

# GAZETA DE FISICA

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FISICA



A FISICA EM PORTUGAL  
NO VIRAR DA DÉCADA



7ª conferência nacional de física

# FÍSICA 90

VOL. 13, FASC. 2  
Publicação Trimestral  
Abril a Junho 1990

7.ª Conferência Nacional  
de Física

Lisboa, Setembro — 1990

Lisboa, 24-27 — Set. 1990

# GAZETA DE FISICA

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

## João Jacinto de Magalhães e a American Philosophical Society de Filadélfia

MANUEL F. THOMAZ e ISABEL M. MALAQUIAS

Departamento de Física, Universidade de Aveiro, 3800 Aveiro

João Jacinto de Magalhães, físico português nascido em Aveiro em 1722 e emigrado em Londres desde 1764 até à sua morte em 1790 notabilizou-se na sociedade científica europeia pelos seus trabalhos como instrumentalista <sup>(1)</sup> e também pela vasta correspondência que estabeleceu com diferentes cientistas célebres <sup>(2)</sup>, através da qual actuou como intermediário na divulgação de novos conhecimentos.

A análise dos seus trabalhos científicos e da sua correspondência não está ainda completa; mas, através dela, revela-se um cientista preocupado com os mais recentes progressos, sejam no domínio da Medicina, da Agricultura, da Física, da Química ou da técnica, e com a sua divulgação em prol do desenvolvimento das nações e dos seus povos. Deu a conhecer novas máquinas e instrumentos ingleses em França <sup>(3)</sup>, promoveu a 2.<sup>a</sup> edição inglesa do livro de Mineralogia de Cronstedt <sup>(4)</sup>, divulgou os trabalhos de Priestley e de Joseph Black junto dos químicos franceses <sup>(5)</sup> e enviou os livros e revistas inglesas mais recentes não só para França, mas também para Petersburgo, Lisboa, Itália, Filadélfia, etc.

Alguma da sua correspondência foi já publicada <sup>(6)</sup>. Na presente nota histórica, pre-

<sup>(1)</sup> A aptidão de João Jacinto de Magalhães para a concepção, projecto e aperfeiçoamento de instrumentos científicos (instrumentos filosóficos, como eram designados na época) era notória. As encomendas de aparelhos, recebidas de França, Itália, Bélgica, Espanha e Portugal, bem o demonstram e constituíam, em parte, o meio de subsistência de que dispunha. Projectou e construiu aparelhos tão diversos

como quadrantes astronómicos, pêndulas, barómetros, bússolas, máquinas de Atwood, aparelhos para produção de águas minerais, etc.

<sup>(2)</sup> Entre os correspondentes de Magalhães salientamos os astrónomos Messier e Lexell, os químicos Priestley, Lavoisier e Macquer, os físicos Volta, van Swinden e Franklin, o médico Ribeiro Sanches e muitos outros.

<sup>(3)</sup> Veja-se, por exemplo, as cartas a Duchesne de 30 de Novembro de 1770 e 5 de Março de 1771, existentes nos Archives Nationales de Paris, sobre os novos teares ingleses.

<sup>(4)</sup> Esta 2.<sup>a</sup> edição da tradução inglesa vem substancialmente enriquecida com abundantes notas da autoria de João Jacinto e de outros cientistas, conforme se pode ler no prefácio da mesma edição.

<sup>(5)</sup> A correspondência trocada com Macquer e Lavoisier é bem exemplo desta afirmação.

<sup>(6)</sup> Lemos, Maximiano: «Estudos de História da Medicina Peninsular», Porto (1916), pág. 237 e seguintes.

Carvalho, Joaquim de: «Correspondência científica dirigida a João Jacinto de Magalhães», *Revista da Faculdade de Ciências*, Universidade de Coimbra, 20 (1951), págs. 93-283.

Birembaut, Arthur: «Sur les lettres du physicien Magellan conservées aux Archives Nationales», *Revue d'Histoire des Sciences et de leurs Applications*, 9 (1956), págs. 150-161.

Willemsse, David: «Suites d'un voyage aux Pays-Bas — John Hyacinthe de Magellan et ses rapports avec J. H. van Swinden», *Arquivo do Centro Cultural Português de Paris da Fundação Calouste Gulbenkian*, volume VII (1973), págs. 225-278.

Fernandes Thomaz, Manuel: «João Jacinto de Magalhães e a Sociedade Real de Londres», 4.<sup>a</sup> Conferência Nacional de Física, Évora (1984).

Fernandes Thomaz, M.; Malaquias, I. M.: «João Jacinto de Magalhães: a sua obra impressa e a sua correspondência científica», aceite para publicação na *Revista da Universidade de Aveiro/Letras*.

tende-se apenas chamar a atenção para as relações que João Jacinto de Magalhães estabeleceu com a American Philosophical Society de Filadélfia, da qual foi eleito sócio em 16 de Janeiro de 1784 (7).

Como é do conhecimento geral, as academias, ou sociedades científicas, tinham surgido um pouco por toda a Europa, durante o século XVII, sendo seu objectivo reunir todos os que prosseguiram a realização de objectivos comuns, tendo em vista a promoção do conhecimento científico em geral. «Era nelas que se encontravam os homens capazes de solucionar os problemas das nações nos âmbitos científico e técnico, e era a elas que os Governos se dirigiam pedindo conselhos, sugestões, pareceres. Na falta de organismos específicos, recorria-se às academias para que estudassem os solos, as floras, as faunas, os fenómenos meteorológicos, as questões económicas e tudo quanto tivesse interesse imediato para a prosperidade das nações. As academias eram, portanto, uma peça fundamental de uma sociedade que se pretendia progressiva e dinâmica» (8). Tendo presente este espírito, surgiram também sociedades científicas além-Atlântico, particularmente na então colónia inglesa da América. Assim, em 1727, Benjamin Franklin fundou a *Junto*, que tinha como objectivos o 'melhoramento recíproco dos seus membros'. Tinha carácter de associação secreta, onde os seus associados discutiam questões de moral, de política e de física. Em 1769, Franklin propôs a fundação de outra sociedade com características mais científicas, de capacidade e influência mais amplas, formada por indivíduos das diferentes colónias que se interessassem bastante pelas ciências: a *American Philosophical Society held at Philadelphia for promoting useful knowledge*. O primeiro grande empreendimento científico desta nova sociedade foi a observação da passagem de Vénus em 1769 (9).

Entre as medidas tomadas pelas academias em prol do desenvolvimento científico, praticamente desde o início das suas actividades, encontra-se a atribuição de prémios, quer para

o melhoramento, ou criação, de um instrumento científico ou material, em particular, quer para o desenvolvimento de uma determinada área do conhecimento. É assim que, por exemplo, aparecem em Inglaterra prémios para a construção e aperfeiçoamento de relógios marítimos ou, em França, para a obtenção do melhor vidro «flint», com vista a ultrapassar a necessidade da sua importação do mercado inglês (11).

A actividade de João Jacinto de Magalhães em Inglaterra começa a desenvolver-se a partir de 1764, altura em que, após uma viagem e estada de alguns anos em França («tour philosophique»), se fixa em Londres. Dedicou-se às ciências físicas desenvolvendo e inventando instrumentos, escrevendo comunicações científicas à Academia das Ciências de Paris e à Royal Society de Londres e artigos para o *Journal de Physique* de Rozier. Estabelece contactos com grande número de personalidades do mundo científico com as quais troca abundante correspondência. Conhece então Benjamin Franklin que, juntamente com outros cientistas de renome, apadrinhou em 1774 a sua entrada para a Royal Society. É certamente através de Franklin que Magalhães tem conhecimento da American Philosophical Society com a qual vai estabelecer alguns contactos de que resultaram laços duradouros.

A correspondência trocada entre ambos encontra-se, tanto quanto é do nosso conhecimento, na Biblioteca da American Philosophical Society de Filadélfia, agrupada nos conjuntos de manuscritos designados por *Hays*

---

(7) *Philosophical Transactions of the American Philosophical Society*, Philadelphia, sessão de Janeiro de 1784.

(8) Carvalho, Rómulo: «A Actividade Pedagógica da Academia das Ciências de Lisboa nos séculos XVIII e XIX», Ed. Academia das Ciências de Lisboa, Lisboa, 1981, pág. 11.

(9) Taton, René: «Histoire Générale des Sciences», P.U.F., Paris, vol. 2, pág. 766.

(10) *Ibid.*, pág. 514.

(11) Daumas, Maurice: «Les instruments scientifiques aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles», 1953, P.U.F., pág. 209.

*Calendar* <sup>(12)</sup>, *Franklin Papers* <sup>(13)</sup> e no catálogo de manuscritos da biblioteca <sup>(14)</sup>. Neste catálogo são mencionadas onze cartas, sendo seis provenientes de João Jacinto de Magalhães e cinco a ele endereçadas. Dessas cartas, salientam-se aquelas que dizem respeito à doação, feita por Magalhães, de um fundo de 200 guinéus ingleses para servir de suporte à atribuição de um prémio anual de 10 guinéus, por parte da American Philosophical Society, ao autor do melhor trabalho relativo a Navegação <sup>(15)</sup> ou

---

<sup>(12)</sup> No conjunto designado por *Hays Calendar* encontram-se as seguintes cartas de João Jacinto de Magalhães para Franklin:

— 2 de Agosto de 1774 — recomenda a Franklin Mr. Ludwig, que viaja para se instruir com sábios estrangeiros. (*Hays Calendar* I, 163).

— 13 de Maio de 1779 — dá notícia do envio de alguns livros para a American Philosophical Society. (*Hays Calendar*).

— 22 de Junho de 1779 — pede a Franklin para interceder em favor do capitão Richard Nairne, irmão do construtor de instrumentos científicos com o mesmo apelido e membro da Royal Society de Londres, que tinha ficado retido em Toulon. (*Hays Calendar* II, 98).

— 8 de Outubro de 1780 — envia um resumo da memória que Vaughan terá enviado para França para ser publicada no *Journal de Physique* de Rozier, depois de ter sido lida na Académie des Sciences de Paris, para que Franklin faça os seus comentários. (*Hays Calendar* II, 321).

<sup>(13)</sup> No conjunto de manuscritos designados por *Franklin Papers*, não existem cartas trocadas entre os dois cientistas; este conjunto contém cartas de outros cientistas da época, nas quais eles são referidos.

<sup>(14)</sup> No catálogo de manuscritos da biblioteca da American Philosophical Society existem as seguintes cartas de Magalhães:

— 4 de Fevereiro de 1780, dirigida a Adamo Fabroni, referindo-se à preparação da 2.<sup>a</sup> edição do livro de Mineralogia de Cronstedt e pedindo que lhe envie quaisquer notas que julgue oportunas para serem publicadas; menciona ainda experiências sobre a absorção do ar pelo carvão, que o seu tratado sobre os barómetros está pronto para imprimir e que Nairne & Blunt estão encarregados de os construir segundo as suas instruções.

— 17 de Junho de 1783, dirigida ao secretário da American Philosophical Society, pedindo notícia dos livros que enviara para Franklin, em Paris, e que seriam doados à American Philosophical Society em nome de ambos, livros que se teriam talvez extraviado; pergunta também se já fora proposto por

Franklin para membro da Sociedade e solicita informações sobre os estatutos da mesma e sobre as formalidades necessárias para fazer legados. Manifesta ainda a sua alegria pelo desenrolar dos acontecimentos políticos nos Estados Unidos.

— 17 de Setembro de 1785, dirigida ao presidente e membros da American Philosophical Society, propondo uma doação no valor de 200 Guinéus de cujo rendimento se retirariam anualmente 10 Guinéus para a atribuição pela Sociedade de um prémio científico, acrescentando as normas para a entrega do dito prémio.

— 7 de Julho de 1786, ao presidente e membros da American Philosophical Society sobre os assuntos referidos na carta anterior.

— 17 de Abril de 1787, a Jean Fabroni sobre a problemática do flogisto e as ideias de Lavoisier sobre o mesmo assunto.

— 26 de Agosto de 1778, de Walsh dizendo que, juntamente com Fabroni e o Abade Fontana, irão visitar João Jacinto, em Inglaterra, e que falarão sobre o gímnoto (enguia eléctrica) e sobre a planta que se move.

— 18 de Outubro de 1783, de Thomas Bond, vice-presidente da American Philosophical Society, agradecendo a carta e livros enviados por Magalhães e dizendo que este será eleito em breve membro da mesma Sociedade.

— 21 de Dezembro de 1785, lista de livros enviados para a American Philosophical Society através de Samuel Vaughan, secretário da Sociedade.

— 24 de Janeiro de 1786, de Benjamim Franklin para Magalhães, agradecendo a doação que este fez e referindo outros aspectos relacionados com o prémio Magalhães.

— 19 de Fevereiro de 1789, de John Vaughan, fazendo referência ao valor actual do dinheiro americano.

— 26 de Agosto de 1779 (?) a 30 de Maio de 1780 (?), diário científico de J. Fabroni, relativo ao período em que esteve de visita a Inglaterra. Trata-se de um extenso manuscrito onde são referidas diferentes experiências relativas à química e electricidade, observações astronómicas, as descargas eléctricas dadas pelo gímnoto, bem como outras curiosidades, por exemplo, ter observado a dissecação de um ovo de tartaruga. Refere-se ainda as visitas que fez na companhia de Walsh, Fontana e Magalhães a outros cientistas amigos e à participação em sessões da Royal Society.

<sup>(15)</sup> Da sua carta de 17 de Setembro de 1785 ao presidente, vice-presidente e membros da Philosophical Society da Filadélfia, transcrevemos:

«...and now it is only desired to know, whether the Body of y<sup>r</sup>. Phil<sup>al</sup>. Society will accept a donation of hundred guineas, on condition of being vested by the same, on some fund of good security, so as to produce an annual income of ten guineas, designed

Astronomia <sup>(16)</sup>. De salientar que, por vontade expressa de João Jacinto de Magalhães, o prêmio seria instituído anonimamente, apenas com referência a um «*Lover of usefull knowledge*» <sup>(17)</sup>, talvez mais por modéstia do que pelas razões várias e de peso que ele refere, sem as explicitar, na sua carta ao presidente e membros da Philosophical Society, de 7 de Julho de 1786. O prêmio consistia numa medalha oval de ouro maciço no valor de 10 guinéus <sup>(18)</sup>. Numa das faces deveria estar gravado com nitidez o seguinte:

«*The Donation of..... of London. Established in the year 1786.*»

Na outra face da medalha, gravar-se-iam as seguintes palavras:

«*Awarded by the American Philosophical Society to.....for his discovery of.....A.D.... President.*»

O selo da academia seria colocado na medalha de ouro através de uma fita que passaria num orifício, próximo do lado inferior desta. De entre as propostas submetidas à Sociedade para atribuição do prêmio, mencionam-se em seguida algumas: a descrição de um barco de rodas proposto para facilitar a navegação nos rios americanos do Norte (19 de Setembro de 1788); memória sobre a resina obtida do choupo da Lombardia e a sua utilização em arte (6 de Outubro de 1820); a descrição de uma nova bomba de ar (21 de Novembro de 1823); sistema de ventilação de navios de forma a prevenir contra o apodrecimento do madeirame (7 de Janeiro de 1825); memória sobre a massa da Lua (24 de Março de 1887).

Do catálogo de manuscritos da biblioteca da American Philosophical Society, verifica-se que a existência do Prémio Magalhães (Magellanic Premium), chega até 1906 («Transmutação dos elementos. A transformação da prata em ouro» — memória submetida ao prêmio, em Novembro de 1906), não sendo conhecidas, de momento atribuições posteriores. Em Janeiro de 1888, o anonimato, até então vigente, terá sido levantado, tendo sido feita uma proposta de modernização do *design* da medalha de ouro, a qual passaria a incluir o nome de John Hya-

cinth de Magellan. Esta proposta foi feita por L. M. Haupt, professor de Engenharia Civil da Universidade de Pennsylvania.

As restantes referências ao Prémio Magalhães existentes no catálogo de manuscritos da biblioteca dizem respeito, sobretudo, aos relatórios feitos pela Sociedade sobre propostas que lhe foram apresentadas para a atribuição do dito prêmio, algumas das quais foram recusadas. De entre essas, mencionamos a título de exemplo, a memória atrás mencionada, relativa à descrição da nova bomba de ar, até que o próprio instrumento fosse examinado. De notar que, pelo Regulamento de atribuição (9.<sup>a</sup> Regra), sempre que uma proposta fosse recusada, e desde que não houvesse nenhuma considerada merecedora do prêmio, seriam todas transfe-

---

for an yearly premium to be adjudged by the Body of the same Society, to the Author of the best discovery or most usefull improvement relating to Navigation, or to Natural Philosophy, mere natural History only excepted...».

<sup>(16)</sup> Da sua carta de 7 de Julho de 1786 ao presidente e membros da mesma Philosophical Society, transcrevemos:

«...And finally we both wish that the word Astronomy be added after that of Navigation, in the Introduction or preable of the Premium...».

<sup>(17)</sup> Ver a carta já referida em <sup>(16)</sup>.

«...that during the time of my existence, which cannot be long, this being already the 64 year of my life, various and weighty reasons require, that my name be not known to y<sup>e</sup>. Public in this donation. The simple title of a Lover of usefull knowledge will suffice mean while, to be mentioned in y<sup>e</sup>. Prospect or announce of the said Premium...».

<sup>(18)</sup> Do Regulamento de atribuição do prêmio, publicado nas Philosophical Transactions da American Philosophical Society, em 20 de Janeiro de 1786, transcrevemos a 13.<sup>a</sup> regra:

«13<sup>th</sup>. — The premium shall consist of an oval plate of solid standard Gold, of the value of *Ten Guineas*.

On one side thereof shall be neatly engraved the following motto together with these words, *The Donation of.....of London. Established in the year 1786*. And on the other side of the plate shall be engraved these words: *Awarded by the American Philosophical Society to.....for his discovery of..... A.D.....President*. And the seal of the Society shall be annexed to the said Golden plate, by a ribbon passing thro, a small hole, near the lower edge thereof».

ridas para o ano seguinte e permaneceriam como candidatas ao prêmio nos cinco anos seguintes à sua apresentação. O anonimato era mantido, pois cada proponente concorria sob pseudónimo, sendo o verdadeiro nome desvendado após a atribuição. Se esta nunca ocorresse, os sobrescritos com os verdadeiros nomes seriam queimados, no fim de cinco anos (11.ª Regra).

Também referente ao prêmio Magalhães, existe uma carta, datada de 4 de Novembro de 1898, que é um relatório da situação vigente, até à data, feito por uma comissão para o fundo Magalhães, onde se diz que apenas três prémios foram atribuídos <sup>(19)</sup> nos cento e treze anos desde a fundação do mesmo e isto porque, de então a essa parte, o valor do prêmio sofrera um decréscimo apreciável devido à desvalorização da moeda <sup>(20)</sup>. Com base nestas considerações e tendo presentes os objectivos do seu fundador, propunha esta comissão que o valor do prêmio fosse aumentado até ao valor máximo de mil dólares <sup>(21)</sup>, por forma a que se revitalizasse o interesse das pessoas e o da própria Sociedade na atribuição do mesmo.

Que razões terão levado Magalhães a fazer esta doação para um jovem país além-Atlântico? A verdadeira resposta talvez não seja acessível, embora se possam tentar descortinar algumas motivações para aquele gesto aparentemente insólito.

A American Philosophical Society era uma sociedade que estava a dar os seus primeiros passos (1769 foi o ano da sua fundação), embora detivesse já algum prestígio, sobretudo devido aos trabalhos de Franklin, de quem Magalhães era amigo, conforme já foi referido. De notar, por exemplo, que o livro «Expériences et observations sur l'électricité faites à Philadelphie en Amérique», de Franklin, teve grande sucesso, foi traduzido em várias línguas e reeditado durante largos anos na Europa. Foi mesmo considerado como a melhor contribuição científica original proveniente do Novo Mundo <sup>(22)</sup>.

Assim, e seguindo a moda em curso na época, de que era preciso entusiasmar os

homens nos domínios da ciência e, conhecendo também as dificuldades inerentes a quem se embrenha nos mesmos, por experiência própria, João Jacinto terá pensado que, através da criação de um prêmio, poderia contribuir para o desenvolvimento da mesma ciência <sup>(23)</sup>.

