

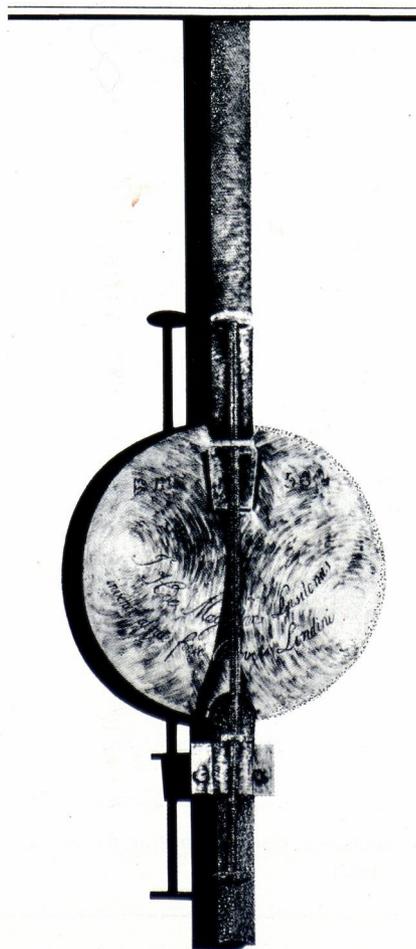
# GAZETA DE FISICA

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FISICA

## JOÃO JACINTO DE MAGALHÃES

(JOHN HYACINTH DE MAGELLAN)

200 th anniversary of his death



VOL. 13, FASC. 3

Publicação Trimestral

Julho a Setembro 1990

Homenagem da comunidade científica a um cientista português do século XVIII

CONFERÊNCIA INTERNACIONAL: Coimbra, 7-10 Novembro 1990

# GAZETA DE FÍSICA

Fundada em 1946 por A. Gibert

Propriedade e Edição: Sociedade Portuguesa de Física

*Directores:* Filipe Duarte Santos

João Bessa Sousa

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

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

---

A **Gazeta de Física** publica artigos, com índole de divulgação, considerados de interesse para estudantes, professores e investigadores em Física. Os artigos podem ter índole teórica, experimental ou aplicada, visando promover o interesse dos jovens pelo estudo da Física, o intercâmbio de ideias e experiências profissionais entre os que ensinam, investigam ou aplicam a Física. As opiniões expressas pelos autores não representam necessariamente posições da S.P.F.

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

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

Toda a correspondência deverá ser enviada para

**Gazeta de Física**

Sociedade Portuguesa de Física

Av. República, 37-4.º — 1000 LISBOA

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

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

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

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

Tiragem: 2400 exemplares

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

---

*Na capa:* Homenagem a João Jacinto de Magalhães, eminente cientista português do séc. XVIII.  
Vide *Gazeta de Física*, vol. 13, págs. 73-78, 1990.

---

# Núcleos galácticos activos e fontes extragalácticas de radiofrequência

MARIA JOÃO MARCHÃ

Centro de Electrodinâmica, Instituto Superior Técnico, Lisboa

ANTÓNIO A. DA COSTA

Centro de Electrodinâmica, Instituto Superior Técnico, Lisboa  
Universidade de Évora

*O objectivo deste artigo é apresentar uma visão geral do domínio dos Núcleos Galácticos Activos e Fontes Extragalácticas de Radiofrequência. Procura-se estabelecer de forma concisa, não só as grandes áreas de investigação actuais, como também o conhecimento gerado pelo trabalho realizado.*

## 1. Introdução

A concepção de Astronomia, e consequentemente a compreensão do universo, sofreu grandes alterações com o advento das novas astronomias, nomeadamente a radioastronomia, a astronomia de infravermelho, de ultra-violeta, raios-X e raios- $\gamma$ . Assim, os objectos anteriormente observados exclusivamente na zona do visível, passaram a poder ser estudados em qualquer região espectral, «inundando» os astrónomos com novos e fascinantes dados, que revolucionaram o conceito de universo «calmo». Por exemplo, embora alguns objectos tivessem uma aparência estelar numa placa fotográfica, as suas características mostraram ser bem distintas daquelas que os astrónomos estavam habituados a observar até então. Foram assim designados por QSO (do inglês «Quasi-Stellar-Objects»), e apresentavam as seguintes propriedades:

