a Dr.^a Maria José B. Almeida.

Porque é que a Lua não cai? — Prof.^a Dr.^a Lourdes Andrade.

Princípios de conservação — Prof. Dr. Luís Alte da Veiga.

Relatividade Restrita — Prof.^a Dr.^a Maria Estela Pereira.

Semicondutores e Supercondutores — Prof.^a Dr.^a Maria Helena Nazaré.

Simetrias e leis de conservação na Física Clássica — Prof. Dr. João da Providência.

Teoria da Relatividade para os mais novos — Prof.^a Dr.^a Maria Helena Caldeira.

Delegação Regional do Porto

Acções realizadas em Escolas do Ensino Secundário

Supercondutividade pelo Prof. Dr. Ferreira da Silva, na Escola Secundária de Paredes, em 30/05/90.

Mistérios Quânticos pelo Prof. Dr. João Lopes dos Santos, na Escola Secundária de Águas Santas, em 15/11/90.

Introdução à Electrónica Digital pelo Prof. Dr. Manuel de Barros, na Escola Secundária de Vila do Conde em 29/11/90.

Electrónica, uma abordagem elementar pelo Prof. Dr. Manuel de Barros, na Escola Secundária de Vila do Conde em 29/11/90.

Oferta de volumes da Portugaliae Physica

Existem volumes disponíveis da Portugaliae Physica que serão oferecidos a quem os solicitar no Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Contactar: José Manuel Moreira.



Um pouco de história ...

Gazeta de Física

Prosseguindo com a divulgação dos sumários dos exemplares da Gazeta de Física publicados, iniciada no número anterior (Gaz. Fís., 13, fasc. 3, págs. 150-152, 1990), publicamos neste número os sumários dos artigos referentes ao volume II.

Volume II (1949-1953)

Fasc., 1, Outubro de 1949

Tribuna da Física

A propósito da crítica de um livro por A. Gibert

Pontos de Exames

Exames do ensino médio

Exames universitários

Electrónica

O Betatrão por *J. Xavier de Brito*

Física Nuclear

O que são e como funcionam as pilhas atómicas por
Rómulo de Carvalho

Secção Livre

Radioactividade e calor terrestre por *C. Torre da Assunção*

Química

Fotografia a cores por *Mariela da Silveira*

Pontos de exames do ensino médio

Pontos de exames universitários

Informações Várias

Fasc. 2, Janeiro de 1950

Tribuna da Física

A obra científica de Egas Moniz — Prémio Nobel de Fisiologia e Medicina 1949 pelo prof. *Almeida Lima*

Pontos de Exames

Exames universitários

Divulgação e vulgarização

Microradiografias por reflexão e por transmissão por
Lídia Salgueiro

Física Nuclear

Energia média dos raios beta emitidos por alguns isótopos radioactivos por *Marinelli, Brinckerhoff e Hine* (Resumo por *Armando Gibert*)

A Física na indústria

Quelques applications des ultrasons por *E. G. Richardson*

Secção Livre

Os problemas da sismologia por *M. T. Antunes*

Química

Uma nova família radioactiva: a série de neptúnio por *Jean Francis*

Informações Várias

Fasc. 3, Abril de 1950

Tribuna da Física

Em defesa da profissão de físico por *Armando Gibert*

Pontos de Exames

Exames universitários

Problemas de investigação

Lições da guerra para a ciência

Biofísica

Problemas limítrofes da Biologia

A Física na indústria

A importância do físico na indústria dos têxteis

Secção Livre

A evolução da Óptica

Importância y porvenir de los estudios sobre la estructura de los cristales por *Júlio Garrido*

Química

Problemas dos exames universitários

Informações Várias

Fasc. 4, Outubro de 1950

Professor A. C. Soares

O Centro de estudos de Física da F. C. L. por
A. Gibert

Descrição da instalação utilizada no estudo das satélites da riscas $L\alpha$ do ouro por *J. Sarmiento*

A memória do Prof. A. C. Soares por *C. Braga*

O Laboratório de Física da F. C. L. por *M. Valadares*

Presença de Descartes por *R. de Carvalho*

Exames do ensino médio (Física)

Exames universitários (Física)

Exames do ensino médio (Química)

Informações várias

Fasc. 5, Janeiro de 1951

Tribuna da Física

O urânio em Portugal e no Mundo, por *C. Torre da Assunção*

Questões de Ensino

Res et Verba, por *Vieira de Almeida*

Pontos de Exames

Exames de ensino médio

Exames universitários

Divulgação e vulgarização

La mesure de rayons X par les méthodes d'ionisation, pelo *Dr. H. Tellez — Plasencia*