---

<sup>(19)</sup> «...That the 200 guineas were duly received and invested in conformity with the requirements of the founder. The income received from the found down to Jan. 1<sup>st</sup>, 1898 has amounted to \$2212.17, the expenses paid from it have been \$368.29 for premiums paid three persons to whom were awarded the premiums provided for, ... one in 1866, one in 1870 and one in 1888; and also incidental expenses of \$15...».

<sup>(20)</sup> Do mesmo relatório:

«...It is apparent to the Committee that, owing principally to the greatly changed value of money in the century, and more, since the donation was made, the very few persons who have signed» (escrito à mão: «?sign called») «papers for the premiums is owing» (escrito à mão: «chiefly due») «to the fact that the premiums proposed by the founder were not sufficient in amount to induce gentlemen of the character and learning necessary to meet the views of the founder and of the Society, to prepare papers. This, we think, will account for the fact that only three premiums have been awarded during the whole one hundred and thirteen years since the donation was made...».

<sup>(21)</sup> «...to apply to the proper court for a decree so modifying the terms of the foundation as shall be likely to effect the objects of the founder, by authorizing the Society to so accumulate the income of the fund as to enable it to offer, out of such income, a larger premium for approved papers, not to exceed one thousand dollars...».

<sup>(22)</sup> Taton, René: «Histoire Générale des Sciences», P.U.F., Paris, vol. 2, pág. 769.

<sup>(23)</sup> Curiosamente, dois anos antes da instituição do seu prêmio na Sociedade de Filadélfia, João Jacinto de Magalhães fizera uma proposta semelhante à Academia das Ciências de Lisboa, fundada em 1779, para o estabelecimento de um prêmio de Agricultura.

Em carta enviada ao ministro Ayres de Sá e Mello <sup>(24)</sup>, ele destina a cóngrua anual que lhe era devida por parte da Congregação dos Cônegos Regulares de S.º Agostinho (de onde era egresso desde 1754, por um breve de secularização obtido do papa Bento XIV) para servir, por via da Academia Real das Ciências de Lisboa, de prêmio relativo a uma experiência de Agricultura.

É curiosa a perspectiva que, a propósito, Magalhães manifesta em relação à função patriótica que

É também conhecido o facto de alguns anos antes, por volta de 1766, João Jacinto ter pretendido emigrar para a América e aí se fixar, não fora o conselho do seu amigo Ribeiro Sanches, então em Paris, que o terá dissuadido de vir a ser mais um capitão de alguma companhia americana <sup>(25)</sup> É possível, pois, vislumbrar a simpatia, que decerto terá conservado, pelo que se passava neste novo país, onde se manifestavam os ideais da liberdade.

#### AGRADECIMENTOS

É dever dos autores registar o apoio do Instituto Nacional de Investigação Científica

(INIC) a este trabalho, através de uma bolsa de doutoramento concedida a I.M.M.

deveriam ter as Comunidades Religiosas no sentido de «formar outros prémios para utilidade do Reino».

Até ao presente não se encontrou qualquer vestígio de que a proposta tenha sido alguma vez aceite por esta Academia, muito embora tenham sido atribuídos alguns prémios de Agricultura pela Academia das Ciências de Lisboa.

<sup>(24)</sup> M. N. E., Cx. 9, M.<sup>a</sup> 12, Arquivo Nacional da Torre do Tombo, carta de João Jacinto de Magalhães ao ministro Ayres de Sá e Mello, com data de 17 de Fevereiro de 1784.

<sup>(25)</sup> Da carta de João Jacinto de Magalhães a Ribeiro Sanches, de 28 de Abril de 1778, existente na Biblioteca Nacional de Viena de Áustria, códice n.º 12714.

## MESTRADO EM FÍSICA — FÍSICA TEÓRICA OU FÍSICA TECNOLÓGICA

Departamento de Física, Universidade de Coimbra (1990/91)

### OBJECTIVOS

O Mestrado em Física tem como objectivos fundamentais proporcionar formação avançada em determinadas áreas e promover a iniciação à investigação científica.

### ÁREAS DE ESPECIALIZAÇÃO

No ano lectivo de 1990/91

I—Física Teórica (numerus clausus 15)

II—Física Tecnológica (numerus clausus 15)

### CONDIÇÕES DE ADMISSÃO

Licenciatura em Física, Engenharia Física ou áreas afins com a classificação mínima de 14 valores ou «currículum equivalente».

### ORGANIZAÇÃO DO CURSO

O Curso está organizado segundo o sistema de unidades de crédito, em que o aluno terá de frequentar, no 1.º ano, o conjunto de disciplinas do curso num total de 16 unidades de crédito (Física Teórica) ou 15 unidades de crédito (Física Tecnológica).

No 2.º ano será elaborada uma tese sob a orientação de um supervisor.

### BOLSAS

Para candidatos em tempo integral existe a possibilidade da obtenção de bolsas de estudo de diversas organizações (JNICT, INIC).

### ELENCO DAS DISCIPLINAS

(com as respectivas unidades de crédito)

I—Área de especialização em Física Teórica

#### Disciplinas obrigatórias

Teoria Quântica de Campos I - (3)

Teoria Quântica de Campos II - (2)

Teoria Quântica de Sistemas de Muitos Corpos I (2)

Teoria Quântica de Sistemas de Muitos Corpos II (3)

#### Disciplinas opcionais

O aluno escolherá *uma* de entre:

Relatividade e Cosmologia (3)

Fundamentos de Mecânica Quântica (3)

Física das Partículas Elementares (3)

e *outra* de entre:

Modelos Hadrónicos (3)

Teoria das Colisões (3)

Física da Matéria Condensada (3)

Astrofísica (3)

II—Área de especialização em Física Tecnológica

#### Disciplinas obrigatórias

Colisões Atómicas e Espectroscopia (3)

Interfaces Analógicas (3)

Condução Eléctrica em Semicondutores (1)

Complementos de Ciência dos Materiais (2)

#### Disciplinas opcionais

O aluno escolherá *duas* de entre:

Sistemas para Tempo Real: Concepção e Caracterização (3)

Complementos de Processamento de Sinais (3)

Teoria das Colisões (3)

Astrofísica (3)

### PRAZOS E CALENDÁRIO LECTIVO

Prazo de candidaturas: 3 a 15 de Setembro

Prazo de inscrições: 1 a 15 de Outubro

Início do ano lectivo: 22 de Outubro

### CORRESPONDÊNCIA

Curso de Mestrado em Física, Departamento de Física, Universidade de Coimbra — 3000 Coimbra

Telefs.: (0) 39 - 23671/23675/29252

Telex: 52601 DEFIUC P; Fax: (0) 39 - 29158



# As propriedades notáveis do poliacetileno

LUÍS CARLOS

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

JOSÉ CARMELO

Departamento de Física, Universidade de Évora, Apt. 94, 7001 Évora Codex  
Centro de Física da Matéria Condensada (INIC), Av. Prof. Gama Pinto 2, 1699 Lisboa Codex

MANUEL ASSUNÇÃO

Departamento de Física, Universidade de Aveiro, 3800 Aveiro

## 1. Introdução

As duas últimas décadas foram marcadas por uma série de notáveis descobertas na área dos novos materiais (polímeros condutores, fermiões pesados, vidros de spin, quase-cristais, efeito de Hall quantificado, supercondutores de alta temperatura, etc.).

Embora a utilização tecnológica dos novos materiais seja já uma realidade inegável, prevê-se, por exemplo no caso dos materiais orgânicos moleculares, que as suas futuras aplicações venham culminar numa nova revolução tecnológica, nomeadamente no desenvolvimento e afirmação da electrónica molecular como alternativa à tecnologia do silício, e no desenvolvimento paralelo da micromecânica e da nanomecânica.

De facto, a rápida evolução registada nas últimas décadas na indústria dos semicondutores, está presentemente condicionada pelo aparecimento de alguns problemas relacionados com o aumento da densidade e complexidade dos circuitos integrados. Por outro lado, no domínio da tecnologia informática, as exigências dum aumento progressivo quer da capacidade de memória disponível, quer da velocidade de processamento de dados, sugerem que o futuro neste domínio dificilmente passará pelos semicondutores tradicionais. Aliás é possível mostrar que a microelectrónica à base do silício, tem de facto limites teóricos que brevemente começarão a cercear o seu desenvolvimento tecnológico.

Os materiais moleculares diferem dos materiais inorgânicos covalentes, sendo constituídos

por moléculas mais ou menos complexas, interagando entre si por forças do tipo Van der Waals.

Neste trabalho dedicaremos a nossa atenção aos polímeros condutores, particularmente ao caso do poliacetileno que constitui um exemplo dum material orgânico molecular com propriedades novas não triviais.

Uma vez ultrapassadas as actuais dificuldades relativamente à síntese controlada do poliacetileno e polímeros condutores afins [1] — politiofeno, polifenileno, polianilina, polipirrol, etc. — e também no que respeita ao controlo mais efectivo das propriedades electrónicas e ópticas deste materiais, por alteração da respectiva estrutura química, prevê-se que a sua utilização nos domínios electrónico, óptico e optoelectrónico, combinada com a de outros materiais avançados, constituirá uma alternativa real aos materiais inorgânicos clássicos.

O interesse pelo poliacetileno e sistemas afins é relativamente recente e surgiu da observação duma característica pouco comum à generalidade dos materiais poliméricos: um aumento significativo da condutividade eléctrica quando submetidos a dopagem, isto é, por adição de impurezas aceitadoras ou dadoras de electrões. A constatação de que o processo de dopagem não modifica nem as propriedades elásticas e mecânicas, nem a estabilidade à corrosão, revelou uma nova classe de materiais que combina as propriedades típicas dos plásticos com as propriedades condutoras próprias dos metais.

Na Tabela subsequente apresentamos valores característicos das condutividades eléctricas

de vários polímeros condutores (alguns dos quais dopados). Estes valores são comparados com condutividades de materiais inorgânicos tradicionais. O quadro ilustra bem as propriedades condutoras de alguns materiais poliméricos.

	Polímeros orgânicos	Cristais orgânicos TMTSF <sub>2</sub> PF <sub>6</sub> (supercondutor)	Materiais inorgânicos
10 <sup>5</sup>	Grafite		Cu
	Poliacetileno		Hg
	Poli(p-fenileno)	TTF-TCNQ	Bi
	Polipirrol		Si
10 <sup>0</sup>			ZnO
	Politiofeno Cu-TCNQ		Ge
10 <sup>-5</sup>			
	Polifthalocianeto	Ag-TCNQ	B
	Poliacetileno*		H <sub>2</sub> O
10 <sup>-10</sup>			I
	Polidiacetileno		
	Polipirrol*	Cu-ftalocianeto	
	Nilon		
10 <sup>-15</sup>			
	Poli(p-fenileno)*		
	PVC		
10 <sup>-20</sup>			
	Poliimida (Kapton)	Diamante	SiO <sub>2</sub>
	PTFE (Teflon)		

Condutividade eléctrica ( $\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) de alguns materiais orgânicos e inorgânicos (\*sistemas não dopados).

A investigação aplicada nesta área tem registado, nos últimos anos, desenvolvimentos significativos. Como exemplos de aplicações actuais dos polímeros condutores nos domínios electrónico, óptico e optoelectrónico podemos referir, entre outras, díodos, transistores e condensadores, sensores químicos, baterias recarregáveis e eléctrodos em geradores electroquímicos, células solares, dispositivos poliméricos electrocrómicos, armazenadores de informação óptica, etc.

## 2. Polímeros condutores electrónicos: o poliacetileno

O poliacetileno foi pela primeira vez sintetizado por Shirakawa e Ikeda em 1971 [2]. Contudo só alguns anos mais tarde foi detectado o aspecto mais notável e inesperado das propriedades deste material [3], que como já referimos consiste no facto de, quando dopado, sofrer uma variação de condutividade eléctrica

cuja magnitude assume valores pouco comuns: de cerca de  $10^{-8} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  (amostra não dopada) a  $10^5 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  (amostra dopada), o que corresponde a catorze ordens de grandeza! Notável é ainda o facto do processo de dopagem ser reversível. Esta propriedade do poliacetileno constitui aliás a base da investigação, desenvolvida em vários laboratórios, tendo em vista a sua futura utilização em electrónica molecular e mesmo em sistemas neuronais moleculares.

### 2.1. Preparação e caracterização do poliacetileno

O poliacetileno é formado por cadeias de carbono e hidrogénio exibindo geometria estrutural variável. A sua polimerização, isto é, o processo de preparação das cadeias  $(\text{CH})_x$  à custa dos seus componentes monoméricos, pode realizar-se por vários métodos [1], [8].

Numa polimerização normal, os filmes de  $(\text{CH})_x$  consistem num grande número de pequenas fibrilas, de aproximadamente 200 Å de diâmetro, aleatoriamente orientadas, ocupando apenas cerca de 1/4 a 1/2 do volume total dos filmes e uma superfície efectiva de aproximadamente 60 m<sup>2</sup>/g. Por um processo que combina técnicas mecânicas e térmicas, é possível obter uma orientação parcial nas fibrilas constituintes do poliacetileno. As amostras assim obtidas exibem uma considerável anisotropia tanto eléctrica como óptica.

A síntese de amostras de poliacetileno com propriedades absolutamente controladas é, ainda hoje, uma exigência que apresenta alguns problemas. Estas dificuldades tendem aliás a limitar a produção deste polímero a dois ou três laboratórios em todo o mundo.

### 2.2. Estrutura molecular do poliacetileno

A estrutura linear do trans-poliacetileno — o isómero termodinamicamente mais estável — (ver Fig. 1) corresponde a uma longa cadeia

de unidades CH, que no seu conjunto formam uma rede de cadeias quase-unidimensionais.

As ligações entre os átomos constituintes destas cadeias são descritas em termos de orbitais moleculares resultantes da hibridização dos orbitais atômicos de valência do carbono. No caso do trans-poliacetileno, a hibridização ade-

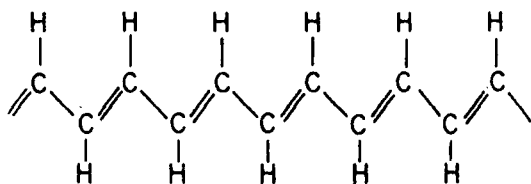


Fig. 1 — Estrutura linear do trans-poliacetileno.

quada é a que corresponde à construção de três orbitais híbridos (orbitais  $sp^2$ ) equivalentes, coplanares e formando ângulos de  $120^\circ$  entre si (ver Fig. 2). Estes orbitais (do tipo  $\sigma$ ) resultam da combinação dos orbitais atômicos  $s$ ,  $p_x$  e  $p_y$ . O orbital  $p_z$  permanece inalterável e aponta na direcção perpendicular ao plano dos outros três (orbital tipo  $\pi$ ).

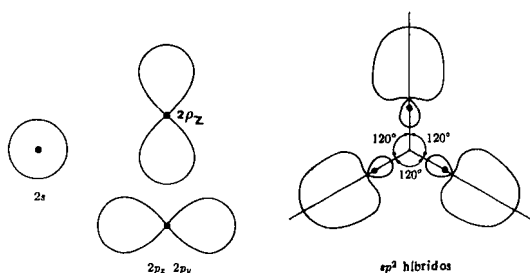


Fig. 2 — Representação esquemática da formação de orbitais híbridos  $sp^2$  (para maior clareza os orbitais estão deslocados da sua origem comum).

A ligação química no seio das cadeias moleculares resulta da intersecção dos orbitais  $\sigma$ . O facto destes orbitais serem coplanares, implica que as cadeias de trans-poliacetileno tenham uma estrutura planar. Por outro lado, a deslocalização dos orbitais  $\pi$ , isto é, a tendência dos electrões que os ocupam a passarem de uns orbitais para os outros, que é representada na Fig. 1 pela alternância das ligações

simples e duplas entre os átomos de Carbono, está intimamente relacionada com as propriedades de condução eléctrica deste material.

### 3. Propriedades electrónicas do poliacetileno puro: instabilidade de Peierls

No seu estado puro, o poliacetileno apresenta valores de condutividade eléctrica próprios de um semiconductor.

No caso de amostras de trans-poliacetileno, a considerável anisotropia eléctrica observada experimentalmente, serve de base a modelos simples, em que a descrição do sistema se faz em termos de cadeias quase-unidimensionais fracamente acopladas por forças do tipo Van der Waals. Os modelos mais simples [1]-[8], que consideram um sistema de cadeias unidimensionais paralelas e independentes, conduzem a uma electrónica molecular, tendo como base a sobreposição dos orbitais  $\pi$  ao longo das cadeias. No caso do poliacetileno puro, o preenchimento de banda obtido corresponde à situação duma banda meia cheia, pois o número de electrões  $\pi$  iguala o número de átomos de carbono. Este modelo simples não explica contudo as propriedades semiconductoras do material, o que exigiria duas bandas separadas por um hiato de energia e não uma única banda semipreenchida (característica dum metal).

A resposta a este problema advém do carácter quase-unidimensional das cadeias, o que permite a ocorrência dum efeito conhecido por instabilidade de Peierls: a configuração termodinamicamente mais estável duma cadeia unidimensional não corresponde à representada na Fig. 1, em que os comprimentos  $l$  das ligações entre átomos de carbono sucessivos são todos iguais, correspondendo antes à chamada configuração dimerizada, em que as ligações apresentam alternadamente comprimentos diferentes:  $l + \delta l$  e  $l - \delta l$ , com  $|\delta l| \ll l$ .

Note-se que as posições dos átomos considerados na Fig. 1, bem como as relativas à configuração dimerizada, se referem ao estado fundamental ( $T=0$  K).

Aquele efeito, que foi observado experimentalmente, tem como base pequenas trocas de energia, bem como trocas de momento de valor absoluto  $2K_F$ , entre os modos de vibração da rede e os electrões  $\pi$ .

No caso unidimensional, os valores de momento linear dos electrões numa banda molecular são representados por números reais positivos (que descrevem o deslocamento de electrões da esquerda para a direita) ou negativos (que representam electrões deslocando-se em sentido contrário). Os momentos lineares  $K_F = \pm \pi c/2$ , onde  $c$  é a concentração de electrões  $\pi$  nas cadeias, correspondem aos momentos que definem o preenchimento de banda no zero absoluto, isto é, que separam a zona preenchida da banda não preenchida.

A instabilidade de Peierls, que é um efeito unidimensional relacionado com o facto de num sistema de cadeias paralelas a superfície de Fermi ter a forma de dois planos paralelos, implica uma distorção da rede de modulação  $2K_F$ . No caso particular da banda meia cheia ( $2K_F = \pi/a$ ), esta distorção da rede assume a forma da dimerização já referida.

Sem descrever em detalhe o formalismo teórico subjacente à instabilidade de Peierls, digamos que, para além da distorção na cadeia dos átomos de carbono, ela implica um outro efeito extremamente importante na banda molecular dos electrões  $\pi$ : a sua divisão em duas novas bandas, separadas por um hiato de energia que, para qualquer preenchimento de banda, se situa na superfície de Fermi. É possível mostrar que no presente caso unidimensional, este estado semiconductor, caracterizado quer pela existência dum hiato, separando as duas bandas moleculares dos electrões  $\pi$ , quer pelo facto das ligações entre os átomos de carbono nas cadeias se apresentarem distorcidas, é termodinamicamente mais estável que o estado metálico (sem hiato, caracterizado por uma única banda molecular e com cadeias de carbono não distorcidas).

Modelos teóricos, tendo como base a sobreposição dos orbitais  $\pi$  e o mecanismo subjacente à instabilidade de Peierls, mas que não tomam em devida conta as repulsões existentes entre os electrões  $\pi$  devido à força de

Coulomb entre cargas do mesmo sinal, conduzem a resultados qualitativamente satisfatórios para as propriedades eléctricas do poliacetileno puro [1], [5], [8].

Quantitativamente surgem no entanto discrepâncias, sendo por exemplo o valor determinado por estes modelos para o hiato inferior ao obtido experimentalmente.