- i) Aparência estelar;
- ii) Grandes desvios das riscas espectrais para o vermelho, medidos por um parâmetro  $z = \Delta\lambda/\lambda$  onde  $\Delta\lambda$  é o desvio da risca, e  $\lambda$  o seu comprimento de onda;
- iii) Elevado fluxo de radiação ultra-violeta;
- iv) Luminosidade variável;
- v) Largas riscas de emissão.

Esta classe de objectos foi durante algum tempo considerada única, embora posteriormente fosse aceite como um dos vários exemplos da actividade nos núcleos de determinadas galáxias. Para este facto contribuíram as descobertas das riscas de absorção e elevados fluxos de radiação noutros domínios de frequência.

Nesta perspectiva, fala-se então de galáxias activas como sendo aquelas cuja potência radiada excede a de uma galáxia dita normal. Estas, são consideradas um aglomerado de cerca de  $1.10^{11}$  estrelas que se encontram numa configuração gravitacional estável, emitindo radiação através de processos térmicos. Contrariamente às galáxias normais, as activas apresentam excesso de radiação de origem não térmica, concentrada no núcleo (ver Tabela 1).

Surgiu assim a designação de núcleos galácticos activos (NGA), para a pequena região central da galáxia onde parece ter origem o excesso de radiação. Existem vários tipos destes objectos classificados de acordo com o agrupamento de determinadas propriedades tais como a polarização, luminosidade, espectro, desvio para o vermelho e morfologia. Apesar de apresentarem características comuns, as

diferentes classes apresentam determinadas propriedades específicas que estão em geral relacionadas com o nome atribuído. Existe no entanto uma certa ambiguidade neste domínio uma vez que diferentes autores e observadores «baptizam» os mesmos objectos com nomes diferentes. Esta ambiguidade, aliada às limitações ao nível de observação, justifica a carência de estudos estatísticos completos relativos às diferentes classes de objectos relativamente ao conjunto global das fontes.

TABELA 1 — Nesta tabela são apresentadas as luminosidades bolométricas ( $L_{bol}$  é a luminosidade «integrada» em todas as frequências), de 3 quasars em comparação com a galáxia normal mais luminosa ( $L_G$  é a luminosidade óptica da Via Láctea). Foram usados os valores de  $H_0 = 50 \text{ Kms}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  para a constante de Hubble e  $q_0 = 0.1$  para a parâmetro de desaceleração (segundo Kourganoff, 1980).

Nome	Tipo	$L_{bol}/L_G$	z
Mrk 231	Galáxia normal mais luminosa	400	—
3C 273	Quasar	3000	0.158
3C 232	Quasar	20000	0.529
Q0420-388	Quasar	50000	3.12

Classificaremos os objectos em quatro grandes classes, de acordo com Witta (1985):

- Quasars;
- Radiogaláxias;
- Galáxias Seyfert (Sy)
- BL Lacertae (BL Lac).

Outras classificações foram propostas para certas fontes extragalácticas, que não foram aceites pela maioria dos autores. Assim num estudo mais aprofundado (Witta, 1985; Marchã, 1986) é possível discutir objectos como as galáxias N e as Markarianas (Mrk), as OVV (do inglês «Optically Violently Variable Galaxies»), NELG (do inglês «Narrow Emission Line Galaxies») e os LINER (do inglês «Low Ionization Nuclear Emission-line Region»). No

presente trabalho estas últimas categorias serão consideradas como subclasses de algumas das quatro grandes classes referidas ab-initio. Maior detalhe poderá ser encontrado em Witta (1985) ou Marchã (1986).

O estudo destes objectos tem por objectivo o entendimento completo do seu funcionamento, origem e evolução. Porém esta teorização envolve um conjunto de problemas complexos com várias perspectivas contraditórias, de que procuremos dar informação neste artigo.