Electrónica

Instrumentos electrofónicos, pelo *Dr. E. G. Richardson*

Química

Isótopos em bioquímica, por *Kurt Jacobssohn*

Pontos de exame do ensino médio

Problemas de exames universitários

Informações Várias

Fasc. 6, Abril de 1951

Professor Blás Cabrera

Blás Cabrera, por *C. Kurylenko*Biografia de Blás Cabrera, por *M. Martinez Risco*Groupe $(\text{SiO}_4)^{-4}$ des silicates et spectres d'émission des rayons X, por *C. Kurylenko*Las imperfecciones en los Cristales, por *N. Cabrera*Nuevo método para determinar con precision masas atómicas, aplicable a sustancias puras cristalizadas, por *T. Batuecas*

Exames do ensino médio (Física)

Exames universitários (Física)

Exames de ensino médio (Química)

Exames universitários (Química)

Informações várias

Fasc. 7, Janeiro de 1952

Questões de Ensino

A escolha de uma profissão, por *A. Gibert*Questões liceais, por *Joaquim S. M. G. Calado*

Pontos de Exames

Exames de ensino médio

Exames universitários

Física Nuclear

Comparação entre instrumentos para medições radioactivas de contadores de Geiger e câmaras de ionização; tradução de *Líbano Monteiro*

Secção Livre

Bases físicas da electrocardiografia, por *J. Araújo Moreira*

Química

Pontos de exames de ensino médio

Informações Várias

Fasc. 8, Abril de 1952

Questões de Ensino

Considerações sobre o Ensino Elementar de Física, por *Rómulo de Carvalho*Questões liceais, por *Joaquim S. M. G. Calado*

Pontos de Exame

Exames do ensino médio

Exames do ensino elementar

Secção Livre

A interface metal-líquido e os potenciais dos eléctrodos em Electroquímica, por *António Manuel Baptista*

O que é uma partícula elementar?

Tradução de *Lídia Salgueiro*

Química

Exames de ensino médio

Pontos de exames universitários

Informações Várias

Crítica de livros, por *A. Gibert***Fasc. 9, Outubro de 1952**Uma hipótese sobre a estrutura do núcleo em camadas, por *T. Teillac*

Exames do ensino médio (Física)

Exames universitários

A bomba de hidrogénio, por *Pastor Fernandes*

Informações Várias

Fasc. 10, Abril de 1953Reacções e reactores nucleares, por *Carlos de Azevedo Coutinho Braga*

Exames do ensino médio (Física)

No primeiro centenário de Lorentz, por *Rómulo Carvalho*

Informações Várias

GAZETA DE FÍSICA**Publicidade**

Tiragem actual — 2200

Periodicidade — trimestral

Leitores: professores e estudantes de Física (ensinos secundário e superior).
investigadores, técnicos industriais**Preços por fascículo*:**

Fracção de página	1/4	1/2	1/1
Preto e branco	6	10	20
Com cor adicional	7	12	24

* em contos; these costs also apply to foreign advertisers (1 conto = 1000 Esc.)

Assinatura anual: 20 % de desconto**Contactos telefónicos:** SPF, Lisboa 773251 (Maria José Couceiro)
Porto 310290-21653 (Prof. J. M. Moreira)

INDICE DO VOLUME 13

Vol. 13—Fasc. 1 (Janeiro a Março 1990)

Editorial	1
Panorama de Investigação em Física da Matéria Condensada em Portugal (Manuel Amaral Fortes)	3
Física Nuclear em Portugal (José Nuno Dias Urbano)	10
A Física das Altas Energias em Portugal (Jorge Crispim Romão)	16
Física Atómica e Molecular em Portugal—1989 (Fernando Costa Parente)	22
Óptica em Portugal—1990 (J. M. Rebordão)	27
Situação actual da Investigação sobre Física dos Plasmas em Portugal (José Artur da Costa Cabral)	32
Astronomia em Portugal: O desenvolvimento necessário (A. A. da Costa)	51
Contribuição para o estudo da situação das Ciências Geofísicas em Portugal (João A. M. Corte-Real)	59

Vol. 13—Fasc. 2 (Abril a Junho 1990)