#### 4. A transição semiconductor-metal e as repulsões electrónicas Coulombianas

No caso de sistemas envolvendo efeitos de «baixa dimensão» e ao contrário dos sistemas tridimensionais normalmente estudados em Física da Matéria Condensada, as interações repulsivas entre os electrões parecem assumir um papel relevante.

No caso particular do poliacetileno, se os modelos simples que referimos na secção anterior fornecem um cenário satisfatório para a compreensão da física associada ao seu carácter semiconductor quando puro, não parecem contudo explicar convenientemente a transição para o estado metálico observada devido à dopagem das amostras.

##### 4.1. O conceito de solitão

No caso particular da banda meia cheia, a dimerização associada à instabilidade de Peierls pode assumir duas configurações com igual estabilidade termodinâmica:

*Configuração I* — A ligação entre os átomos 1 e 2 tem comprimento  $l - \delta l$ , entre os átomos 2 e 3  $l + \delta l$ , etc.

*Configuração II* — A ligação entre os átomos 1 e 2 tem comprimento  $l + \delta l$ , entre os átomos 2 e 3  $l - \delta l$ , etc.

Uma cadeia dimerizada, sem defeitos, assumirá uma destas configurações.

O importante conceito de solitão refere-se a uma cadeia onde coexistam domínios das configurações I e II. Aos defeitos que ocorrem nas zonas de fronteira entre esses domínios

chamamos solitões. Estudos teóricos indicam que a estabilidade termodinâmica máxima de tais defeitos ocorre quando estes ocupam cerca de sete átomos de carbono na cadeia [7]. O caso mais simples, em que o solitão se reduz a um ponto da cadeia, está representado na Fig. 3.



Fig. 3 — Representação esquemática de um solitão numa cadeia de trans-poliacetileno.

Como no caso das impurezas num semicondutor, os solitões manifestam-se no espectro dos electrões  $\pi$  através de estados que surgem no meio do hiato de energia.

#### 4.2. A transição semicondutor-metal

Os dados experimentais indicam que, no caso do poliacetileno, esta transição, que corresponde a uma invulgar variação de condutividade eléctrica, toma lugar para valores de dopagem que rondam os 6 % [8].

A aplicação de modelos simples de uma partícula só (isto é, aqueles que desprezam as interacções electrão-electrão) indica que a dopagem conduz a um estado também semicondutor, caracterizado por uma distorção da rede de modulação  $2K_F$ , em que  $K_F$  é o módulo do vector de Fermi no novo preenchimento de banda resultante da variação do número de electrões  $\pi$  (associada à dopagem).

Para valores de dopagem muito pequenos, a configuração termodinamicamente mais estável corresponde a uma rede de solitões, em que o número de solitões iguala o de lacunas ou electrões associados à dopagem. Contudo, a rede de solitões, que evolui continuamente para a fase caracterizada pela distorção de rede de modulação  $2K_F$ , é também um estado semicondutor, pelo que os referidos modelos não prevêm qualquer transição semicondutor-metal.

Mesmo que se considere que sejam os próprios solitões que se tornam móveis, dando origem às propriedades condutoras do polímero dopado, estes modelos falham pois, em vez de se obter um estado metálico para valores de dopagem iguais ou superiores a 6 %, conforme os dados experimentais indicam, conduzem a uma fase metálica que está restringida a valores de dopagem muito inferiores.

A introdução das repulsões Coulombianas entre os electrões é um problema teórico complicado [8]-[14]. Não se pretende neste trabalho abordar técnicas teóricas complexas que ultrapassem o seu âmbito. Pretende-se antes realçar as presentes dificuldades no que respeita à compreensão das notáveis propriedades eléctricas do poliacetileno e esboçar algumas hipóteses sobre os mecanismos físicos a elas associadas.

Estudos teóricos tendo como base a combinação de diferentes efeitos, como a intersecção dos orbitais  $\pi$ , que permite introduzir o conceito de banda molecular, a instabilidade de Peierls, que a divide em duas bandas separadas por um hiato de energia e, finalmente, as repulsões Coulombianas entre os electrões, conduzem aos seguintes resultados [1], [8]):

- No caso do poliacetileno puro, o hiato assume valores de acordo com os obtidos a partir de dados experimentais.
- A dopagem induz uma transição para a rede de solitões que evolui continuamente para a fase com distorção da rede de modulação  $2K_F$ .
- Contudo, e ao contrário do caso da banda meia cheia, para outros preenchimentos de banda as repulsões Coulombianas tendem a destruir a instabilidade de Peierls, sendo este efeito tanto mais forte quanto maior for o afastamento relativamente à banda meia cheia.
- Para os parâmetros característicos do poliacetileno, as interacções electrão-electrão anulam o hiato de energia para valores de dopagem situados entre 3 e 6 %, dando origem a uma transição entre o estado semicondutor caracteri-

zado pela modulação  $2K_F$ , e um estado metálico caracterizado por uma só banda molecular e por cadeias de carbono não distorcidas.

## 5. Conclusões

Embora os resultados que acabamos de referir sugiram que as interacções electrão-electão jogam um papel importante na explicação dos mecanismos físicos justificativos das notáveis propriedades do poliacetileno (que quando dopado exhibe simultaneamente propriedades elásticas e mecânicas características dos polímeros e plásticos, e propriedades condutoras semelhantes às dos metais) há que realçar que não existem ideias definitivas sobre a relação entre os diferentes efeitos que contribuem para a física deste material.

De facto, os resultados teóricos que referimos não tomam em consideração por exemplo a desordem do sistema real. No material real, as cadeias apresentam geometrias estruturais seguramente mais complicadas que o sistema formado por cadeias paralelas, teoricamente considerado.

Outro problema é o processo de condução entre as diferentes fibrilas por que é constituído o material. É bem possível que exista mobilidade dos solitões, o que aliás poderia, em parte, estar também relacionado com as correlações electrónicas.

De qualquer modo, embora a física deste composto orgânico seja certamente a resultante duma série de processos de origens diversas, existe suficiente evidência para se considerar que as correlações electrónicas, ao contrário do que se passa nos materiais inorgânicos tradicionais, assumem no poliacetileno um papel importante. Há aliás que realçar que cálculos teóricos baseados nos efeitos das interacções electrão-electrão provêm, para o hiato de energia do poliacetileno, valores quantitativos em acordo com os obtidos experimentalmente [1].

Paralelamente à necessidade duma refinação do processo de síntese controlada, é indis-

pensável uma melhor e mais quantitativa compreensão teórica dos mecanismos subjacentes às propriedades do poliacetileno e materiais afins, pois só desse modo se conseguirá um controlo mais efectivo das respectivas propriedades electrónicas e ópticas por alteração da estrutura química, indispensável ao desenvolvimento das aplicações tecnológicas destes materiais moleculares orgânicos.

Uma conclusão é contudo segura: a física não trivial destes novos materiais tem por base mecanismos físicos também não triviais, no sentido em que fogem aos cenários associados à física dos materiais inorgânicos tradicionais.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] L. CARLOS — «Propriedades Estruturais e Electrónicas dos Materiais Poliméricos Condutores» (Trabalho de síntese no âmbito das Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica), Universidade de Évora 1989 (não publicado).
- [2] H. SHIRAKAWA e S. IKEDA — *Polym. J.*, **2**, 231 (1971).
- [3] T. ITO, H. SHIRAKAWA e S. IKEDA — *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.*, **12**, 11 (1974).
- [4] E. HÜCKEL — *Z Phys.*, **76**, 628 (1978).
- [5] W. SU, J. SCHRIEFFER e A. HEEGER — *Phys. Rev. Lett.*, **42**, 1698 (1979).
- [6] D. BAERISWYL, G. HARBEKE, H. KIESS e W. MEYER — «Offprints From Electronic Properties of Polymers» (Ed. J. Mort & G. Pfister), *John Wiley & Sons, Inc.*, pp. 267-326 (1982).
- [7] W. SU, J. SCHRIEFFER e A. HEEGER — *Phys. Rev. B.*, **22**, 2099 (1980).
- [8] D. BAERISWYL, J. CARMELO, K. MAKI — *Synth. Met.*, **21**, 271 (1987).
- [9] D. BAERISWYL, J. CARMELO e A. LUTHER — *Phys. Rev. B.*, **33**, 7247 (1986); **34**, 8976 (1986).
- [10] J. CARMELO & D. BAERISWYL — *Phys. Rev. B.*, **37**, 7541 (1988).
- [11] J. CARMELO & D. BAERISWYL — *Int. J. Mod. Phys. B.*, **1**, 1013 (1988).
- [12] J. CARMELO & D. BAERISWYL — *Physica C.*, **153**, 1281 (1988).
- [13] J. CARMELO, D. BAERISWYL e X. ZOTOS — «Proceedings of Nato Advanced Research Workshop on Interacting Electrons in Reduced Dimensions (Eds. D. Baeriswyl & D. Campbell), *Plenum Press* (1990).
- [14] D. BAERISWYL e K. MAKI — *Phys. Rev. B.*, **31**, 6633 (1985); *Proc. Int. Conf. on «Synthetic Metals» (Kyoto 1986), Synth. Met.* (1987).

# Calor e Temperatura

## Que noção têm os alunos universitários destes conceitos? (\*)

MARIA HELENA CALDEIRA e DÉCIO R. MARTINS

Departamento de Física, Universidade de Coimbra

### 1. Introdução

É do conhecimento geral a existência de ideias intuitivas nos alunos, bem como a sua persistência após o ensino formal. Deste dado hoje adquirido, nem sempre estão conscientes os docentes quer do ensino secundário quer do ensino superior. Os alunos chegam, consequentemente, à Universidade, na posse de concepções alternativas, provenientes da mistura mais ou menos caótica das suas ideias preexistentes (que o ensino formal não logrou desmontar) com o resultado do ensino que lhe foi ministrado.

Embora esteja já hoje largamente aceite que subestimar este aspecto do conhecimento conduz a falta de eficácia no ensino, nem sempre o docente universitário reconhece esta situação. Assim, em geral, a este nível, o ensino, ainda que cientificamente correcto peca por pressupor o estágio ideal da estrutura cognitiva do aluno. Notemos que certas afirmações e terminologia, se não forem previamente clarificadas, podem induzir conhecimentos incorrectos quando dirigidas a quem segue «modelos» diferentes.

Neste contexto, tentámos descortinar as ideias que os alunos universitários possuem acerca dos conceitos *calor e temperatura*.

### 2. Breve sistematização dos conceitos

A Termodinâmica roda em torno da noção de energia; a ideia de que a energia é sempre conservada é o ponto de partida fundamental e a base de qualquer análise quantitativa. Assim, o estudo dos conceitos calor e temperatura reside, principalmente, na forma como a energia

de um sistema não isolado pode ser alterada e quais as consequências desta alteração nas suas propriedades termodinâmicas. Este estudo pode ser feito sob os pontos de vista macroscópico, a partir das propriedades médias observáveis (temperatura, pressão, volume, etc.), e microscópico, em que, à luz da Teoria Cinética da Matéria, se consideram os sistemas constituídos por partículas possuidoras de energia cinética devido aos diferentes tipos de movimento que executam, bem como de energia potencial decorrente das diferentes interações a que estão sujeitas.

Historicamente, a Termodinâmica, a Mecânica Estatística e a Teoria Cinética da Matéria desenvolveram-se separadamente a partir de motivações distintas. No entanto, e porque a natureza última da matéria é microscópica, o nosso entendimento das teorias macroscópicas pode ser melhorado consideravelmente se, paralelamente ao seu estudo, reflectirmos sobre os conceitos microscópicos.

De acordo com o princípio da conservação da energia, traduzido pela 1.<sup>a</sup> Lei da Termodinâmica, à variação da energia interna de um sistema corresponde uma variação simétrica da energia das respectivas vizinhanças (se pudermos considerar este conjunto um sistema isolado).

Notemos que, sob o ponto de vista da Termodinâmica macroscópica, apenas podemos concluir (através da constatação de que esta variação é independente do processo pelo qual é obtida) que a grandeza física energia interna

---

(\*) Deste trabalho foi feita uma comunicação em forma de cartaz à VI Conferência Nacional de Física, Física 88, realizada em Aveiro de 26 a 29 de Setembro de 1988.

é uma característica do sistema, uma função de estado. Como facilmente se depreende, se nos debruçarmos sobre a definição de energia interna no contexto microscópico (soma das energias cinética e potencial individuais das partículas constituintes do sistema), esta grandeza física não pode ser medida directamente. Apenas diferenças entre dois estados podem ser inferidas a partir das variações das propriedades termodinâmicas, ou usando a 1.<sup>a</sup> Lei. O cálculo destas variações é um dos problemas centrais da Termodinâmica.

A energia interna de um sistema pode variar, essencialmente por dois tipos de processos:

1. Realização de trabalho.
2. Transferência de energia *não observável como trabalho macroscópico*.

É a esta transferência de energia, que, no contexto macroscópico, se chama calor. Na abordagem microscópica, o conceito de calor não tem significado.

Outro conceito básico da Termodinâmica é a temperatura. Esta propriedade da matéria está relacionada com as percepções sensoriais de frio ou quente. A matéria é mais energética a temperaturas elevadas que a baixa temperatura e o facto mais saliente é a tendência para se igualarem as temperaturas de dois sistemas postos em contacto térmico: passagem de energia do corpo «mais quente» para o corpo «mais frio», até que o equilíbrio térmico seja atingido. Diz-se então que o primeiro sistema estava a temperatura mais elevada que o segundo e a energia transferida chama-se calor.

Sistematizando, poderemos dizer:

A temperatura é a propriedade que indica o sentido do fluxo de energia entre dois corpos postos em contacto. Ou, como Zemanski (1970), «a temperatura de um sistema é a propriedade que determina se o sistema está ou não em equilíbrio térmico com outros».

O calor (tal como o trabalho) é energia num processo de transferência. Daí as habituais definições «forma de energia» ou «energia em trânsito».

Convém notar que, quando o processo de transferência de energia cessa, deixa de existir razão para o uso dos termos «calor» ou «trabalho». Estas designações passam a não ter qualquer utilidade ou mesmo significado. É tão incorrecta a referência a «calor de um corpo» como «trabalho num corpo». O resultado de um processo de transferência de energia sob qualquer das formas referidas é apenas o aumento, decréscimo ou conservação da energia interna e não é possível detectar por qual das formas foi obtido.

Chama-se frequentemente calor à energia transferida de um sistema para outro somente em virtude de uma diferença de temperaturas. Esta definição, dita calorimétrica, é algo restritiva, pelo que, hoje em dia se adopta o conceito mais lato descrito acima: energia que é transferida como trabalho à escala microscópica, e que não pode ser contabilizada como trabalho macroscópico.

Alguns autores adoptam ainda uma chamada definição termodinâmica de calor: energia transferida por meios não mecânicos devida à diferença de temperaturas entre o sistema e as suas vizinhanças.

Os conhecimentos actuais, nomeadamente no que diz respeito à Teoria da Radiação, levam-nos a considerar pouco aconselhável esta definição. Justifica-se facilmente esta afirmação se se reflectir um pouco sobre os chamados mecanismos de transferência de calor. Se na condução e na convecção, *calor* tem contrapartida explicativa imediata sob o ponto de vista microscópico, já o mesmo não será tão evidente no que diz respeito à emissão e absorção de radiação. Assim, nos dois primeiros casos, embora por vias diferentes, a alteração da energia interna dos sistemas em jogo, deve-se a interacção entre as partículas constituintes (colisões atómicas, etc.); quanto ao terceiro, uma vez que a energia transportada pela radiação electromagnética não é *calor*, que lugar haverá para esta designação neste processo? No contexto microscópico (em que tal termo não tem fundamento de existência) é óbvia a causa da variação de energia interna de um corpo que, por exemplo, absorva radiação electromagnética. Para manter a coerência com a referida



definição, é comum aceitar como *calor*, o resultado do balanço energético de todo o processo, isto é, a diferença entre a energia electromagnética total absorvida e a emitida, pois paralelamente à absorção decorre sempre emissão. Claro que, se existe equilíbrio térmico entre os sistemas emissor e receptor, a taxa de emissão é igual à de absorção, dizendo-se então que não há transferência de calor. Mas se pensarmos no exemplo simples de um corpo colocado num espaço em que foi feito o vácuo e que, por algum processo recebe energia electromagnética? Embora haja sempre, em última análise, diferença de temperatura entre a fonte emissora de radiação e o corpo que a recebe, parece-nos muito forçado chamar à causa do aumento de energia interna do corpo, por este processo, *calor* no sentido calorimétrico ou no sentido da definição designada por termodinâmica. Daí que pugnemos pela definição «mais lata» de calor, que expusemos de início e que, além disso, advogemos preferencialmente a designação *mecanismos de transferência de energia*, num contexto mais alargado em que os processos de realização de trabalho macroscópico também sejam incluídos.

### 3. Evolução do conceito de calor

Está razoavelmente bem divulgada a história da evolução do conceito de calor.

O modelo do calórico que dominou no século XVIII, a experiência de perfuração dos canhões de Benjamin Thompson, Conde de Runford, conducente ao descrédito desta teoria, as tentativas engenhosas de determinação do «equivalente mecânico do calor», feita por Joule, são marcos referenciados em quase todas as obras sobre Termodinâmica.

A Biblioteca de Física da Universidade de Coimbra possui uma boa colecção de manuais de Física bem como de revistas científicas adquiridas pelo então Gabinete de Física de Coimbra, desde a sua fundação em 1772. A História da evolução do conceito de calor, estudada através dos textos dos séculos XVIII e XIX, revela-se apaixonante e, no seu porme-

nor, particularmente útil no reconhecimento e compreensão das concepções alternativas dos alunos, bem como no fornecimento de pistas metodológicas para a sua desmontagem.

Não é nosso intuito fazer aqui esse estudo, que, pela sua especificidade, poderá vir a ser tema de outro trabalho. No entanto, dada a notória semelhança entre afirmações feitas pelos alunos e os modelos apresentados nos referidos textos, faremos uma breve resenha dos aspectos mais salientes.

Na nossa pesquisa encontramos:

—o calor definido como *uma qualidade que faz quente ao corpo em que está*. As transformações físicas observadas num corpo fazem-se por *acção dos corpúsculos quentes do calor*.

Padre Noel Regnault (Companhia de Jesus), 1753

—...o calor consiste no *movimento trémulo das partes insensíveis* do corpo: uma pouca de água, quando se está aquecendo, treme visivelmente, principalmente quando o calor é forte, que chega a ferver; quanto mais se aumenta ou diminui o tremor, tanto se aumenta ou diminui *o calor da água*.

—...o frio consiste na *quietasão das mesmas partes*, de sorte que se uma pedra tiver todas as suas partes quietas, sem movimento algum, fica fria;

—...quietasão, ou são os corpos que roubam as partículas de fogo aos corpos cálidos, ou são partículas estranhas que fixam e prendem as partes insensíveis do corpo que se esfria... porque todos sabem que *o frio é o oposto ao calor*.

Teodoro de Almeida, 1758

—A matéria ígnea possui uma tendência para se distribuir uniformemente e de se manter em equilíbrio em todos os corpos. Um corpo mais quente em contraste com outro mais frio, *perde o seu calor* na proporção em que o comunica ao que se encontra mais frio. O primeiro arrefece e o segundo aquece na mesma proporção até que atinjam a mesma temperatura, para depois arrefecerem conjunta e uniformemente, supondo que são colocados um e outro, em contacto com um terceiro a uma temperatura «mais fria», *através da comunicação do calor*.

M. Sigaud de La Fond (professor de Física Experimental e membro da Societé Royale des Sciences de Montpellier), 1781

—o calor é uma sensação de tacto bem conhecida excitada pela matéria do fogo ou da luz. Cada corpo

tem o seu calor específico e não pode perder nem ganhar mais senão por novas combinações com outros corpos; mas voltando ao seu antigo estado tornará a ter o mesmo calor específico que tinha antes de entrar nas ditas combinações. O calor tem a propriedade de tornar fluidos e aeriformes todos os corpos, sendo aplicado em grau necessário.