## 2. Observação

Num estudo aprofundado destes objectos é possível discutir as suas propriedades em todas as regiões do espectro. No presente estudo fala-se fundamentalmente no domínio da radiofrequência e do seu papel determinante na classificação dos NGA. As características destes objectos noutras frequências são igualmente determinantes para a sua compreensão, porém elas constituem ainda uma pequena parcela do conhecimento geral das fontes. Tão grande discrepância tem a ver com a história do desenvolvimento das astronomias não ópticas, e não com quaisquer propriedades intrínsecas dos objectos que privilegiem a radioastronomia, pois esta foi de entre as novas astronomias, aquela que mais cedo se desenvolveu. O seu início deu-se há mais de meio século com a detecção de ondas rádio provenientes do centro da galáxia por Jansky, estando intimamente ligado ao aparecimento destes objectos, simultaneamente espectaculares e intrigantes, as fontes extragalácticas de radiofrequência.

Na radioastronomia, tal como na astronomia óptica, pretende-se obter radiofotografias cujo detalhe seja semelhante às fotografias usuais. Este objectivo se do ponto de vista teórico não levanta problemas novos, o mesmo não se poderá dizer sobre o seu aspecto prático. Trata-se de resolver estruturas com dimensões angulares de paralaxe da ordem de fracções de segundo de arco, o que implica a

construção de sistemas de inoportáveis dimensões.

Como alternativa a estes «gigantes» surge a hipótese da radio-interferometria como poderoso método de resolução das fontes. Associada à radiofotografia, temos sempre a sua transformada de Fourier em frequências espaciais. Basicamente, aquilo que um radiointerferómetro mede é a transformada de Fourier da distribuição de intensidade da fonte, que uma vez obtida permite traçar um mapa desta (radiofotografia).

Presentemente o método mais poderoso de observação de que se dispõe é o VLBI (do inglês «Very Long Baseline Interferometry»), com o qual se conseguem resoluções da ordem dos  $1.10^{-4}$  '' arc, para um comprimento de onda de 21 cm, com linhas de base da ordem das centenas de quilómetros (da Costa, 1990), ou seja, resoluções superiores àquelas que se obtém para o domínio óptico.

Assim o aspecto apresentado por determinada fonte de rádio pode variar muito, consoante a escala e frequência em que é observada. A conjugação destes dois factores permite distinguir com maior ou menor pormenor as características de determinada fonte (ver Fig. 1), e definir-se vários tipos de morfologias de acordo com a resolução do método de observação utilizado. Contudo, independentemente da classe morfológica atribuída a uma determinada fonte, existem características específicas que lhe são inerentes. São elas:

- a) *Lóbulos*: regiões de luminosidade reduzida aparecendo, na maior parte das vezes, simetricamente de cada lado da galáxia óptica. Estas estruturas podem estender-se por alguns Mpc ( $1 \text{ pc} = 3.09 \times 10^{16} \text{ m}$ );
- b) *Manchas quentes* (do inglês «hot spots»): regiões de maior luminosidade que estão ainda inseridas nos lóbulos e cujas dimensões típicas são de alguns Kpc;
- c) *Jactos*: estruturas alongadas e finas que parecem ter origem no núcleo e que acaba nas regiões mais extensas, i.e., nos lóbulos.

Uma das características mais importantes para a distinção destes objectos é o tipo de

espectro contínuo apresentado. De facto, enquanto as fontes ditas normais apresentam um espectro de origem térmica, i.e., espectros que obedecem à lei de Planck, estes objectos apresentam um espectro que obedece a uma lei de potência do tipo

$$F(\nu) \propto \nu^\alpha$$

em que  $\alpha$  assume diversos valores conforme a frequência  $\nu$  em que se observa. Esta característica comum a todas as fontes é de extrema importância para o seu desenvolvimento teórico, como aliás se verá mais adiante.