João Jacinto de Magalhães e a American Philosophical Society de Filadélfia (Manuel F. Thomaz e Isabel M. Malaquias)	73
As propriedades notáveis do poliacetileno (Luís Carlos, José Carmelo e Manuel Assunção)	79
Calor e Temperatura—Que noção têm os alunos universitários destes conceitos? (Maria Helena Caldeira e Décio R. Martins)	85
Ruído de fase de lasers semicondutores—Parte II (M. F. Ferreira, J. F. Rocha e J. L. Piñto)	95
6. ^{as} Olimpíadas de Física—Provas Regionais 1990	100
Noticiário da Sociedade Portuguesa de Física	107

Vol. 13—Fasc. 3 (Julho a Setembro 1990)

Núcleos galácticos activos e fontes extragalácticas de radiofrequência (Maria João Marchã e António A. da Costa)	113
Pulverização catódica—Notas introdutórias (Marina Sousa e Olivério Soares)	123
O «Clube da Ciência» na Escola Sec. Avelar Brotero de Coimbra (Alda Nabais, Fátima Oliveira, João Paiva, Margarida Lameiras, Paula Silva e Suzel Glória)	129
História da Física—Um questionário de avaliação (Manuel F. Thomaz e Isabel M. Malaquias)	134
O Ozono sobre a Antártida (Filipe Duarte Santos)	141
Noticiário da Sociedade Portuguesa de Física	149
Um pouco de história	150

Vol. 13—Fasc. 4 (Outubro a Dezembro 1990)

A Física e as necessidades da Indústria—Reflexões sobre cursos de licenciatura e de pós-graduação (Stuart B. Palmer)	153
Observação experimental dos quarks (João Varela)	159
Relaxação dieléctrica em Polímeros (José Manuel Pereira Carmelo e Luiz António F. M. Dias Carlos)	168
Algumas considerações sobre a didáctica do conceito de energia (Mariana Valente e Duarte Costa Pereira)	176
Olimpíadas SPF da Física 1990, Etapa Nacional	182
Noticiário da Sociedade Portuguesa de Física	185
Um pouco de história	189

EUROPEAN PHYSICAL SOCIETY

11 th General Conference of the Condensed Matter Division

Exeter, 8-11 April 1991, U.K.

This general conference of the Condensed Matter Division of the European Physical Society will be the eleventh in the series which started in Antwerp in 1980 and follows the Lisbon conference in 1990.

Plenary Lectures

- *Layered Intercalation Compounds*, M. Balkanski, Paris
- *Permanent Magnetic Materials*, J. M. D. Coey, Dublin
- *Magnetic Field Studies in lateral and vertical superlattices*, R. J. Nicholas, Oxford
- *New Directions in X-Ray Physics*, P. M. Platzman, New Jersey
- *Challenges for European Microelectronics*, R. van Overstraeten, Leuven

Session Titles (3-4 talks per session)

- *Lateral Superlattices*
- *Vertical Transport by Optical Methods*
- *Optical Properties ID & OD*
- *FOHE*
- *Electronic Transport*
- *2D II-VI Systems*
- *Phonon Resonances*
- *Impurities in 2D*
- *Semiconductors under Pressure*
- *Strained Layers*
- *Quantum Chaos*
- *Alloys & Magnetic Materials*
- *Rare Earth Spin Structures*
- *Novel Materials by High Pressure*
- *Interfaces*
- *High T_c Experiments*
- *Xray Methods for Surfaces*
- *High T_c Theory*
- *Heavy Fermions*
- *Electron Structure*
- *Interacting Electrons*
- *Quantum Interfaces*
- *Layered and Organic Materials*
- *Phase Transitions*
- *Organic Superconductors*
- *Liquid Crystals*
- *Molecular Dynamics for Liquids*
- *Structured Liquids*

Information: Prof. J. C. Inkson

Dep. of Physics, University of Exeter

Stocker Road, Exeter, Devon EX4 - 4QL, U.K.

Tel. 0392-264148, Facsimile 0392-264111

Deadline for Conference fee: arrival before 22 February 1991.



VOL. 13 • FASC. 4 • OUTUBRO 1990

SUMÁRIO

A Física e as necessidades da Indústria. Reflexões sobre cursos de licenciatura e de pós-graduação	153
<i>Stuart B. Palmer</i>	
Observação experimental dos Quarks	159
<i>João Varela</i>	
Relaxação dieléctrica em Polímeros	168
<i>José Manuel Pereira Carmelo e Luiz António F. M. Dias Carlos</i>	
Algumas considerações sobre a didáctica do conceito de energia .	176
<i>Maria Valente e Duarte Costa Pereira</i>	
Olimpiadas SPF 1990	182
Noticiário da Sociedade Portuguesa de Física	185
Um pouco de história...	189