Vicente Coelho Seabra, 1788

—...a este fluido real ou apenas hipotético, infinitamente subtil, dá-se o nome *calórico*. É necessário distinguir o calórico do calor, que estão um para o outro como a causa e o efeito. *O calor não é mais do que o efeito produzido sobre os nossos órgãos pela passagem do calórico.*

A. Libes (Professor de Física nas Écoles Centrales de Paris), 1801

—o calor é uma influência capaz de afectar os nossos nervos, em geral uma peculiar sensação que recebe o seu nome.

Thomas Young, 1807

—...é óbvio que a força dispendida ao pôr um corpo em movimento é transportada pelo próprio corpo e existe com ele e nele, durante todo o movimento. Esta força possuída pelos corpos em movimento é chamada pelos filósofos mecânicos *vis viva*, ou *força viva*.

—...sempre que a força viva é aparentemente destruída, é produzido um equivalente que, no decorrer do tempo pode ser reconvertido em força viva. Este equivalente é *calor*... Nestas conversões nada é perdido. A mesma quantidade de calor será sempre convertida na mesma quantidade de força viva.

—...Calor tem de, consequentemente, consistir em força viva ou em força de atracção através do espaço. No primeiro caso podemos imaginar que as partículas constituintes dos corpos aquecidos estão, no todo ou em parte, num estado de movimento. No segundo caso, podemos supor as partículas a ser removidas pelo processo de aquecimento, de modo a exercer atracção através de maior espaço.

J. P. Joule, «On Matter, Living Force and Heat», 1874

—O calor atravessa os espaços vazios de toda a matéria ponderável; toda a gente o diz: porque o calor do Sol não chega à Terra senão depois de ter atravessado o vazio dos espaços planetários ...o calor que se propaga assim à distância chama-se *calor radiante*.

—...o calor como a luz

- i) move-se em linha recta e com uma velocidade da mesma grandeza

- ii) reflecte-se segundo as mesmas leis
- iii) refracta-se e divide-se em raios de diversas espécies
- iv) transmite-se através dos corpos e dá nascimento a fenómenos da mesma ordem que os apresentados por ela

—...para um mesmo raio incidente, formado de luz simples, as qualidades reflectidas variam, quando se modificam as circunstâncias da reflexão: seja no estudo do calor ou no estudo da luz deste raio simples, as variações são identicamente as mesmas.

A. Boutan e C. H. D'Almeida, 1863

—...cada luz simples é acompanhada na sua refacção por um calor correspondente; ...a formação de um espectro calorífico demonstra por essa razão que o feixe calorífico solar é composto dum infinidade de calores diversos que se separam uns dos outros (por um prisma) porque são desigualmente refrangíveis.

—...para continuar a analogia que os factos nos revelam entre os calores e as luzes, diremos que aqueles possuem *cores* diferentes, e do mesmo modo chamaremos *calores vermelhos, amarelos*, etc., aos que acompanham no espectro as cores do mesmo nome.

M. J. Jamin, 1869

—A primeira noção de calor é-nos dada por uma sensação de natureza particular, produzida pelos corpos em que tocamos ou que se encontram perto de nós... Estas sensações chamam-se de *quente* e de *frio*.

—O calor é uma *forma de energia* e, consequentemente é equivalente a um certo trabalho.

—O calor (ou energia calorífica) é a *energia cinética ou de movimento das moléculas e dos átomos* que constituem os corpos.

—O calor não é uma substância; é determinado pelo *movimento dos elementos últimos* dos corpos.

—O grau de *aquecimento* de um corpo chama-se *temperatura*.

O. D. Chwolson (Professor da Universidade de S. Petersburgo), 1909

#### 4. As ideias dos estudantes

A um conjunto de 213 alunos das Licenciaturas em Física, Engenharia Química e Engenharia Mecânica, durante a frequência da disciplina de Termodinâmica e Elementos de Mecânica Estatística do 2.º ano dos respectivos planos de estudo, foi pedido que desenvolvessem o tema

## DISTINÇÃO ENTRE CALOR E TEMPERATURA

Algumas respostas dos alunos:

— Quando o nosso tacto nos diz que um corpo está quente ou frio, estamos a referir o *calor que o corpo tem*.

— Calor é uma *sensação dos nossos sentidos*.

— O calor é *aquilo que se transmite* de uma superfície para outras ou *pelo sol*.

— O calor *movimenta-se*.

— Calor é *energia*. A temperatura *quantifica-a*, de modo à sua utilização standartizada.

— Calor é uma *forma de energia que se sente* pelos sentidos humanos.

— O calor está relacionado com *os movimentos moleculares* de um dado sistema.

— Calor é a *agitação dos átomos* no material. Temperatura é uma variável termodinâmica que *traduz numericamente* essa agitação.

— Calor é a quantidade de *energia térmica* que o corpo possui.

— Calor pode ser definido como *energia interna* de um sistema; a temperatura depende do *calor do sistema*.

— O calor define-nos a quantidade de *energia dos corpos*. Se um corpo tem mais energia que outro, *ele tem mais calor* que o outro.

— Calor é uma *propriedade* inerente dos corpos, enquanto que a temperatura é precisamente a *medida dessa propriedade* através duma convenção inicial.

— Calor é a *temperatura fornecida* quando se aquece um corpo.

— Temperatura é a *quantidade de calor que a superfície tem* depois de aquecida.

— Temperatura é a *medida* relativa do calor, isto é, a temperatura mede o *calor de uma substância* relativamente a outra.

— Temperatura é uma *medida* absoluta das *variações de calor*.

— Temperatura é uma característica dos corpos perceptível pelos nossos sentidos (*sentimos calor ou frio*).

— Temperatura está relacionada com as percepções sensoriais do *calor e do frio*.

— Temperatura é *energia interna* do sistema.

Apresentamos nos Quadros 1 e 2 uma análise possível, por cursos, dos diferentes tipos de respostas obtidas. Aceitámos como correcta a definição calorimétrica de calor por ser a única que os estudantes, à data do inquérito, eventualmente teriam aprendido.

Numa primeira leitura, é flagrante a confusão entre os dois conceitos em jogo. Além disso, parece-nos verdadeiramente espantoso que alunos neste nível de ensino tenham a ideia de que a «temperatura é a medida do calor do corpo» (independentemente do significado que atribuem à palavra calor). É frequente lerem-se justificações que afirmam que «um corpo possui calor até que se faça uso do termómetro; depois, passa a ter temperatura».

Também é evidente a tendência natural para a materialização do conceito de calor. Em alunos deste escalão etário já não se deveria verificar esta situação, embora convenha notar que muito pouco conhecemos acerca do nível cognitivo dos estudantes, no que diz respeito à capacidade de abstracção. Raciocinarão eles, na sua maioria, ainda a nível concreto? Muito há, de facto, ainda a fazer, neste campo, em Portugal.

É igualmente perceptível o resultado da tentativa de memorização sem o necessário entendimento. Este facto é típico em qualquer nível de ensino: a falta da estrutura conceptual necessária à total compreensão conduz ao recurso a estratégias alternativas, das quais a mais frequente é a memorização.

É sobretudo notório o fraco resultado do ensino formal na auto-reconstrução das concepções, dada a mistura e sobreposição de ideias bem patente nas respostas.

Não nos parece possível fazer uma análise válida das respostas relativas aos cursos, pela complexidade de parâmetros envolvidos, embora em casos pontuais nos pareça nítida a influência de diferente terminologia e método usados em outras cadeiras (nomeadamente de Engenharia) em que se versam assuntos de Termodinâmica.

## 5. Estudo comparativo do estágio de evolução do pensamento do aluno e da evolução histórica dos conceitos

Tal como afirmámos anteriormente, parece-nos haver alguns pontos comuns entre as respostas dadas pelos alunos e os modelos propostos por diversos autores nos últimos dois séculos da História da Física.

Embora não seja afirmado categoricamente pelos alunos o carácter material do calor, tal como é assumido por alguns autores dos finais do século XVIII, defensores do modelo do calórico, queremos chamar a atenção para algumas afirmações que revelam uma forma subjacente de entender o calor, análoga à daqueles autores.

Por outro lado, é possível detectar uma identidade de pensamento entre autores como *Vicente Coelho Seabra*, *A. Libes* e *Thomas Young* e alguns estudantes, dada a forte semelhança no modo de descrever estes conceitos.

À medida que nos abeiramos do século XX, sente-se uma maior aproximação aos pontos de

vista aceites pela comunidade científica de hoje. A então chamada Teoria Mecânica do Calor constituiu um grande avanço, embora seja evidente, nos primeiros tempos, a confusão *calor-energia calorífica-energia interna*, também tão frequente nas respostas dos nossos alunos.

Mesmo assim, é ainda visível em alguns autores a dificuldade de distinção dos efeitos da radiação como se constata nos estudos do conceito de calor em analogia com a luz. Desenvolveram-se até, tal como para o estudo experimental da Óptica, experiências cuja finalidade era a observação dos efeitos de reflexão e refração do calor! Não encontramos nas respostas dadas pelos alunos, qualquer indício desta forma de entendimento do conceito. Mas há alguns que consideram que *calor é o que se transmite pelo Sol*; daí à aceitação da sua decomposição ou à possibilidade de reflexão por uma superfície polida, não será grande o percurso... Lembremo-nos da frequência com que, no dia a dia, se ouvem afirmações como *o calor reflectido* ou *o calor que incide*.

QUADRO 1 — Respostas dos alunos relativas ao conceito de calor.

CALOR	Física (43 alunos) (%)	Eng. Física (30 alunos) (%)	Eng. Química (61 alunos) (%)	Eng. Mecânica (79 alunos) (%)	Total (213 alunos) (%)
Forma de energia	21.9	31	33.9	32.0	30.3
Energia interna do sistema	4.9	6.9	8.9	9.3	8.0
Sensação de mais ou menos frio	14.6	3.5	1.8	8.0	7.0
Algo que flui, aumenta, diminui, etc.	26.9	20.7	37.5	20.1	26.4
Movimento molecular	9.7			1.3	2.5
Noção correcta	4.9	27.6	5.4	5.3	8.4
Não responde	17.1	10.3	12.5	24.0	17.4

QUADRO 2 — Respostas dos alunos relativas ao conceito de temperatura.

TEMPERATURA	Física (%)	Eng. Física (%)	Eng. Química (%)	Eng. Mecânica (%)	Total (%)
Percepção sensorial	7.3	13.3	5.3	4.0	6.4
Medida da energia cinc. média molecular	2.4	13.3	5.3	4.0	6.4
Medida da energia interna		6.7	5.3		2.5
Propriedade não especificada dos sistemas	31.7	20.0	33.3	25.3	28.1
Função de estado			7.0	2.7	3.0
Medida da quantidade de calor	19.6	3.3	22.8	22.7	19.2
Propriedade mensurável com um termómetro	2.4	6.7	5.3	8.0	5.9
Noção correcta	12.2	26.3	3.5	8.0	10.3
Não responde	24.4	10.0	12.2	25.3	19.2

A conclusão que cabe neste momento tirar é que «a ciência é um sistema lógico que se foi construindo ao longo da História e que se define pelo método que usa para explicar a realidade circundante, na convicção de que a mesma é humanamente compreensível», tal como afirma *Sebastião Formosinho* no seu trabalho, «*Uma perspectiva heurística para o ensino da Química*».

Está aqui bem patente o facto hoje reconhecido de que as ideias provenientes do senso comum sobre os fenómenos do dia a dia (e, naturalmente, as pré-concepções que nelas se alicerçam) têm uma grande semelhança com concepções historicamente datadas, coincidindo a evolução individual com a evolução histórica dos conceitos.

Uma das críticas que, neste contexto se pode fazer ao ensino formal é que o caminho da ciência não é uma via única, pré-determinada e evidente, como geralmente é induzível da maior parte dos manuais escolares de ciências, em que quase tudo é apresentado de forma definitiva e completa. Desta forma parece-nos que seria aconselhável que um bom conhecimento dos múltiplos aspectos da evolução do pensamento científico fosse do domínio dos docentes, no sentido de melhor poderem reconhecer o estágio de desenvolvimento dos seus alunos.

## 6. Causas prováveis

Está provado que, sempre que o ensino-aprendizagem não é bem sucedido, os alunos regressam aos conceitos alternativos algum tempo após este se ter concluído. Não nos debruçaremos pois sobre este aspecto; tentaremos apenas encontrar razões para a grande confusão existente no que concerne a estas noções.

### 6.1. Linguagem do dia a dia

A linguagem do dia a dia é um dos primeiros factores a dificultar a apreensão do conhecimento científico. Ao reflectir o senso comum, o conhecimento vulgar, na maior parte das vezes milita contra o estudante, pela sua

forte implantação e desfazamento da realidade cientificamente aceite. Urge pois provocar a sua ruptura, construindo sobre ela o conhecimento científico racional e válido.

Sendo a Termodinâmica um dos terrenos mais propícios para sofrer a sua influência, atrevemo-nos a sugerir que, nos primeiros contactos do aluno com este estudo, se promova a mais ampla discussão sobre os termos que irão ser usados. Só assim se obterá a desejada interiorização das diferenças entre significados da mesma palavra, nos dois contextos.

A linguagem corrente revela-se consistente com o modelo do calórico, talvez por ser este o de mais fácil conceptualização. Não seria, portanto, aconselhável:

- O aproveitamento de expressões como *está calor, tenho calor, entrar calor, conservar calor, onde o calor bate, o preto absorve o calor, o branco reflecte o calor,...* para, numa análise cuidada, levar o aluno à completa desmontagem deste modelo?
- Lembrar que o contrário de *frio* é *quente* e não *calor*? (Recordemo-nos que a definição de temperatura dada por muitos alunos corresponde à que se encontra em alguns dicionários—*temperatura—grau de frio ou de calor de um corpo*).
- Esclarecer bem o significado de palavras como «aquecer» e «esfriar»?

### 6.2. Influência da bibliografia

Têm sido por demais salientadas as várias incorrecções contidas em livros de Termodinâmica, quer elementares, quer especializados. No entanto, quisemos fazer uma leitura crítica de diversos livros a que os estudantes poderiam ter tido acesso, independentemente da bibliografia utilizada no curso, bem como de alguns manuais normalmente adoptados no 9.º ano do Ensino Secundário e livros de Química, de modo a tentar descobrir justificação para certas afirmações feitas.

Destacamos as incorrecções mais frequentes:

- Confusão de calor com energia interna e uso de uma linguagem que sugere e, para o leitor incauto, corrobora a teoria do calórico.

- Nunca se debruçando sobre o significado do conceito de calor; utilização de designações como:

*quantidade de calor absorvida ou cedida, fluxo de calor, transferência de calor, reservatório de calor*

que se tornam muito perigosas face às ideias incorrectas que os leitores eventualmente possuam <sup>(1)</sup>.

- Ambiguidade associada à designação *energia térmica*:
  - i) Para alguns autores é energia cinética interna; para outros é calor; para outros ainda é simplesmente energia interna...
  - ii) Existem casos em que é definida como energia cinética interna, mas quando é feita a análise de exemplos concretos, é confundida com calor.
- Definição de temperatura como medida da energia cinética interna:

Dizer que a temperatura mede a energia cinética média das moléculas constituintes do sistema é um erro que deve ser evitado. Esta afirmação só faz sentido para gases ideais. Certamente que, quanto mais elevada for a temperatura de um corpo, mais energia as suas moléculas possuirão, mas devemos ter em conta que duas substâncias com a mesma energia média (total ou cinética), por molécula, em geral não se encontrarão à mesma temperatura.

Pese embora a forte correlação existente entre energia cinética interna e temperatura, pensamos como Ogborn (1976), ser incorrecto fazer afirmações que os alunos aprenderão mais tarde não serem totalmente verdadeiras.

- Clarificação pouco cuidadosa do significado da linguagem corrente e uso inapropriado do vocábulo «aquecer». Note-se o uso corrente, já salientado por Zemanski (1972), de frases como «após o aquecimento do sistema, a temperatura deste aumenta». Para além da

redundância (uma vez que aquecer é tornar mais quente), duas questões se põem:

- i) usa-se *aquecimento* com o significado de fornecimento de energia sob a forma de calor o que é manifestamente incorrecto;
- ii) não se tem em conta as transições de fase.

- A própria definição de calor como *energia em trânsito*, quando deficientemente analisada poderá agravar uma apreensão incorrecta do conceito de energia ou até induzir à sua materialização.
- Ausência, em alguns manuais, de qualquer referência aos efeitos resultantes do fornecimento de energia a um corpo (dilatação, transições de fase, etc.) e ao aspecto, quanto a nós básico, do equilíbrio térmico. Não se faz também qualquer ligação com outras variáveis termodinâmicas (pressão, volume).
- Demasiada abstracção na definição de sistema termodinâmico (a nível elementar) e apresentação de poucos exemplos experimentais.

## 7. Considerações finais

Trabalho e calor são conceitos fundamentais em Física com significado científico perfeitamente definido, que devem ser ensinados com clareza.

Se, por um lado, existe uma grande preocupação, no ensino secundário, relativamente ao primeiro destes conceitos (lembramos a habitual insistência na distinção entre *trabalho* e *esforço*), já o mesmo não acontece em relação ao ensino de *calor* e *temperatura*.

É sempre aconselhável, qualquer que seja o objectivo, promover uma ampla discussão nas aulas, proporcionando aos alunos situações em que as suas ideias entrem em contradição, de modo a serem eles próprios a construir o conceito correcto. Reconhecemos que esta abordagem construtivista é, nas condições existentes nas nossas escolas, difícil de concretizar em

<sup>(1)</sup> Não pretendemos com isto a abolição desta terminologia, outrossim a clarificação prévia do seu significado.

toda a sua plenitude. Mesmo assim, será preferível desenvolver este tipo de atitude, ainda que na aproximação possível, do que continuar a seguir as estratégias do ensino formal.

O ponto de partida fundamental para a motivação do diálogo preconizado, deve ser a realização do maior número possível de experiências ou exemplos práticos. A Termodinâmica deve ser de longe o campo em que é mais fácil, com um pouco de imaginação, a partir do dia a dia, improvisar material para este fim. Não está no nosso espírito a realização de experiências executadas com grande rigor, nem sempre fáceis de concretizar; antes o recurso a material acessível de modo a poder estudar efeitos que levem à distinção clara entre os dois conceitos. Observação de causas de aquecimento, dos respectivos efeitos em substâncias diferentes, determinação de temperaturas durante transições de fase, obtenção do equilíbrio térmico são apenas algumas sugestões. Notemos que o recurso quase exclusivo a demonstrações com água não permite necessariamente a total desmontagem dos pré-conceitos. Experiências de ensino já realizadas mostram que as crianças raciocinam de modo diferente consoante os corpos em estudo. Assim, e apenas como exemplo:

— Quanto à temperatura de corpos em determinado ambiente, são capazes de concluir, que só a água fica à temperatura ambiente, enquanto qualquer metal fica mais frio e a lã fica mais quente.

— Em situações de aquecimento, concluem que o modo como a temperatura sobe depende apenas da substância. Postas perante o aquecimento de vários corpos num forno a 60°C, dizem que a farinha fica menos quente porque «é um material que não aquece», que os espetos ficam à temperatura do forno, «porque são de ferro» e que a água fica a uma temperatura superior porque «a água é um material que aquece muito». Esta justificação «aquece muito» pretende muitas vezes significar «aquece rapidamente».

— Relativamente à temperatura de transição de fase, acham que esta é a mais elevada que

a substância pode atingir. Pensam que depende das condições de aquecimento e da massa do corpo.

— Ainda em relação a transições de fase, pensam que é possível liquefazer o ouro, mas nunca o alumínio, porque este é usado nos utensílios de cozinha.

Dever-se-á ter especial cuidado na análise dos exemplos apresentados. É fácil estabelecer confusões entre os diferentes conceitos, quando se estudam casos concretos. Por exemplo, é frequente a confusão entre energia interna e calor, no estudo do que se passa quando um corpo em queda atinge o solo ou quando dois corpos colidem ficando em repouso. É vulgar encontrar explicações em que se refere que a energia se perdeu ou então que se dissipou em calor...

A explicação detalhada do significado científico da linguagem comum deverá merecer grande atenção da parte do professor. Se o aluno perceber correctamente o que significa *entrar frio pela janela* terá dado um passo em frente no estudo da Termodinâmica...