## 2.1. Classificação das fontes

Até agora falou-se destes objectos como um todo, isto é, foram apresentadas as características comuns a todos eles como sendo propriedades únicas de uma classe de objectos a que se chamou NGA. Estamos então suficientemente familiarizados com este tipo de fontes para podermos distinguir de entre elas as 4 classes anteriormente mencionadas. Assim, apresentam-se de seguida, e de forma muito resumida, as principais características de cada uma dessas classes.

### 2.1.1. Quasars

Estes objectos são muitas vezes identificados com QSO. Porém esta designação pode ter um significado mais amplo, não sendo por isso utilizada no presente trabalho. São exemplos desta classe as fontes 3C49, 3C273 e 3C345 (ver Fig. 2a e 2b). As suas características são:

- i) Aparência estelar;
- ii) Forte excesso de radiação ultra-violeta em relação às estrelas da sequência principal;
- iii) Emissão óptica variável;
- iv) Riscas de emissão permitidas com uma largura superior a  $20 \text{ \AA}$  no referencial do objecto, e algumas riscas de absorção;
- v) Grandes desvios para o vermelho que ao supor-se devido à expansão do universo, implicam uma grandeza absoluta da ordem de  $M_V = -82$  (com-

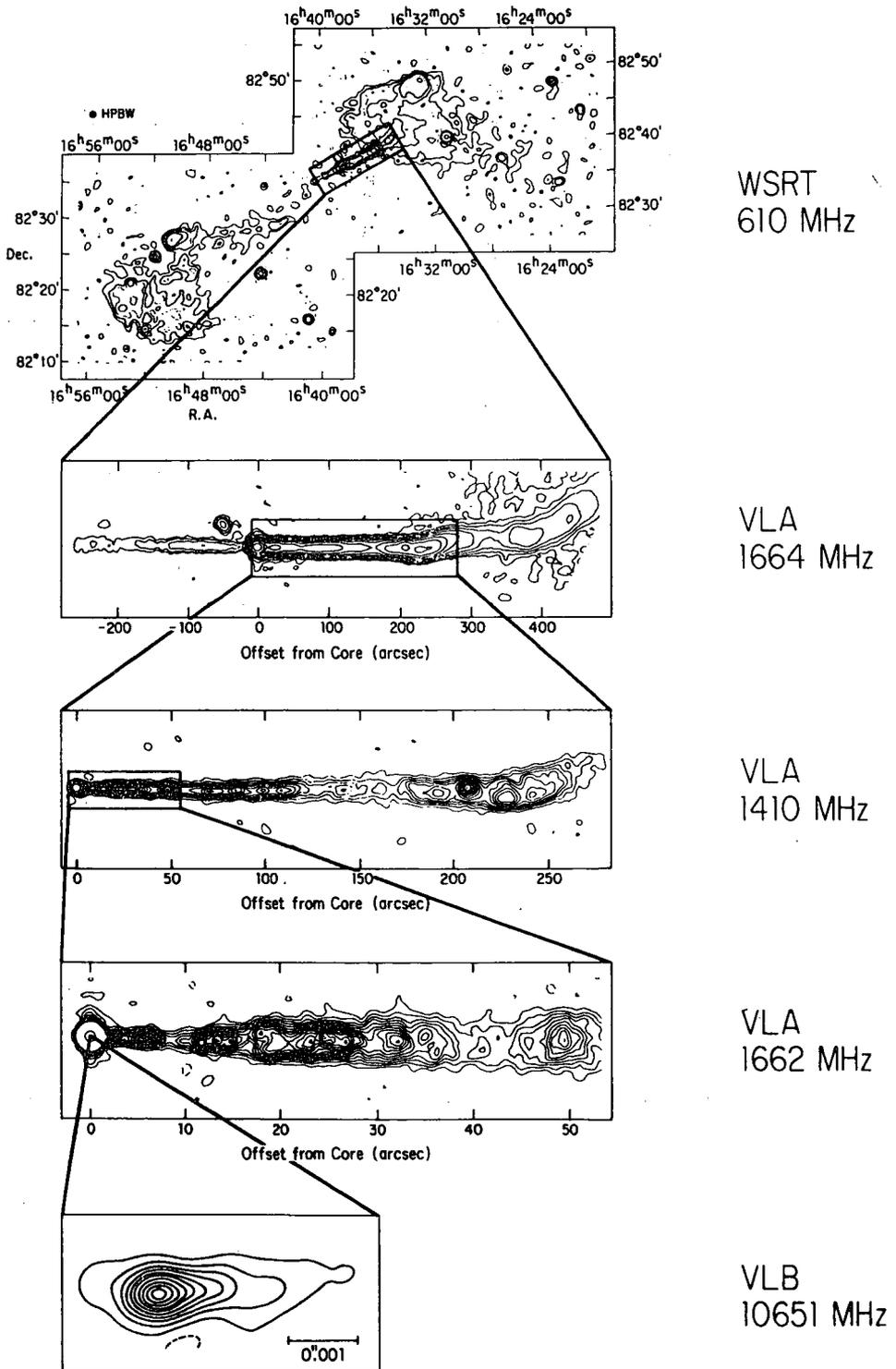
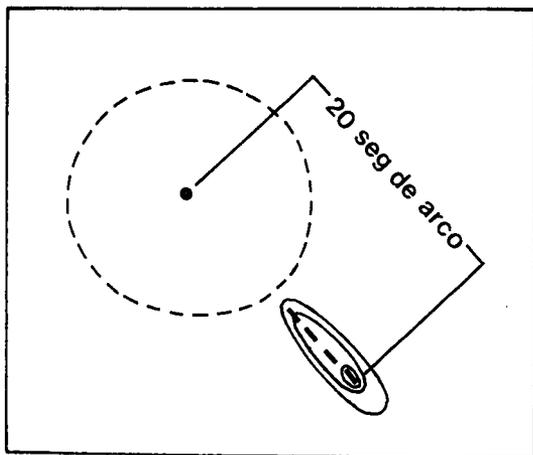
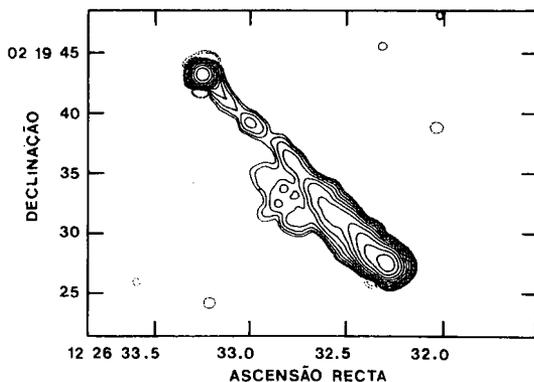