Face ao que foi referido na análise dos manuais escolares, desejaríamos ver abolida a designação *energia térmica* (ou *calorífica*). Como afirma Warren (1970), «só acarreta mais confusão na já por demais existente».

A designação *energia interna* (esclarecido bem o conceito) parece-nos suficiente e não acarreta qualquer ambiguidade. Este nosso desejo insere-se também no contexto mais geral do estudo das transformações de energia e no recurso exagerado e, por vezes tão incorrecto, a classificações «obrigatórias» das diferentes formas de energia.

Perante tudo o que foi dito, parece-nos pertinente uma última reflexão:

O modelo adoptado pela Teoria Cinética é capaz de interpretar os fenómenos físicos de uma forma mais ampla e mais profunda. Facilita a compreensão dos assuntos envolvendo calor, inteiramente em termos dos princípios da Mecânica.

Porque não fazer incidir o mais possível a explicação no contexto microscópico?

No nível em que, no ensino secundário se introduzem, pela primeira vez estes conceitos (9.º ano) parece-nos isto perfeitamente possível, dado o conhecimento que os alunos já possuem da estrutura da matéria. Os novos planos curriculares, se se mantiver o projecto em curso, poderão facilitar a concretização deste objectivo.

#### REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. T. — «Recreação Filosófica» (terceira impressão). Oficina de Miguel Rodrigues, MDCCLVIII.
- ARCHENOLD, W. F. — *Phys. Educ.*, **18**, 149 (1983).
- BOUTAN, A. e D'ALMEIDA, J. C. H. — «Cours Élémentaire de Physique». Dunod, Editeur, Paris, MDCCCLXII.
- CHWOLSON, O. D. — «Traité de Physique». Librairie Scientifique A. Hermann et Fils, 1909.
- LA FOND, M. S. — «Dictionnaire de Physique». A Paris, rue et Hôtel Serpente, MDCCLXXXI.
- FORMOSINHO, S. — Conferência proferida no «X Encontro Anual da Sociedade Portuguesa de Química», 1987.
- JAMIN, M. J. — «Cours de Physique». Gauthier-Villars, Imprimeur-Libraire, Paris, 1869.
- JOULE, J. P. — Manchester Courier Newspaper, 5 e 12 de Maio de 1847.
- KRANS, R. L. — *Phys. Educ.*, **7**, 58 (1972).
- LIBES, A. — «Traité Élémentaire de Physique». De l'imprimerie de Crapelet. A Paris, 1801.
- OGBORN, J. — *Phys. Educ.*, **6**, 272 (1976).
- REGNAULT, P. N. — «Origem Antiga da Física Moderna». Officina de Miguel Manescal da Costa, MDCCCLIII. Traduzido por João Carlos da Silva.
- REYNOLDS, W. S. — «Thermodynamics», McGraw-Hill, 1968.
- SEABRA, V. C. — «Elementos de Química», Real Officina da Universidade, Coimbra, MDCCLXXXVII.
- SOLOMON, J. — *Phys. Educ.*, **18**, 155 (1983).
- TIBERGHIE, A. — «Learning and Teaching at Middle School Level of Concepts and Phenomena in Physics—The Case of Temperature» (preprint).
- WARREN J. W. — *Phys. Educ.*, **7**, 41 (1972).
- YOUNG, T. — «A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts». Printed for Joseph Johnson, St. Paul's Church Yard, by William Savage, Bedford Bury, 1807.
- ZEMANSKY, M. W. — *The Phys. Teach.*, **8**, 294 (1970).
- ZEMANSKY, M. W. — «Calor e Termodinâmica», Ed. Guanabara Dois S. A., 1978.

## ÓRGÃOS REGIONAIS DA SPF (Triénio 1990/92)

Reuniram-se em Janeiro as Assembleias Gerais Regionais da SPF para apreciação dos relatórios de actividade e eleição dos novos órgãos directivos, cuja constituição passou a ser a seguinte:

### Delegação de Lisboa

#### Direcção

*Presidente* — Maria Fernanda Cristóvão da Silva, Investigadora Principal (LNETI).

*Secretário* — António Moreira Gonçalves, Professor Associado (FC—UL).

*Tesoureiro* — Sérgio Costa Ramos, Professor Auxiliar (IST—UTL).

*Vogais* — Ana Maria Silva Freire, Professora Efectiva Ens. Sec., Assistente Convidada (FC—UL).

— Teresa Santos Faria, Professora Electiva do Ensino Secundário.

### Mesa da Assembleia Geral Regional

*Presidente* — Luís Fraser Monteiro, Professor Catedrático (FCT—UNL).

*1.º Secretário* — António de Almeida Melo, Professor Associado (FC—UL).

*2.º Secretário* — Vera Craveiro Reis, Professora Efectiva do Ensino Secundário.

### Delegação de Coimbra

#### Direcção

*Presidente* — Adriano Pedroso de Lima, Professor Associado (FCT—UC).

*Secretário* — Manuel Baptista Fiolhais, Professor Auxiliar (FCT—UC).

*Tesoureiro* — Lourdes Rodrigues Andrade, Professora Auxiliar (FCT—UC).

*Vogais* — Maria Margarida Costa, Professora Efectiva Esc. Sec. Avelar Brotero.

— Maria Helena Dias da Silva, Professora Efectiva Esc. Sec. D. Dinis.

### Mesa da Assembleia Geral Regional

*Presidente* — Fernando Sampaio dos Aidos, Professor Auxiliar (FCT—UC).

*1.º Secretário* — Ana Maria Alte da Veiga, Investigadora Auxiliar (FCT—UC).

*2.º Secretário* — Liliana Pires Ferreira, Assistente (FCT—UC).

### Delegação do Porto

#### Direcção

*Presidente* — José Manuel Monteiro Moreira, Professor Auxiliar (FC—UP).

*Secretário* — Luís Miguel Bernardo, Professor Auxiliar (FC—UP).

*Tesoureiro* — Dietmar Appelt, Assistente Convidado (FC—UP) e responsável pelo sector de Novas Actividades da EFACEC.

*Vogais* — Adriano Sampaio e Sousa, Professor Efectivo do Ensino Secundário.

— José Luís Oliveira Santos, Assistente (FC—UP).

### Mesa da Assembleia Geral Regional

*Presidente* — Maria Renata Arala Chaves, Professora Catedrática (FC—UP).

*1.º Secretário* — Maria do Céu Morais Marques, Professora Auxiliar (FC—UP).

*2.º Secretário* — Maria Manuela Costa Amado, Professora Auxiliar (FC—UP).



# Ruído de fase de lasers semicondutores — Parte II

M. F. FERREIRA (\*), J. F. ROCHA e J. L. PINTO

Universidade de Aveiro

*A largura espectral e o ruído de fase dos lasers semicondutores podem ser devidamente condicionados pelo recurso a uma realimentação óptica externa. Algumas características desse condicionamento, bem como da influência do ruído de fase no desempenho dos sistemas ópticos coerentes, serão revistas neste artigo.*

## 1. Introdução

Num artigo prévio [1] referimos a grande largura espectral dos lasers semicondutores solitários, assim como a existência de picos satélites no seu espectro de emissão, que não é Lorentziano. Tais características impedem a utilização imediata destes lasers em aplicações que exigem um grau considerável de pureza espectral, como sejam as comunicações ópticas coerentes, os sensores interferométricos ou a espectroscopia de alta resolução.

Um dos processos melhor sucedidos para conseguir a purificação espectral dos lasers semicondutores consiste na incorporação de um reflector externo, que proporcione ao laser uma realimentação adicional. Verifica-se, nomeadamente, que a largura espectral do laser diminui aproximadamente com o inverso do quadrado do comprimento da cavidade externa [2].

Tal realimentação é susceptível, contudo, de provocar tanto o estreitamento como o alargamento da linha espectral [3, 4, 5, 6, 7], podendo, neste último caso, dar-se o que alguns autores denominam por «colapso da coerência» do laser [8, 9], gerando-se eventualmente uma espécie de «dinâmica caótica» [10, 11, 12, 13].

No presente artigo ocupar-nos-emos apenas das características relativas a um funcionamento estável do laser, que na prática é conseguido para algumas situações de realimentação externa forte [14]. Abordaremos nas secções 2 e 3 o condicionamento da largura espectral e do ruído de fase, respectivamente, pela realimentação externa. Na secção 4 referir-se-á sucin-

tamente a influência desse ruído de fase no desempenho dos sistemas ópticos coerentes, concluindo-se na secção 5 com um breve sumário.

## 2. Largura espectral de um laser semicondutor com realimentação externa

Na Fig. 1 representa-se o sistema constituído pelo laser semicondutor e pelo reflector externo. Uma análise desse sistema, válida

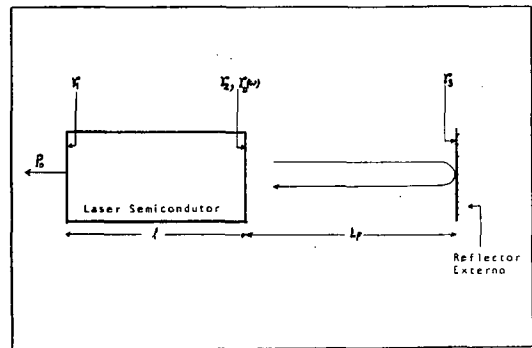


Fig. 1 — Laser semicondutor com realimentação externa.

para um grau arbitrário de realimentação, conduz-nos, a partir da eq. (8) da ref. [1], ao seguinte resultado para a largura espectral [15, 16, 17, 18]

$$\Delta\nu = \Delta\nu_0 / \left[ 1 + \frac{1}{\tau_l} \left\{ \alpha \operatorname{Re} \left( \frac{d \ln r_D}{d \omega} \right) - \operatorname{Im} \left( \frac{d \ln r_D}{d \omega} \right) \right\}^2 \right] \quad (1)$$

(\*) Bolseiro do I.N.I.C.

onde  $\Delta v_0$  é a largura espectral do laser solitário, dada pela eq. (5) da ref. [1],  $\tau_p$  é o tempo de ida e volta na cavidade (activa) laser,  $Re$  e  $Im$  significam «a parte real de ...» e «a parte imaginária de ...», representando  $r_D$  o coeficiente de reflexão efectiva para a face direita do laser da Fig. 1, dado por [19]:

$$r_D(\omega) = \frac{r_2 + r_3(\omega) e^{-i \omega \tau_p}}{1 + r_2 r_3(\omega) e^{-i \omega \tau_p}} \quad (2)$$

$\tau_p$  é o tempo de excursão na cavidade externa. Na Fig. 2 mostra-se a dependência de  $\Delta v/\Delta v_0$  relativamente ao coeficiente de reflexão da face intermédia do laser ( $r_2$ ), para uma cavidade externa de 15 cm de comprimento. Consideram-se vários valores do coeficiente de reflexão externa ( $r_3$ ) e duas situações no que respeita

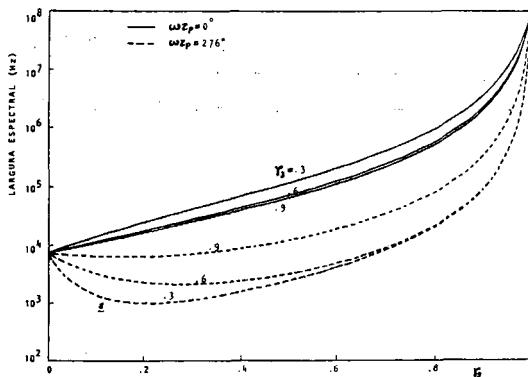


Fig. 2—Largura espectral normalizada ( $\Delta v/\Delta v_0$ ) em função do coeficiente de reflexão da face intermédia, para vários valores do coeficiente de reflexão externa. As linhas a cheio correspondem a um funcionamento coincidente com o mínimo da curva do ganho limiar do laser, enquanto as curvas tracejadas se referem a um funcionamento fora desse mínimo.

à curva de ganho limiar do laser: coincidência (caso em que se pode mostrar ser  $\omega \tau_p = n \cdot 360^\circ$ ,  $n$  inteiro) ou não ( $\omega \tau_p = 276^\circ$ ) com o mínimo dessa curva. Como se pode observar (curva *a'* da Fig. 2), a largura espectral pode ser substancialmente reduzida (cerca de 5 ordens de grandeza) por recurso a uma realimentação forte ( $\geq 10\%$ ) e a uma cavidade longa. Tal possibilidade foi verificada experimentalmente por

Wyatt [20, 21]. No caso de a realimentação ser proporcionada por um espelho simples ( $r_3 = \text{constante}$ ), verifica-se que o modo de funcionamento do laser corresponde praticamente ao mínimo da curva de ganho limiar [18], circunstância em que uma reflectividade mínima da face intermédia do laser favorece um maior estreitamento da linha espectral (linhas a cheio da Fig. 2).

Sendo a realimentação garantida, todavia, por uma rede reflectora ( $r_3 = r_3(\omega)$ ), melhora-se a estabilidade e o comportamento unimodal do laser [22], com a vantagem acrescida de permitir a sintonização deste numa gama de algumas centenas de angstroms [23], podendo determinar-se o seu funcionamento fora dos mínimos da referida curva [18, 21]. Neste caso, a largura espectral mínima é conseguida para uma reflectividade não nula da face intermédia do laser (curvas tracejadas da Fig. 2).

A incorporação de uma cavidade externa ao laser pode proporcionar igualmente uma redução significativa das variações em frequência (chirp), segundo um factor que, em dadas circunstâncias, é a raiz quadrada do factor de redução da largura espectral [18, 24, 25].

### 3. Espectro do ruído de fase e espectro de emissão de um laser semiconductor com realimentação externa

A realimentação externa de um laser semiconductor afecta, para além da sua largura espectral, todo o seu espectro do ruído de fase. As curvas tracejadas da Fig. 3 referem-se a cavidades de diferentes comprimentos ( $0,8 \text{ cm} < L_p < 13,5 \text{ cm}$ ), em situações de realimentação fraca ( $r_3 < 0,05$ ). Constata-se um abaixamento considerável do patamar relativo à região das baixas frequências (as cinco curvas proporcionam a mesma largura espectral), bem como a possibilidade de deslocamento para frequências mais elevadas do pico de ressonância, chegando a acontecer mesmo a sua quase eliminação (curva d) [26, 27]. Nesta última circunstância o espectro de emissão é praticamente Lorentziano.

Na ausência de efeitos parasitas, a banda de modulação em pequeno sinal de um semiconductor é determinada pela frequência das

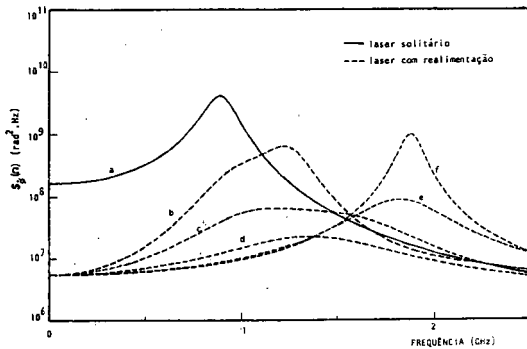


Fig. 3—Espectro do ruído de fase de um laser semiconductor solitário (curva *a*) e com realimentação externa, caracterizada por  $K\tau_p = 0.5$  ( $K$  = coeficiente de realimentação) e  $\tau_p Vr = 0.6$  (b),  $\tau_p Vr = 0.3$  (d),  $\tau_p Vr = 0.1$  (c) e  $\tau_p Vr = 0.05$  (f).  $Vr$  é a frequência de ressonância [27].

oscilações de relaxação [28]. Na Fig. 4 representam-se os valores normalizados  $\bar{\Omega}/\bar{\Omega}_0$  e  $T/T_0$ , da frequência das oscilações de relaxação e da constante de decaimento dessas oscilações, respectivamente, sendo  $\bar{\Omega}_0$  e  $T_0$  os respectivos valores para o laser solitário. Constata-se que, num modo de funcionamento não coincidente com o mínimo da curva de ganho limiar (curvas tracejadas da Fig. 4), a banda de modulação de um laser com realimentação pode ser sensivelmente o dobro da do laser solitário correspondente [25, 28]. Entretanto, a constante de decaimento das oscilações de relaxação diminui com a realimentação do laser (curvas ponteadas da Fig. 4), o que é indesejável do ponto de vista dos sistemas de comunicação [29]. Quando o funcionamento do laser coincide com o mínimo da curva de ganho limiar, não é possível qualquer aumento da frequência das oscilações de relaxação através da realimentação [25] (curvas a cheio da Fig. 4).

Note-se, por fim, que o caso de cavidades externas longas ( $\tau_p \lesssim 2\pi/\bar{\Omega}$ ), em condições de realimentação fraca ou forte, proporcionando embora larguras espectrais admiravelmente pe-

quenas, se caracteriza por um espectro do ruído de fase apresentando grandes picos a múltiplos da frequência de ressonância dessas

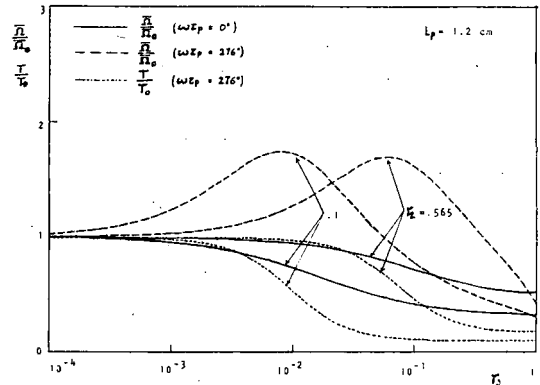


Fig. 4—Frequência e constante de decaimento das oscilações de relaxação, normalizadas pelos valores correspondentes do laser solitário em função do coeficiente de reflexão externa. As curvas tracejadas e ponteadas representam aquelas grandezas, respectivamente, numa situação de não coincidência com o mínimo da curva de ganho limiar, enquanto as curvas a cheio se referem à frequência das oscilações de relaxação quando se verifica tal coincidência.

cavidades, como se pode observar da Fig. 5. Tal facto, determinando valores elevados da variância da fase  $\sigma^2(\tau)$ , revela-se pernicioso

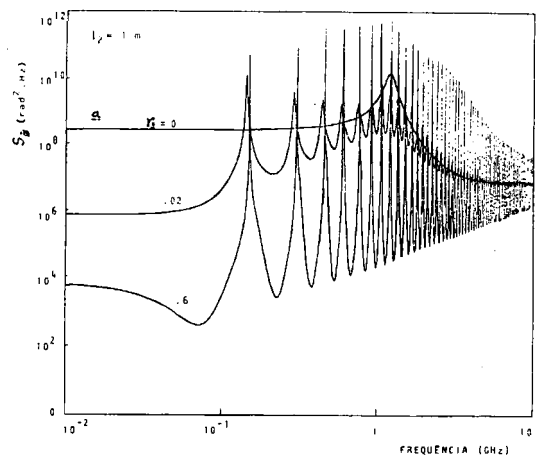


Fig. 5—Espectro do ruído de fase de um laser semiconductor acoplado a uma cavidade externa (passiva) de 1 metro de comprimento, para dois valores do coeficiente de realimentação externa:  $r_3 = .02$  e  $r_3 = .6$ . A curva *a* refere-se ao laser solitário.

para o desempenho dos sistemas ópticos de comunicação coerentes [25, 30, 31], como se verá a seguir.

#### 4. Influência do ruído de fase nas comunicações ópticas coerentes

As comunicações ópticas coerentes conhecem hoje um enorme esforço de investigação e desenvolvimento em muitos laboratórios do mundo, dadas as suas vantagens relativamente aos sistemas ópticos de detecção directa [32]. De facto, através da mistura de um sinal fraco com um campo oscilador local, o sinal detectado é susceptível de ser suficientemente ampliado, de modo a chegar-se próximo do limite físico de detectabilidade, imposto pelo ruído quântico [2, 33]. Além disso, os canais de comunicação podem ser estreitamente espaçados, permitindo uma única fibra e/ou amplificador óptico para a transmissão simultânea de um número elevado desses canais.

O sistema PSK («Phase Shift Keying») homodino permite teoricamente atingir o limite do ruído quântico (9 fotões/bit, para uma taxa de erro de  $10^{-9}$ ), enquanto os sistemas DPSK («Differential Phase Shift Keying»), FSK-DD («Frequency Shift Keying with Delay Demodulation»), ASK («Amplitude Shift Keying») e FSK («Frequency Shift Keying») com duplo filtro apresentam penalizações na sua sensibilidade de 3,5 dB, 5,5 dB, 7 dB e 10 dB respectivamente [34].

Verifica-se, entretanto, que quanto maior aproximação ao limite do ruído quântico (na ausência do ruído de fase) proporciona um dado sistema, mais sensível ele é ao ruído de fase [2].

O desempenho dos sistemas ópticos coerentes no que concerne à influência do ruído de fase é determinado pela variância da fase  $\sigma^2(\tau)$ , definida pela eq. (7) da ref. [1]. Admitindo-se um perfil Lorentziano para o espectro de emissão do laser, temos que  $\sigma^2(\tau) = 2\pi \Delta \nu \cdot \tau$ , sendo  $\Delta \nu$  a largura espectral do laser. Deste modo, os vários sistemas podem ser caracterizados quanto à largura espectral máxima tole-

rada, face a uma determinada taxa de erro de bit. Assim, para uma taxa de erro de  $10^{-9}$ , o sistema PSK homodino necessita de lasers com larguras espectrais inferiores a cerca de 0,05% do ritmo de transmissão, os sistemas heterodinos DPK-DD admitem larguras espectrais máximas de cerca de 0,5% do ritmo de transmissão e os sistemas heterodinos ASK e FSK com duplo filtro cerca de 10% desse ritmo de transmissão [34].

Contudo, ao contrário do que é geralmente admitido na caracterização dos sistemas coerentes, o perfil de emissão dos lasers semicondutores solitários ou com realimentação externa não é geralmente Lorentziano, como se viu na secção anterior. Apenas para cavidades externas pequenas e em dadas condições de realimentação e legítimo admitir um espectro Lorentziano, como pode observar-se na Fig. 6, onde se com-

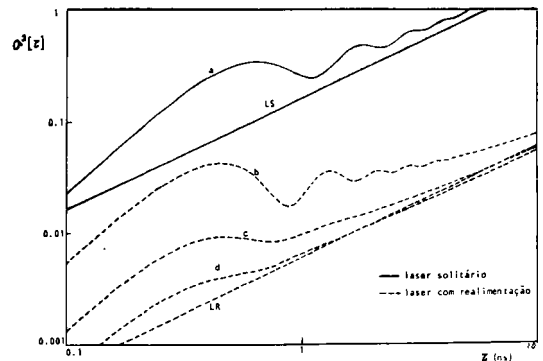


Fig. 6—Variância da fase  $\sigma^2(\tau)$ . As curvas a cheio dizem respeito ao laser solitário, com perfil Lorentziano (LS) ou perfil real (a). As curvas a tracejado referem-se ao laser com realimentação externa, correspondendo às curvas da Fig. 3. A curva LR corresponde a um perfil Lorentziano [27].

para a variância de fase  $\sigma^2(\tau)$  para as duas situações: perfil Lorentziano e perfil real. As curvas apresentadas correspondem às da Fig. 3, podendo ver-se que a curva *d* se acorda razoavelmente com a linha LR, correspondente a um perfil Lorentziano [27]. Em geral, contudo, os valores reais da variância de fase são superiores (por vezes, substancialmente) aos previstos com base nesse perfil [27, 35].

## 5. Conclusões

Os lasers semicondutores solitários, comparativamente a outros tipos de lasers, caracterizam-se por uma grande largura espectral e pela existência de picos satélites no seu espectro de emissão, o qual já não pode considerar-se Lorentziano. Estes fenómenos podem ser convenientemente condicionados pelo recurso à realimentação externa. Por este processo, conseguem-se larguras espectrais da ordem de 1 KHz, facto que, acrescentado à sua pequena dimensão, baixo consumo de potência e longa duração, torna os lasers semicondutores particularmente preferíveis para muitas aplicações. No campo dos sistemas ópticos coerentes de comunicação, todavia, deve atender-se não tanto à largura espectral dos lasers, mas à variância da sua fase, a qual pode ser substancialmente diferente da prevista na hipótese de um modelo Lorentziano para o espectro de emissão.

### REFERÊNCIAS

- [1] M. FERREIRA, J. F. ROCHA e J. L. PINTO — «Ruído de fase de lasers semicondutores — Parte I», *Gazeta de Física*, Vol. 12, n.º 4, 144 (1989).
- [2] C. H. HENRY — «Phase noise in semiconductor lasers», *J. Lightwave Technol.*, LT-4, 298 (1986).
- [3] G. P. AGRAWAL — «Line narrowing in a single-mode injection laser due to external optical feedback», *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-20, 468 (1984).
- [4] E. PATZAK, H. OLESEN, A. SAGIMURA, S. SAITO e T. MUKAI — «Spectral linewidth reduction in semiconductor lasers by an external cavity with weak optical feedback», *Electron. Lett.*, V. 19, 938 (1983).
- [5] K. KIKUCHI e T. OKOSHI — «Simple formula giving spectrum-narrowing ratio of semiconductor laser output obtained by optical feedback», *Electron. Lett.*, V. 18, 10 (1982).
- [6] R. O. MILES, A. DANDRIGE, A. B. TVETEN, H. F. TAYLOR e T. G. GALLORENZI — «Feedback-induced line broadening in cw channel-substrate planar laser diodes», *Appl. Phys. Lett.*, V. 37, 990 (1980).
- [7] L. GOLBERG, H. F. TAYLOR, A. DANDRIGE, J. F. WELLER e R. O. MILES — «Spectral characteristics of semiconductor lasers with optical feedback», *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, MTT-30, 401 (1980).
- [8] D. LENSTRA, B. H. VERBEEK e A. J. DER BOEF — «Coherence collapse in single-mode semiconductor lasers due to optical feedback», *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-21, 674 (1985).
- [9] M. OHTSU — «Frequency stabilization in semiconductor lasers», *Opt. Quantum Electron.*, QE-22, 762 (1986).
- [10] H. OLESEN, OSMUNDSEN e B. TROMBORG — «Nonlinear dynamics and spectral behaviour for an external cavity laser», *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-22, 762 (1986).
- [11] H. KAWAGUCHI e K. OTSUKA — «A new class of instabilities in a diode laser with an external cavity», *Appl. Phys. Lett.*, V. 45, 934 (1984).
- [12] Y. CHO e T. UMEDA — «Chaos in laser oscillators with delayed feedback», *J. Opt. Soc. Am.*, V. 1, 497 (1984).
- [13] K. OTSUKA e H. TWARURA — «Theory of optical multistability and chaos in a resonant-type semiconductor laser amplifier», *Phys. Rev. A*, V. 28, 3153 (1983).
- [14] R. W. TKACH e A. R. CRAPLYVY — «Regimes of feedback effects in 1.5 m distributed feedback lasers», *J. Lightwave Technol.*, Vol. LT-4, 1655 (1986).
- [15] B. TROMBORG, H. OLESEN, X. PAN e S. SAITO — «Transmission line description of optical feedback and injection locking for Fabry-Perot and DBF lasers», *IEEE Quantum Electron.*, QE-23, 1875 (1987).
- [16] A. PATZAK, A. SUGIMURA, S. SAITO, T. MIKAI e H. OLESEN — «Semiconductor laser linewidth in optical feedback configurations», *Electron. Lett.*, V. 19, 1026 (1983).
- [17] D. R. HJELME e A. R. MICKELSON — «On the theory of external-cavity operated single-mode semiconductor lasers», *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-23, 1000 (1987).
- [18] R. F. KAZARINOV e C. H. HENRY — «The relation of line narrowing and chirp reduction resulting from the coupling of a semiconductor laser to a passive resonator», *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-23, 1401 (1987).
- [19] H. SATO e J. OHYA — «Theory of spectral linewidth of external-cavity semiconductor lasers», *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-22, 1060 (1986).
- [20] R. WATT e W. J. DEVLIN — «10 KHz linewidth 1.5 m InGaAsP external cavity laser with 55 mm tuning range», *Electron. Lett.*, V. 19, 10 (1983).
- [21] R. WYATT — «Spectral linewidth of external cavity semiconductor lasers with strong frequency-selection feedback», *Electron. Lett.*, V. 21, 658 (1985).

# 6.ª OLIMPIADAS DE FÍSICA

## Provas Regionais 1990

### Delegação Regional de Coimbra

(25 de Maio de 1990)

#### PROVA PARA O 9.º ANO

1.ª parte (1h 15min.)

I

O material de que dispões para a realização da prova permite que investigues algumas características de circuitos eléctricos. Começa por montar o circuito representado esquematicamente na Fig. 1.

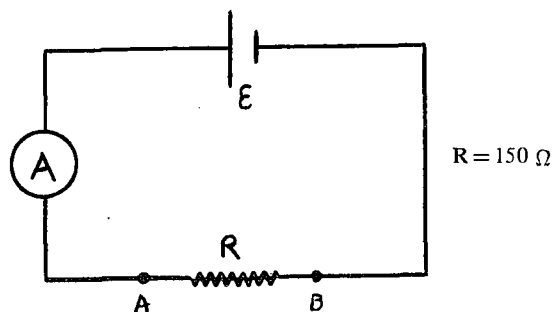


Fig. 1

Regula a fonte de alimentação de modo a que o valor indicado no amperímetro seja de 100 mA. A seguir liga a resistência  $R_p = 18 \Omega$  em paralelo com a resistência de  $150 \Omega$ .

1. Como explicas o facto do amperímetro passar a indicar um valor diferente do que indicava anteriormente?

Roda lentamente o botão de regulação da fonte de alimentação, de maneira a que o valor indicado pelo amperímetro seja ainda 100 mA. Retira o amperímetro da posição em que se encontra e coloca-o no circuito tal como sugere a Fig. 2, de maneira a poderes medir o novo

- [22] N. A. OLSSON e J. P. VAN DER ZIEL — «Tuning characteristics of an external cavity 1.5 m laser oscillator», *Electron. Lett.*, V. 21, (1985).
- [23] M. W. FLEMING e A. MOORADIAN — «Spectral characteristics of external cavity controlled semiconductor lasers», *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-7, 44 (1981).
- [24] G. DUAN, P. GALLION e G. DEBARGE — «Analysis of frequency chirping of semiconductor lasers in the presence of optical feedback», *Opt. Lett.*, V. 12, 800 (1987).
- [25] M. FERREIRA, G. F. ROCHA e J. L. PINTO — «FP and DFB semiconductor lasers with arbitrary external optical feedback», *Proc. SPIE's — OE/Fibers' 89* (Boston, MA, 1989), paper 1175-06.
- [26] P. SPANO, S. PIAZZOLLA e M. TAMBURRINI — «Theory of noise in semiconductor lasers in the presence of optical feedback», *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-20, 350 (1984).
- [27] M. FERREIRA, J. L. PINTO e J. R. F. ROCHA — «Ruído de fase de lasers semicondutores em sistemas ópticos coerentes de comunicação», comunicação à 6.ª Conferência Nacional de Física, Aveiro, Portugal (1988).
- [28] G. P. AGRAWAL e C. H. HENRY — «Modulation performance of a semiconductor laser coupled to an external high-Q resonator», *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-24, 134 (1988).
- [29] G. P. AGRAWAL e T. M. SHEN — «Importance of rapid damping of relaxation oscillations for high-performance optical communication systems», *Electron. Lett.*, V. 22, 1087 (1986).
- [30] N. SCHUNK e K. PETERMMAN — «Minimum bit rate of DPSK transmission for a semiconductor laser with a long external cavity and strong linewidth reduction», *J. Lightwave Technol.*, LT-5, 1309 (1987).
- [31] K. KIKUCHI, T. OKOSHI, M. NAGAMATSU e N. HENMI — «Degradation of bit error rate in coherent optical communications due to spectral spread of the transmitter and local oscillator», *J. Lightwave Technol.*, LT-2, 1024 (1984).
- [32] Y. YAMAMOTO e T. KIMURA — «Coherent optical fiber transmission systems», *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-17, 919 (1981).
- [33] J. SALZ — «Coherent Lightwave Communications», *AT & T Tech. J.*, V. 64, 2153 (1985).
- [34] J. GARRETT e G. JACOBSEN — «The influence of laser linewidth on coherent optical receivers with nonsynchronous demodulation», *J. Lightwave Technol.*, LT-5, 551 (1987).
- [35] S. PIAZZOLLA, M. TAMBURRINI e P. SPANO — «Influence of the non-Lorentzian emission lineshape of laser diodes on the BER floor in DPSK heterodyne optical systems», *Opt. Quantum Electron.*, V. 20, 35 (1988).

valor da intensidade de corrente que passa na resistência  $R$  de  $150 \Omega$ .

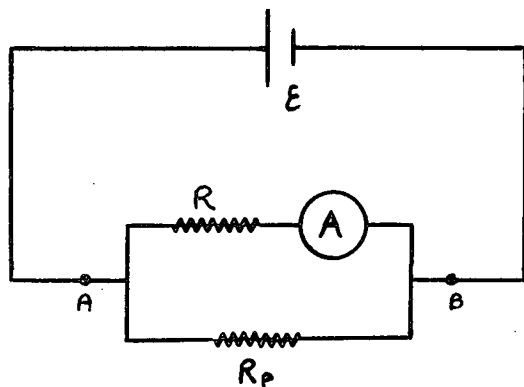


Fig. 2

2. Porque razão não é de  $100 \text{ mA}$  o valor agora indicado pelo amperímetro?

3. Compara os valores das diferenças de potencial entre os pontos A e B do circuito, quando tens apenas a resistência  $R$  e quando tens as duas resistências.

4. Calcula em cada um dos casos o valor da energia dissipada em cada segundo, por efeito de Joule, na resistência  $R$  de  $150 \Omega$ .

5. Qual é o valor da energia total dissipada em cada segundo, nas duas resistências, por efeito de Joule?

## II

Procederás, agora da seguinte forma:

(NOTA: Não te esqueças de registar os valores das leituras que vais efectuar e os das resistências que vais usar):

- Volta a colocar o amperímetro entre a fonte de alimentação e o ponto A do circuito;
- Substitui a resistência  $R_p$  por uma outra resistência  $R_{p_2}$ .
- Regula lentamente a fonte de alimentação de maneira que o valor indicado pelo amperímetro seja novamente de  $100 \text{ mA}$ .

- Retira o amperímetro da posição em que se encontra, e coloca-o no circuito de maneira a poderes medir a intensidade da corrente  $I$  na resistência  $R$ .
- Repete estas operações para as restantes resistências  $R_p$  de que dispões.

6. Numa folha de papel milimétrico desenha dois eixos perpendiculares, definindo sobre o eixo das abcissas uma escala para os valores das resistências  $R_p$ , que ligaste em paralelo com a resistência  $R$ , e no eixo das ordenadas uma escala para as intensidades de corrente  $I$ , que mediste no ramo da resistência  $R = 150 \Omega$ .

7. Representa neste gráfico os pontos  $(R_p, I)$ . Comenta o gráfico que obtiveste.

8. Representa num gráfico os pontos  $(R_p, I_p)$ , sendo  $I_p$  o valor da intensidade da corrente na resistência  $R_p$ . Indica como procedeste para obter os diferentes valores de  $I_p$ .

9. Analisa como variou a diferença de potencial entre os pontos A e B do circuito, para os diferentes valores de  $R_p$ , e representa num gráfico os pontos  $(R_p, V_{AB})$ . Comenta os resultados que obtiveste.

10. Prova que em qualquer dos circuitos que montaste se verifica a relação.

$$I_p = \frac{R}{R_p} I$$

e explica por que razão esta igualdade é verdadeira.

11. Para cada um dos circuitos que montaste calcula o correspondente valor da resistência equivalente entre os pontos A e B. Representa num gráfico os pares de pontos  $(R_p, R_{AB})$  e comenta-o.

12. Para cada valor de  $R_p$ , calcula a energia  $W$  dissipada por efeito de Joule na resistência  $R$  de  $150 \Omega$ , em cada segundo, e representa o gráfico  $(R_p, W)$ .

13. Indica como varia a energia dissipada por efeito de Joule, em cada segundo, na associação de resistências  $R$  e  $R_p$ , para os diferentes valores de  $R_p$ .

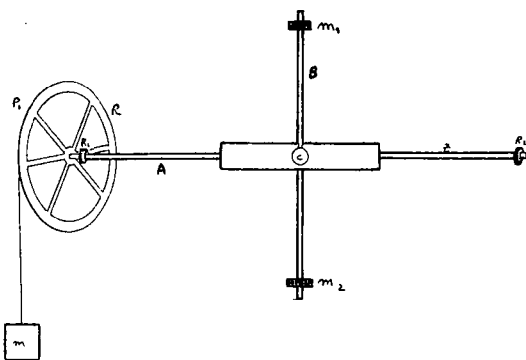
14. O quociente  $W/W_p$ , em que  $W$  e  $W_p$  são as energias dissipadas nas resistências  $R$  e  $R_p$ , respectivamente, permite analisar a forma como é distribuída a energia dissipada por efeito de Joule nas duas resistências que se encontram ligadas em paralelo. Representa um gráfico com os pares de valores  $(R_p, W/W_p)$  que podes obter das leituras que realizaste e comenta o resultado que obtiveste.

PROVA PARA O 11.º ANO

1.ª parte (1h 30 min)

No decorrer da prova vais estudar alguns aspectos relacionados com a cinemática e dinâmica de um corpo em movimento, bem como relações de dependência entre o movimento de diversos corpos que de algum modo interactuam entre si.

Para isso utilizarás o dispositivo representado na figura, que é constituído por uma roda,  $R$ , fixa a uma barra cilíndrica,  $A$ , que por sua vez se encontra fixa a dois suportes através dos rolamentos  $R_1$  e  $R_2$ ; o conjunto pode descrever um movimento de rotação em torno do eixo horizontal em condições de atrito mínimo.



Transversalmente à barra  $A$  encontra-se ligada uma barra  $B$ , sendo de  $90^\circ$  o ângulo entre ambas. Nesta barra serão colocados corpos cilíndricos de massas  $m_1 = m_2$ , igualmente distanciados do ponto médio  $C$  da barra  $B$ . Durante a experiência poderás alterar a dis-

tância de cada uma das massas ao ponto médio da barra  $B$ , recorrendo para isso a uma chave apropriada que faz parte do material de que dispões.

Na roda  $R$  encontra-se enrolado um fio no qual é suspenso um corpo de massa  $m$ , que, ao ser largado, descreve um movimento rectilíneo uniformemente acelerado. Podes determinar o tempo de descida do corpo com auxílio de um cronómetro. Para medir o espaço que o corpo  $m$  percorre até chegar ao chão dispões de uma régua graduada.

I

Como poderás observar, o tempo de descida do corpo  $m$  depende da distância  $r$  a que as massas  $m_1$  e  $m_2$  se encontram do ponto  $C$  da barra  $B$ .

1. Identifica as forças que actuam sobre o corpo  $m$  durante o seu movimento e indica a direcção e sentido de cada uma delas.
2. Quando o corpo  $m$  efectua uma descida, as forças que indicaste em 1. terão intensidades iguais? Justifica a tua resposta.

II

Faz variar a distância  $r$  das massas  $m_1$  e  $m_2$  ao ponto  $C$  da barra  $B$ , mantendo-as equidistantes do ponto  $C$ , e para cada distância mede o tempo que  $m$  demora a chegar ao chão. Repete esta operação para diferentes distâncias  $r$ , fazendo uma medição para  $r = 40$  cm. Regista as medições feitas.

3. Para cada um dos casos em que fizeste as medições anteriores, calcula a intensidade,  $F$ , da resultante das forças que actuam sobre o corpo  $m$ .
4. Representa em papel milimétrico o gráfico da função  $F(r)$ . Que conclusão podes tirar da análise deste gráfico?
5. Indica como podes determinar, em cada caso, o valor da intensidade,  $T$ , da força que o fio exerce sobre o corpo  $m$ .
6. Representa graficamente a função  $T(r)$ . Que conclusão podes tirar?