Fig. 1 — Montagem ilustrada da fonte NGC 6251 para diferentes escalas angulares. Ao lado indicam-se os radio-interferómetros utilizados (WSRT: Westerbork, Holanda; VLA: Very Large Array, Novo México, EUA; VLB: Radiointerferometria intercontinental), e as frequências em que se observaram os diferentes detalhes da fonte (segundo Begelman *et al.*, 1984).

pare-se este valor com os mais luminosos enxames de galáxias cuja grandeza absoluta é  $-26 \leq M_v \leq -22$ ).



(a)



(b)

Fig. 2 — (a) Fotografia e desenho esquemático da fonte 3C 273 (segundo Sciama, 1973); (b) Mapa de contorno da mesma fonte 3C 273 a 408 MHz (segundo Thomasson, 1986).

Contrariamente àquilo que inicialmente se esperava, a distribuição espacial destes objectos não é uniforme. Na realidade, a lei observada corresponde a  $\log N \sim -1.8 \log l$ , em que  $N$  é o número de quasars existentes num determinado ângulo sólido com luminosidade aparente  $l$ . Com base nas observações disponíveis entre 1973 e 1982, verificava-se que este número aumentava até  $z$  próximo de 2.5, sofrendo em seguida um decréscimo acentuado seguido de um corte brusco para  $z \sim 3.5$ .