## III

O ponto  $P_1$  da periferia da roda descreve um movimento circular, enquanto que  $m$  descreve uma trajectória rectilínea.

7. Indica a relação entre os módulos das velocidades de  $P_1$  e de  $m$  em cada instante.

8. Como caracterizas o movimento de  $P_1$  durante a descida de  $m$ ?

## IV

Mede o raio de curvatura da roda  $R$  e considera a situação em que a distância de  $m_1$  e  $m_2$  ao ponto  $C$  é 40 cm.

9. Que relação existe entre os módulos das velocidades de  $m_1$  e do ponto  $P_1$  em cada instante?

10. Que tipo de movimento descreve o corpo de massa  $m_1$ ?

11. A componente centrípeta da aceleração de  $m_1$  mantém-se constante? Justifica.

12. Poderá a resultante das forças que actuam sobre  $m_1$  ter apenas componente centrípeta, enquanto dura a descida do  $m$ ? Justifica.

## V

13. Como sabes a energia cinética de um corpo de massa  $m$  que se move com velocidade escalar  $v$  é dada por  $(1/2) m v^2$ . No caso de  $r = 40$  cm, calcula a expressão que nos dá a energia cinética do corpo  $m$  em função do tempo, durante a descida.

14. Sendo a energia potencial de  $m$  dada por  $E_p = m g h$ , em que  $h$  é a altura em relação ao referencial chão da sala, qual será a expressão da energia potencial de  $m$  em função do tempo?

15. Representa em papel milimétrico a função energia mecânica  $E = (E_c + E_p)$  em cada instante, para o caso em que  $r = 40$  cm. (Considera seis valores diferentes de  $t$ ).

16. Porque razão a energia mecânica de  $m$  não se mantém constante durante a descida?

(9 de Junho de 1990)

## PROVA PARA O 9.º ANO

## Actividade 1 (1h 30min)

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

- Densímetro por calibre (1) (ver Fig. 1)
- Proveta graduada (2)
- Copos contendo:

- solução A (1)
- solução B (1)
- solução C (1)
- solução D (1)

- Esguicho (1)
- Lista com valores de densidades das soluções fornecidas (1)
- Papel milimétrico

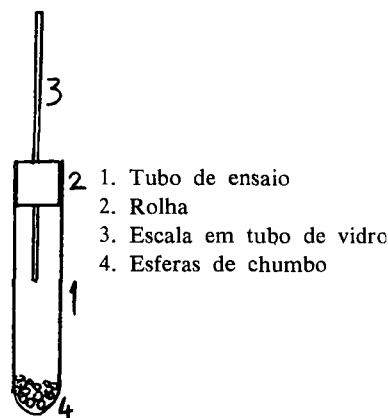


Fig. 1 — Densímetro

2. Coloquem a solução A numa proveta graduada e introduzam nela o densímetro.

3. Adicionem ou retirem esferas de chumbo de forma a garantir que o densímetro fique o mais mergulhado possível na solução A.

4. Reproduzam a escala do densímetro na folha de papel milimétrico marcando nela o nível atingido pela solução.

5. Voltem a repetir os procedimentos indicados em 1 e 3 usando as soluções B, C e D.

6. Façam corresponder a cada uma das soluções A, B, C, D um dos valores das densidades que constam da lista fornecida.

7. Justifiquem a correspondência efectuada em 6.

8. Determinem o valor aproximado da massa do densímetro, justificando:

I—O procedimento;

II—Os cálculos efectuados.

### Actividade 2 (1h 15min)

1. Verifiquem se na vossa mesa de trabalho existe o seguinte material:

- «Caixa mistério» (1)
- Pilha de 4,5 V (1)
- Lâmpada (2)
- Suporte de lâmpada (2)
- Fios de ligação (5)
- Material diverso

2. Observem atentamente a caixa.

Registem os efeitos observados ao ligar o interruptor e ao manusear a peça A.

3. Tendo em conta os efeitos observados construam o(s) circuito(s) que considerem equivalente(s) ao que se encontra no interior da caixa.

4. Façam o(s) esquema(s) do(s) circuito(s) respectivos(s).

5. Elaborem um relatório justificando como a(s) montagens efectuada(s) permite(m) explicar *cada um* dos efeitos observados e registados em 2.

### PROVA PARA O 11.º ANO

#### Actividade 1 (1h 30min)

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

- Molas elásticas (2)
- Pinças de mesa (2)

- Massas marcadas (500 g, 250 g) (3)
- Carrinho dinâmico (127 g) (1)
- Cronómetro (1)
- Papel milimétrico
- Fita cola

2. Ponham a oscilar corpos de massas diferentes, utilizando uma montagem semelhante à do esquema representado na Fig. 1.

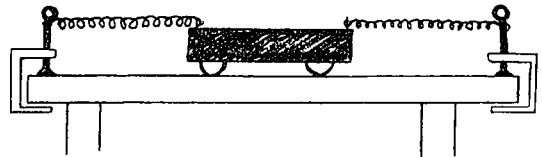


Fig. 1 — Esquema da montagem a utilizar.

3. Estudem a relação entre o período de oscilação ( $T$ ) de um corpo e a respectiva massa ( $m$ ).

4. Registem todas as medições efectuadas e descrevam os métodos utilizados.

5. Enumerem os cuidados a ter a fim de minimizar os erros cometidos nas medições.

6. Estabeleçam a relação que melhor se ajusta nas condições da vossa experiência entre a massa do oscilador ( $m$ ) e o período das oscilações ( $T$ ).

(Verifiquem por exemplo de entre as seguintes relações qual a que melhor se ajusta  $m = kT$ ;  $mT = k$ ;  $m = kT^2$ ;  $mT^2 = k$ ).

Justifiquem a relação encontrada.

7. Determinem o valor da constante ( $k$ ), fazendo a estimativa do respectivo erro.

8. Discutam as transformações de energia envolvidas.

#### Actividade 2 (1h)

Um agricultor mandou abrir um furo na sua quinta a fim de obter água para irrigação.

O nível da água no furo, oscila, ao longo do ano, entre 60 m e 80 m em relação à superfície do terreno.

O agricultor pretende colocar nesse furo uma bomba submersível e respectivo motor eléctrico de modo a obter um caudal de água de 500 + 30 l/min durante todo o ano.

Na folha em anexo apresentam-se as curvas características de diferentes bombas submersíveis — SP45, que se adaptam às propriedades físicas da água do furo.

Cada curva diz respeito a uma bomba com determinada potência útil.

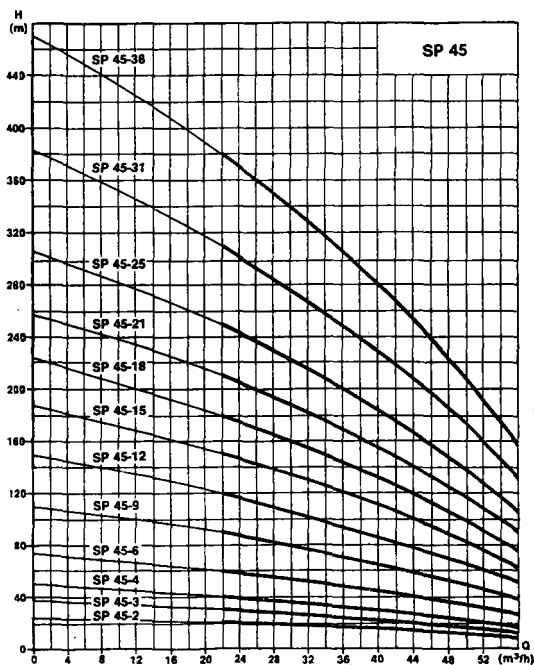
1. Sabendo que as bombas têm um rendimento médio de 80%, coloquem-se na posição do agricultor e decidam sobre:

- I—A bomba a adquirir;
- II—O motor a adquirir.

2. Justifiquem as vossas decisões e apresentem todos os cálculos efectuados.

### Características Técnicas

#### Curvas características



### Delegação Regional do Porto

#### PROVA PARA O 9.º ANO

1.ª Parte (90 min)

#### PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES

#### Material disponível:

- 1 corpo metálico
- 1 fio de nylon

- 1 proveta de 100 cm<sup>3</sup>
- 1 dinamómetro
- 1 garrafa de esguicho contendo água destilada

#### Introdução:

Arquimedes, ilustre geômetra da Antiguidade, nasceu em Siracusa (Sicília, então uma colónia grega) em 287 a.C. Inventou as roldanas, o parafuso sem fim, as rodas dentadas; descobriu também a condição de equilíbrio nas alavancas. Uma circunstância curiosa da sua vida, está ligada à descoberta de um dos mais importantes princípios da Hidrostática. Hierão, rei de Siracusa, suspeitou de que um artifice que lhe fabricara uma coroa de ouro lhe tinha juntado uma certa quantidade de prata. Consultou Arquimedes sobre os meios de descobrir a fraude, conservando a coroa intacta. O ilustre sábio reflectiu longo tempo sobre o caso, sem lhe encontrar a solução. Um dia em que tomava banho percebeu que os seus membros mergulhados na água, perdiam uma parte considerável do seu peso: por exemplo, podia elevar uma das pernas com a maior facilidade. Foi uma revelação, que o conduziu à determinação deste grande princípio:

«Todo o corpo mergulhado num fluido fica sujeito à acção de uma força vertical, orientada de baixo para cima, cuja intensidade é igual à do peso de um volume de fluido igual ao volume imerso do corpo».

No entusiasmo que lhe causou tal descoberta, saltou do banho e saiu para a rua nu, gritando: Heureka! Heureka! (Achei! Achei!)

#### Objectivo do trabalho:

Com o material disponível, verifica experimentalmente o princípio de Arquimedes, aplicado ao corpo metálico mergulhado em água.

Apresenta os resultados dos cálculos arredondados às décimas.

Toma para a massa volúmica da água o valor de 1,0 g/cm<sup>3</sup>.

No final, elabora um relatório sucinto do trabalho realizado.

### Pontuação:

- Realização experimental — 0 a 5 pontos
- Medições — 0 a 5 pontos
- Cálculos — 0 a 5 pontos
- Relatório — 0 a 5 pontos

### 2.ª Parte (40min)

#### ... Ainda o princípio de Arquimedes

Se a esfera fosse substituída por uma esfera de madeira de cedro com as mesmas dimensões, o que aconteceria quando a mergulhasses em água? Justifica através de cálculos.

Toma para a massa volúmica da madeira o valor de  $0,4 \text{ g/cm}^3$ .

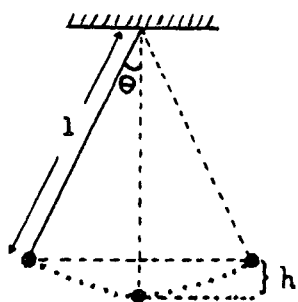
### PROVA PARA O 11.º ANO

### 1.ª Parte (90min)

#### Pêndulo mecânico

##### Material disponível:

- 1 pêndulo mecânico
- 1 suporte
- 1 régua graduada
- 1 transferidor
- 1 cronómetro
- 1 rolo de fita adesiva



$\theta$  — Amplitude de oscilação.  
 $l$  — Comprimento do pêndulo.

##### Introdução:

Como deves saber, em todos os relógios antigos de parede, existe uma peça a que se chama pêndulo, responsável pela marcação correcta do tempo. O pêndulo descreve um movimento periódico, isto é, demora sempre

o mesmo intervalo de tempo  $T$  (periódico) a passar duas vezes consecutivas pela mesma posição, desde que o ângulo (amplitude) de oscilação não ultrapasse aproximadamente os  $15^\circ$ .

Um pêndulo mecânico, depois de o colocarmos em movimento, permaneceria indefinidamente com esse movimento, se não existissem forças quer de atrito quer de resistência do ar. Em termos energéticos, desprezando essas forças, podemos dizer que no pêndulo há conservação de energia mecânica.

##### Objectivo do trabalho:

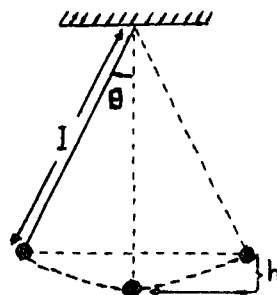
Colocando o pêndulo a oscilar com uma amplitude de cerca de  $15^\circ$ , determina a velocidade máxima que ele atinge no seu movimento. Em seguida determina o período de oscilação do pêndulo para amplitudes não superiores a  $15^\circ$  e demonstra que o seu valor deixa de ser constante para maiores amplitudes.

No final elabora um relatório sucinto do trabalho realizado.

##### Pontuação:

- Realização experimental — 0 a 5 pontos
- Determinação de  $v$  — 0 a 5 pontos
- Determinação de  $T$  — 0 a 5 pontos
- Relatório — 0 a 5 pontos

### 2.ª Parte (40min)



#### ... Ainda o pêndulo mecânico

Com a ajuda da figura e através de considerações energéticas, deduz uma expressão matemática que relacione a velocidade máxima,  $v$ , atingida pelo pêndulo, com o seu comprimento,  $l$ .

Os vencedores destas Olimpíadas Regionais de 1990 foram:

## Delegação Regional de Coimbra

### 1. Olimpíadas Regionais de Física

Decorreram no passado dia 25 de Maio, no Departamento de Física da Universidade de Coimbra, as Provas Regionais das Olimpíadas de Física/1990, com o seguinte programa:

- 9h00 — Recepção das equipas participantes;
- 10h00 — Início das provas teórico-experimentais;
- 13h00 — Almoço;
- 14h30 — Provas facultativas;
- 17h30 — Lanche, seguido de distribuição de prémios.

Durante a tarde, e para as equipas que não participaram nas provas facultativas, realizaram-se visitas guiadas à Universidade, ao Museu Nacional da Ciência e da Técnica e ao Jardim Botânico.

Participaram nestas Olimpíadas 30 equipas do 9.º ano e 22 do 11.º ano em representação das 34 Escolas Secundárias e «C+S» da Zona Centro a seguir indicadas:

Esc. Sec. Homem Cristo (Aveiro), Dr. Manuel Gomes de Almeida (Espinho), Dr. Manuel Laranjeira (Espinho), Santa Maria da Feira (Feira), Nuno Álvares (Castelo Branco), Fundão, Avelar Brotero (Coimbra), Infanta D. Maria (Coimbra), José Falcão (Coimbra), Afonso de Albuquerque (Guarda), Raul Proença (Caldas da Rainha), Figueiró dos Vinhos, Francisco Rodrigues Lobo (Leiria), Peniche, Pombal, Alves Martins (Viseu), Viriato (Viseu), Marquês de Castilho (Águeda), Esmoriz, Mealhada, Esc. «C+S» de Couto de Cucujães (Oliveira de Azeméis), Esc. Sec. N.º 1 de Ovar, Amato Lusitano (Castelo Branco), Esc. «C+S» de Idanha-a-Nova, Sertã, Esc. Sec. D. Dinis da Pedruiha (Coimbra), Quinta das Flores (Coimbra), Dr. Bernardino Machado (Figueira da Foz), Esc. «C+S» de Penela, Esc. Sec. da Sé (Guarda), Esc. «C+S» de Ansião, Esc. Sec. Domingos Sequeira (Leiria), Esc. «C+S» da Guia (Lourical), Esc. Sec. Carregal do Sal, Emídio Navarro (Viseu).

### A) Provas teórico-experimentais:

9.º ano — Escola Secundária de Amato Lusitano—Castelo Branco, formada pelos alunos

Filipe Alexandre Casta Ganança  
João Carlos Tomás Barateiro  
Nuno Miguel Duarte Almeida

11.º ano — Escola Secundária Afonso de Albuquerque — Guarda, formada pelos alunos

Dulce Maria Almeida Morgado  
Elsa Sofia Cruz Martins  
Pedro Tiago Coelho Nunes

### B) Provas de criatividade:

Programa de Computador: Escola Secundária de Avelar Brotero—Coimbra, equipa do 11.º ano formada pelos alunos

João Osório Gomes  
Raquel Susana Giraldes Caseiro  
Rui Pedro Carvalho Paiva

Dispositivo Experimental: Escola Secundária de Raul Proença, Caldas da Rainha, com o trabalho «Aparelho rudimentar baseado nas leis da Óptica». A equipa vencedora, do 9.º ano, foi formada pelos alunos:

Alice Paula Alves Urbano  
Mafalda Susana Sousa  
Vítor Jorge Rodrigues Nobre

A Delegação de Coimbra da S.P.F. contou com o apoio e patrocínio das seguintes entidades: Departamento de Física da Universidade de Coimbra, Serviços Sociais da Universidade de Coimbra, Instituto Botânico da F.C.T.U.C., Museu Nacional da Ciência e da Técnica, Gradiva Publicações Lda., Unidose — Com. e Dist. Alimentar Lda. e Proleite — Coop. Agr.

Prod. de Leite Cent. Litoral. Agradece-se ainda a colaboração prestada por docentes, investigadores e funcionários do Departamento de Física da Universidade de Coimbra que, com o seu empenho, muito contribuíram para o êxito desta organização. Especial referência deve ser feita aos elementos dos júris e a todos os que prepararam, acompanharam e corrigiram as provas.

## 2. Acções

Foram realizadas as seguintes acções destinadas a alunos e professores do Ensino Secundário:

«O núcleo atómico: estabilidade e desintegração», pelo Prof. Doutor Adriano Pedroso Lima, na Escola «C+S» da Tocha, em 28/4/90.

«Elementos da Teoria da Relatividade Restrita», pela Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria da Conceição Ruivo, na Escola Secundária n.º 1 de Ovar, no dia 2/5/90; e na Escola Secundária Domingos Sequeira, Leiria, no dia 3/5/90.

«Leis Fundamentais da Mecânica», pelo Prof. Doutor Luís Alte da Veiga, na Escola Secundária Nuno Álvares, Castelo Branco, no dia 3/5/90.

«Campos», pelo Dr. José António Paixão, na Escola Secundária Nuno Álvares, Castelo Branco, no dia 3/5/90.

«Física e Desporto», pela Prof.<sup>a</sup> Doutora Margarida Ramalho, na Escola Secundária de Gouveia, no dia 3/5/90.

«Partículas Elementares», pelo Prof. Doutor Manuel Fiolhais, na Escola Secundária de Tondela, no dia 14/5/90.

«Origem do Universo», pelo Prof. Dr. Manuel Fiolhais, na Escola Secundária da Mealhada, no dia 16/5/90.

«Mecânica Quântica — Perspectivas no tempo», pela Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Helena Caldeira na Escola Superior de Educação de Castelo Branco, no dia 23/5/90.

«Mecânica Quântica: o que é?», pela Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Helena Caldeira, na Escola Secundária de Seia, em 30/5/90.

## Delegação Regional de Lisboa

### 1. Física 90

A cargo desta Delegação decorre a organização da 7.<sup>a</sup> Conferência Nacional de Física, que terá lugar de 24 a 27 de Setembro (ver Anúncio noutra local da Gazeta). Quase concluído o prazo para recepção de comunicações (31 de Maio) encontram-se já inscritos cerca de 500 participantes e foram recebidas cerca de 170 comunicações. Espera-se que até à realização da Conferência haja mais físicos que se venham a inscrever, atendendo ao nível e interesse das sessões plenárias já asseguradas, assim como à variedade do programa que pretende cobrir os interesses específicos de investigadores e professores.

### 2. Olimpíadas Regionais de Física

Como vem acontecendo nos últimos anos, teve lugar no Edifício C1 da Faculdade de Ciências de Lisboa, no dia 9 de Junho de 1990, a etapa regional das Olimpíadas de Física para alunos do ensino secundário da região de Lisboa, Sul e Ilhas. A organização esteve a cargo de uma comissão constituída pelos professores do Ensino Secundário Teresa S. Faria, Jacques Baptista, Edite Fiuza, Vera Craveiro Reis, Ana Gonçalves, Adelaide Oliveira e do Departamento de Educação da F.C.U.L., Ana Freire e Maurícia de Oliveira. Esta Comissão contou ainda com a cooperação de muitos outros docentes de diversas Escolas do Ensino Secundário, do Colégio Militar e, naturalmente, dos Departamentos de Física e Educação da Faculdade de Ciências. Colaboraram ainda alunos das Licenciaturas em Ensino da Física e da Química da Faculdade de Ciências de Lisboa e alunos da Escola Sec. de St.º António dos Cavaleiros. A todos a Direcção da Delegação Regional de Lisboa expressa o seu público agradecimento.

Das 37 Escolas Secundárias que tinham declarado a intenção de enviar concorrentes estiveram presentes as 33 seguintes:

Alenquer, Jaime Moniz (Funchal), Mouzinho da Silveira (Portalegre), Queluz n.º 2, Emídio Navarro (Almada), n.º 1 de Abrantes, Falagueira, Machado de Castro, Alves Redol (Vila Franca de Xira), Maria Lamas (Torres Novas), Fernão Mendes Pinto (Pragal), Benfica, St.ª Maria do Olival (Tomar), Torres Novas n.º 2, Pedro Nunes, Fonseca Benevides, Linda-a-Velha, Rio de Mouro, Olhão, Sobral de Monte Agraço, Alvide (Cascais), Gama Barros (Cacém), Sebastião da Gama (Setúbal), Vila Nova de Ourém, Pupilos do Exército, Instituto de Odiveiras, Caneças, St.º André (Santiago do Cacém), Paço de Arcos, St.º António dos Cavaleiros, Amora, Tavira e D. João de Castro.

Cerca de 200 alunos, constituindo 33 equipas de 9.º ano e 17 de 11.º ano, participaram nas provas teórico-experimentais e ainda nas provas originais versando um tema de Física.

Foram vencedoras nas diferentes provas as seguintes equipas:

a) *Prova Teórico-Experimental*

9.º ano — Esc. Sec. Fonseca Benevides — Lisboa

Ludmyla Amorim  
Pedro Santa  
Sérgio Correia

A equipa do 9.º ano da Escola Secundária de Alvide constituída pelos alunos:

Fernando Cristóvão  
Daniel Santos  
José Pedro Coelho (recebeu nesta prova uma menção honrosa)

11.º ano — Esc. Sec. Sebastião da Gama — Setúbal

Cândida Cigarra  
António J. Curado  
Sofia Teles

b) *Prova de Criatividade*

b) 1 — *Programa de Computador*

9.º ano — Esc. Sec. Machado de Castro — Lisboa

Fábio Silva  
João Isidro  
Pedro Coelho

b) 2 — *Dispositivo Experimental*

11.º ano — Esc. Sec. Benfica

Catarina Leal  
Nuno Salvador  
Paulo Fontoura

Prémio ex-aequo nesta categoria para:

9.º ano — Esc. Sec. da Falagueira

Eva Jerónimo  
Isabel Jerónimo  
Luís Sobral

b) 3 — *Outros*

9.º ano — Esc. Sec. Maria Lamas — Torres Novas

Joana Silva  
Pedro Vieira  
Ana Rita Marto

Durante a tarde, os alunos e professores acompanhantes efectuaram visitas guiadas ao Museu da Ciência da Universidade de Lisboa, Museu Nacional de História Natural e Jardim Botânico.

Pelas 20h00 do mesmo dia foram distribuídos os prémios às equipas vencedoras e respectivas escolas, assim como prémios de participação a todos os alunos.

A Delegação Regional de Lisboa contou com o apoio das seguintes entidades:

Conselho Directivo da Faculdade de Ciências de Lisboa e respectivos departamentos de Física, Educação, Matemática e Química, Secretaria de Estado de Reforma Educativa, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Tecnodidáctica, Porto Editora, Lda., Editorial Caminho, FOC Escolar, Nucleon, Instituto Alemão, CTT — Direcção Regional de Correios, Montepio Geral, Gradiva Publicações, Lda., Multinova, Interlog, S.A., CP — Caminhos de Ferro Portugueses, Wea Portuguesa, Gávea, Recursos Educativos, Museu da Ciência da Universidade de Lisboa, Museu Nacional de História Natural, Liga de Amigos do Jardim Botânico, JNICT.

## Delegação Regional do Porto

### 1. Olimpíadas de Física 1996

Decorreram nos passados dias 9 e 10 de Maio, na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, as provas regionais para os 9.º e 11.º anos de escolaridade, respectivamente, com o seguinte programa:

9h00 — Recepção das equipas participantes;  
09h30 — Realização das provas experimentais e teóricas;  
13h00 — Almoço;  
14h30 — Classificação das provas facultativas;  
17h00 — Distribuição de prémios;  
17h30 — Lanche.

Participaram nestas Olimpíadas 29 equipas do 9.º ano e 27 do 11.º ano em representação das Escolas Secundárias e «C+S» da Zona Norte a seguir indicadas:

Esc. Sec. Camilo Castelo Branco (V. N. Famalicão), Gondomar, Valbom (Gondomar), Amarante, Garcia de Orta (Porto), Colégio Ultramarino Nossa Senhora da Paz (Macedo Cavaleiros), Esc. Sec. Macedo de Cavaleiros, Fafe, Emídio Garcia (Bragança), Infante D. Henrique (Porto), Esc. «C+S» Gueifães (Maia), Esc. Sec. Esposende, Padrão da Légua (Matosinhos), Rio Tinto, Augusto Gomes (Matosinhos), Almeida Garrett (Porto), Vila Verde, Águas Santas (Ermesinde), Monção, Mogadouro, Esc. «C+S» Pevidém (Guimarães), Esc. Sec. Marco de Canaveses, S. Pedro (Vila Real), Camilo Castelo Branco (Vila Real), Martins Sarmento (Guimarães), Alexandre Herculano (Porto), Carolina Michaëlis (Porto), Vila Pouca de Aguiar, Fontes Pereira de Melo (Porto), Carvalhos, Vimioso, Paços de Ferreira, Barcelinhos (Barcelos), António Nobre (Porto), Externato Nossa Senhora do Perpétuo Socorro (Porto), Esc. Sec. Eça de Queirós (Póvoa de Varzim), António Sérgio (Vila Nova de Gaia), Paredes.

Os vencedores destas Olimpíadas Regionais 1990 foram:

A) *Provas teórico-experimentais:*

9.º ano — 1.ª Classificada — Escola Secundária de Eça de Queirós — Póvoa de Varzim

Vítor Manuel dos Santos Cardoso  
Ricardo Luís Correia Marques  
Sara Alexandra Azinheira Vaz

2.ª Classificada — Escola Secundária de Paredes

Sofia Alexandra Campos de Sá  
Ana da Maia Garcês  
Susana Manuela Ribeiro da Silva

3.ª Classificada — Escola Secundária de Garcia da Orta

Rui Capucho  
Francisco Baldaque Silva  
João Areias Sobrinho Simões

11.º ano — 1.ª Classificada — Escola Secundária de Eça de Queirós — Póvoa de Varzim

Ana Catarina Almeida Sampaio  
Maria José Giesteira Pereira  
Paulo Jorge dos Santos Rodrigues

2.ª Classificada — Escola Secundária de Fontes Pereira de Melo

Diogo Pimenta Lemos Pereira  
Francisco Sobrinho Simões de Almeida Lobo  
Vera Lúcia Paiva da Silva

3.ª Classificada — Escola Secundária de Leça da Palmeira

Jorge Alexandre Beco  
Luís Paulo Martins da Silva Chilro  
Mário António Soares Henriques

B) *Provas de criatividade:*

Dispositivo experimental — Externato Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, equipa do 11.º ano formada pelos alunos

Vítor Manuel de Azevedo Pimentel  
João Paulo Duarte Santos  
Luís Miguel Araújo Rosas

Dispositivo experimental — Escola Secundária de Esposende, equipa do 9.º ano formada pelos alunos

Maria Manuela Vilarinho  
Paulo Alexandre Loureiro de Faria  
Cristina Maria Martins Rodrigues

A Delegação do Norte da S.P.F. contou até ao momento com o apoio e patrocínio do Banco Nacional Ultramarino e Departamento de Física da Universidade do Porto esperando ainda que o Governo Civil do Porto e a Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica (JNICT) igualmente contribuam para esta organização.

Agradece-se ainda a colaboração prestada por docentes, investigadores e funcionários do Departamento de Física da Universidade do Porto e de Escolas Secundárias da área do Porto que, com o seu empenho, muito contribuíram



para o êxito desta organização. Especial referência deve ser feita aos elementos dos jurís e a todos os que prepararam, acompanharam e corrigiram as provas.

## 2. Acções

Foram realizadas as seguintes acções destinadas a alunos e professores do Ensino Secundário:

«*Supercondutividade*» pelo Prof. Doutor Ferreira da Silva no Anfiteatro de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, em 14/03/90.

«*Laser: Princípios e Aplicações*» pelo Dr. Dietmar Appelt, no Colégio Cedros, em 16/03/90.

«*Demonstrações Laboratoriais de Óptica e Lasers*» pelo Prof. Dr. A. Pereira Leite, na Escola Secundária António Nobre, em 03/05/90.

«*Métodos Numéricos na Resolução de Alguns Problemas de Física*» pelo Prof. Dr. José Manuel Moreira, no Anfiteatro de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, em 18/05/90.

«*O raio verde*» pelo Dr. José Luís Campos de Oliveira Santos, na Escola Secundária de Paredes, em 23/05/90.

---

## DIVISÃO TÉCNICA DE EDUCAÇÃO

No ano de 1989 a Divisão Técnica de Educação prosseguiu a actividade de formação de professores que há já alguns anos tem vindo a realizar. As acções de formação levadas a cabo foram, por ordem cronológica, as seguintes:

06/01 — *Uso dos computadores no ensino da Física* — Orientador: Carlos Fiolhais (F.C.T.U.C.), Local: U.N.L., Participantes: 14 professores.

22 e 23/01 — *Tratamento experimental da Cinemática e da Dinâmica* — Orientadores: Luís Alte da Veiga e Décio Martins (F.C.T.U.C.), Local: Escola Sec. de Santa Maria da Feira, Participantes: 21 professores.

23/01 — *Ideias intuitivas em Física* — Orientadora: Marília Fernandes Thomaz (D.F.U.A.), Local: Escola Sec. de Esgueira (Aveiro), Participantes: 16 professores.

14/02 — *Teoria de Relativa Restrita* — Orientadora: Maria Estela Pereira (D.F.U.A.), Local: Escola Sec. Emídio Navarro (Viseu), Participantes: 39 professores.

20 e 21/02 — *Tratamento experimental da Cinemática e Dinâmica* — Orientadores: Luís Alte da Veiga e José António Paixão (F.C.T.U.C.), Local: Escola Sec. n.º 1 de Beja, Participantes: 21 professores.

20/02 — *Uso dos computadores no ensino da Física* — Orientador: Carlos Fiolhais (F.C.T.U.C.), Local: Escola Sec. de Avelar Brotero (Coimbra), Participantes: 19 professores.

01, 02 e 03/03 — *Trabalho e Energia* — Orientadores: J. Marat Mendes (F.C.T.U.N.L.) e Jorge Valadares (U.A.), Local: Escola Sec. n.º 1 de Aveiro, Participantes: 21 professores.

30 e 31/04 — *Tratamento experimental da Cinemática e da Dinâmica* — Orientadores: Luís Alte da Veiga e José António Paixão (F.C.T.U.C.), Local: Escola Sec. Viriato (Viseu), Participantes: 41 professores.

03 e 04/07 — *O conceito de energia em diferentes domínios da Física* — Orientadores: M.ª Conceição E. Ruivo e M.ª Helena C. Martins (F.C.T.U.C.), Local: Escola Sec. Jaime Moniz (Funchal), Participantes: 21 professores.

03 e 04/07 — *Introdução à Mecânica Quântica* — Orientador: Filipe Duarte Santos (F.C.L.), Local: Escola Sec. de Santa Maria da Feira, Participantes: 23 professores.

05 e 06/07 — *Conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Secundário* — Orientadores: M.ª Conceição E. Ruivo e M.ª Helena C. Martins (F.C.T.U.C.), Local: Escola Sec. Jaime Moniz (Funchal), Participantes: 21 professores.

05 e 06/07 — *Óptica* — Orientadores: José Ribau (L.N.E.T.I.) e Maria José Grilo (E.S.B.), Local: Casa Pia de Lisboa, Participantes: 16 professores.

11, 12 e 13/09 — *Oscilações e Ondas* — Orientador: Luís Silva (E.S.D.J.C.), Local: Escola Sec. do Bocage (Setúbal).

Em colaboração com a Universidade de Évora, esta Divisão Técnica levou a efeito, em 3, 4 e 5 de Abril, uma acção de formação orientada pelos professores José Ribau e Maria José Grilo, realizada no Departamento de Física daquela Universidade. Participaram nesta acção professores da região Sul do país. Nos termos de um protocolo celebrado entre esta Divisão Técnica e a D.R.E.L. (Direcção Regional de Educação de Lisboa), realizou-se nos dias 19, 20 e 21 de Setembro, na Escola Secundária D. João de Castro (Lisboa), a acção de formação «*Oscilações e Ondas*», orientada pelo professor Luís Silva (E.S.D.J.C.). Participaram nesta acção 24 professores.

Esta Divisão Técnica, a pedido das escolas, também realizou alguns Colóquios sobre vários temas, nomeadamente *Teoria da relatividade Restrita e Astrofísica*.

Está em fase de negociação um protocolo a realizar com a D.R.E.S. (Direcção Regional de Educação do Sul), visando a formação de Professores daquela região.

A Divisão Técnica de Educação está a estabelecer contactos com a Sociedade Espanhola de Física, no sentido de tentar levar a cabo, em 1991, um 1.º *Encontro Ibérico sobre o Ensino de Física*. Está também a colaborar na realização do próximo *Encontro Nacional de Física*, que terá lugar em Lisboa, nos dias 24, 25, 26 e 27 de Setembro de 1990.

# MESTRADO EM ENSINO DA FÍSICA E DA QUÍMICA

Departamento de Física, Universidade de Coimbra (1990/91)

## OBJECTIVOS

O Mestrado em Ensino da Física e da Química tem como objectivos fundamentais proporcionar formação complementar nas áreas de Física e de Química quer a nível científico quer sob o ponto de vista educacional, assim como na área das Ciências da Educação.

## CONDIÇÕES DE ADMISSÃO

- Licenciatura em Física, Química, Físico-Químicas, ou nas seguintes áreas afins: Eng. Física, Química Industrial, Bioquímica, Eng. Química, Eng. de Materiais, Eng. Electrotécnica, Eng. Informática ou «curriculum equivalente».
- Frequência do Curso de Pós-Graduação com a duração de 10 semanas definido neste folheto.
- Poderá ser necessário o pagamento de propinas.

## ORGANIZAÇÃO DO CURSO

O aluno frequentará no 1.º ano o conjunto de disciplinas do curso num total de 16 unidades de crédito. No 2.º ano será elaborada uma tese sob a orientação de um supervisor de Física ou de Química.

## INFORMAÇÕES

O Curso de Pós-Graduação terá início em Outubro de 1990, e o Mestrado em Janeiro de 1991. Dentro do possível as aulas decorrerão nas tardes de 6.ª-feira e manhãs de sábado.

**Prazo de candidaturas:** 2 a 16 de Julho  
**Prazo de inscrições:** 3 a 15 de Setembro  
**Numerus clausus:** 20

## CORRESPONDÊNCIA

Curso de Mestrado em Ensino da Física e da Química  
Departamento de Física  
Universidade de Coimbra  
3000 COIMBRA

## DISCIPLINAS

I — *Elenco das disciplinas (com as respectivas unidades de crédito)*

Tópicos Complementares de Física Moderna (1,5)  
Tópicos Complementares de Física Clássica (2)  
Materiais Orgânicos e Inorgânicos (0,9)  
Sistemas Bioquímicos (0,9)  
Reactividade Química (0,7)  
Estrutura e Dinâmica Molec. por Espectrosc. (0,7)  
Computadores no Ensino (0,3)  
Tecnologias Educativas (1)  
História das Ideias em Física (1)  
Didáctica da Física (1,5)  
Laboratório de Física (0,5)  
A Química numa Perspectiva Histórica (0,4)  
Didáctica da Química (2,3)  
Laboratório de Química (0,3)  
Metodologia de Investigação Educativa (1)  
Educação e Desenvolvimento (1)

II — *Disciplinas do Curso de Pós-Graduação (e respectiva escolaridade)*

Mecânica (8 horas)  
Mecânica dos Flúidos (4 horas)  
Electromagnetismo (8 horas)  
Fenómenos Ondulatórios (6 horas)  
Física Térmica e Teoria Cinética (6 horas)  
Tópicos de Física Moderna (8 horas)  
Tópicos de Energética Química (10 horas)  
Tópicos de Electroquímica (7 horas)  
Tópicos de Análise Química (7 horas)  
Tópicos de Química Orgânica (8 horas)  
Tópicos de Estrutura Atómica e Molecular (8 horas)

Telef.: (0) 39 - 23671/23675/29252  
Telex: 52601 DEFIUC P  
Fax: (0) 39 - 29158

## **FISICA 90**

### **7.ª Conferência Nacional de Física**

Lisboa, 24-27 de Setembro de 1990

#### **A FÍSICA EM PORTUGAL NO VIRAR DA DÉCADA**

*Organização:* Delegação Regional de Lisboa da SPF

#### *Conferências Plenárias:*

- Mariano Gago — «A Física Experimental de Partículas»  
E. Ducla Soares — «Magnetoencefalografia»  
H. de Waard — «From the Age of the Universe to Femtosecond Lasers»  
«Experiences with interactive science exhibitions»  
G. Huber — «The quark structure of nucleon and nuclei - on the frontier between nuclear and particle physics»  
L. Mestel — «Quasars»  
E. Merzbacher — «The advancement and diffusion of the knowledge of Physics: The role of the American Physical Society»  
J. Los — «Translational Spectroscopy»

#### *Palestras convidadas:*

- Andrade Afonso — «Prospecção Geofísica e Geotermia»  
M. Renata Chaves — «Estruturas Moduladas em Materiais Ferroelétricos»  
Pereira Leite — «Metrologia e Calibração de Fibras Ópticas»  
Mário Figueira — «Física da Atmosfera»  
Carlos Fiolhais — «Movimentos Colectivos: dos Núcleos aos Agregados Atómicos»  
Tito Mendonça — «Fusão Nuclear Controlada: Ficção ou Realidade»  
A. J. C. Varandas — «Trabalho Recente em Funções de Energia Potencial e Dinâmica de Reacções»  
Farinha Martins — «REO-RMN — Uma técnica nova de medida das propriedades viscoelásticas de polímeros líquidos cristalinos»  
Otto Meyer — «High Tc Superconductors»  
Alain Durex — «Transposição Didáctica em Física»  
David Goldstein — «Mechanical Universe»  
Joan Solomon — «Ciência, Tecnologia e Sociedade»  
Maria Angustias Aguilar — «História da Física no Ensino»  
Margareth McVicar — «New Curricula in Physics»

*Comunicações:* Apresentadas sob forma de cartazes, sendo seleccionado um número limitado para apresentação oral.

*Actividades especificamente dirigidas ao Ensino Secundário:* Oficinas pedagógicas, apresentação de estações laboratoriais, filmes e vídeos didácticos.

*Painéis:* O papel das Sociedades Científicas na formação científica da opinião pública.

A Física em Portugal no virar da década.  
Uma abordagem da situação actual.

«*Workshop*»: Física e Agricultura.

*Programa definitivo:* A anunciar com a 3.ª Circular.

*Local:* Instalações do Museu da Ciência da Universidade de Lisboa e do Museu Nacional de História Natural.

*Inscrições:* 3500 Esc. (Sócios da SPF, SQP, SPM)  
5500 Esc. (Não sócios)  
2000 Esc. (Estudantes sócios da SPF)  
3000 Esc. (Estudantes não sócios)

*Olimpiadas Nacionais de Física:* Durante a Conferência decorrerá a etapa Nacional das Olimpíadas de Física.

*Secretariado:* Delegação Regional de Lisboa da SPF  
Av. da República, 37-4.º  
1000 LISBOA  
Tel.: 773251



VOL. 13 • FASC. 2 • ABRIL 1990

## SUMÁRIO

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