Este facto conduziu a duas ideias contraditórias sobre a natureza do fenómeno. Seria este corte devido a efeitos de selecção nas condições de observação, ou seria antes de facto esta a data de nascimento destes objectos, podendo neste último caso o corte estar relacionado com a formação das próprias galáxias, e fornecendo assim um elo de ligação entre os quasars e as galáxias actuais?

Para ultrapassar esta situação assistiu-se a um extremo desenvolvimento das técnicas de observação (Osmer, 1982; Hazard & McMahon, 1985), o que permitiu descobrir quasars com  $z > 3.5$ , observação que favorece a primeira hipótese. Porém o seu número é bastante inferior ao número de quasars com  $z < 3.5$ , o que reforça a segunda hipótese. A recente descoberta de cinco destes objectos com um desvio para o vermelho superior a 4, continua a encorajar os observadores de forma a detectar quasars cada vez mais distantes, fazendo prever que num futuro próximo quasars com  $z > 5$  sejam descobertos. O quasar mais afastado que se conhece hoje é a fonte Q0051-279 cujo  $z = 4.43$  (Warren *et al.*, 1987).

### 2.1.2. Radiogaláxias

Esta classe de objectos diz respeito às fontes extragalácticas que emitem consideravelmente mais energia no domínio de radiofrequência do que em qualquer outro. Mais especificamente, as radiogaláxias radiam potências da ordem  $P_{408} > 1.E23 \text{ W Hz}^{-1}$  (em que o sub-índice 408 significa 408 MHz).

Estes objectos são normalmente constituídos por um núcleo central e duas regiões extensas denominadas lóbulos, e que são quase sempre responsáveis pela maior parte da emissão de radiofrequência (ver Fig. 3).

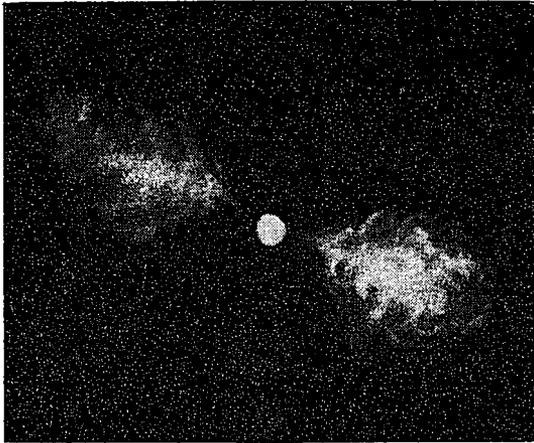


Fig. 3 — Radiofotografia de uma radiogaláxia típica, em que se mostra a galáxia central (visível) e os dois lóbulos emissores de radiofrequência (segundo Bowers & Deeming, 1984).

Com o desenvolvimento das técnicas de radio-interferometria começou a ser possível melhorar as observações neste domínio de frequência, permitindo aos observadores estudar não só a estrutura extensa destas fontes, como também a sua estrutura compacta.

Assim, em relação à estrutura extensa — note-se que estas fontes podem estender-se por regiões enormes da ordem das centenas de Kpc e até de alguns Mpc (ver Fig. 4) — definem-se

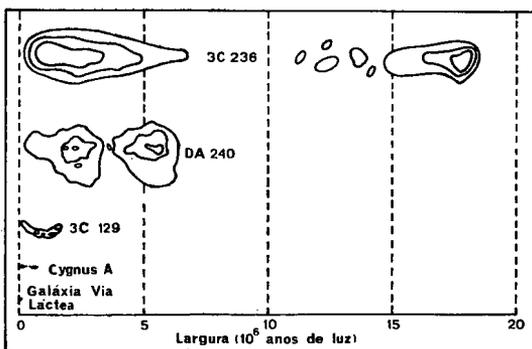


Fig. 4 — Desenho esquemático ilustrativo da diferença de escala entre algumas radiogaláxias e a própria Via Láctea (segundo Kaufmann III, 1985).

várias morfologias conforme o valor do ângulo entre os seus dois lóbulos, sendo as fontes duplas clássicas (lóbulos a 180°) aquelas que mais interesse suscitam.

Determinadas regiões pertencentes aos lóbulos, e que podem atingir alguns kpc, apresentam maior luminosidade que a estrutura que as rodeia sendo, por essa razão, denominadas por manchas quentes. Pensa-se que estas regiões estejam relacionadas com a interação do plasma, ou do feixe de partículas, com o gás extragaláctico. Quanto à sua localização ela pode variar ao longo de toda a extensão do lóbulo não parecendo haver qualquer preferência.

Outra característica importante das fontes de rádio são os jactos. Estes apresentam dimensões variadas que podem ir desde 1 pc até extensões de 400 Kpc, e os seus índices espectrais não se afastam muito do valor médio  $\langle \alpha \rangle = -0.6$ .

Relativamente à estrutura compacta destas fontes, e de acordo com Miley (1980), existem dois tipos de núcleos:

- 1) Núcleos ultra compactos com dimensões inferiores a 1pc, e tipicamente com  $\alpha < -0.5$ ;
- 2) Núcleos cujas dimensões são tipicamente de alguns Kpc, apresentando  $\alpha < -0.4$ .

Os núcleos em que os espectros são mais pronunciados tendem a ter maiores luminosidades e mostram muitas assimetrias à escala do seg. de arco, enquanto que os menos luminosos tendem a mostrar-se mais simétricos. São exemplos desta classe as fontes Cyg A, 3C 449 e NGC 6251.

### 2.1.3. Galáxias Seyfert (Sy)

Estas galáxias receberam o nome do seu «primeiro observador» após a publicação em 1943 dos resultados sobre 6 galáxias espirais que foram os protótipos seguidos.

Estas galáxias são espirais intermédias, possuidoras de um núcleo de aparência estelar

responsável por grande percentagem da luminosidade de todo o sistema, e que apresentam riscas de emissão largas (0-100 Å). De uma maneira geral pode dizer-se que esta classe morfológica é constituída por objectos de aspecto nebuloso e que apresentam largas riscas de emissão no seu espectro (Wiita, 1985).

De acordo com este autor, cerca de 1% de todas as galáxias espirais são galáxias Seyfert, estando ainda por esclarecer a razão de tal valor. Será este um fenómeno raro embora duradouro ou, alternativamente, é o fenómeno Seyfert uma fase curta de todas as espirais?

Tradicionalmente dividem-se estas galáxias em duas subclasses:

- i) Sy I — são Seyferts que apresentam riscas permitidas muito largas e riscas proibidas mais estreitas. São exemplos as Mrk 1243 e a NGC 4151;
- ii) Sy II — são Seyferts que apresentam riscas permitidas e proibidas com larguras semelhantes. São exemplos deste tipo as Mrk 1157 e NGC 1068.

Antonucci (1983) e Antonucci & Miller (1985) levantam a hipótese de a distinção entre os dois tipos de Seyfert poder estar relacionada com o valor do ângulo compreendido entre a direcção de polarização no domínio óptico, e o eixo de radiofrequência. As poucas observações efectuadas neste sentido são consistentes com o facto de no primeiro caso este ângulo ser praticamente 0°, enquanto que no segundo ele seria de aproximadamente 90°. A ser confirmado, este facto deverá ser convenientemente interpretado.

Tal como já foi referido na anterior classe de objectos, alguns autores distinguem outros tipos de galáxias Seyfert. Por exemplo, as designações Sy 1.5, 1.8 e 1.9 estão associadas a combinações determinadas entre as riscas espectrais (ver Osterbrock, 1984).

A maioria das galáxias Seyfert não são fortes emisoras de radiofrequência. De facto, as suas luminosidades nesta região espectral varia entre  $1.10^{32}$  e  $1.10^{34}$  W (Witta, 1985), o que constitui 4 ou 5 ordens abaixo da sua luminosidade bolométrica. Dos estudos feitos

até à data, parece haver evidência de que as Sy II são fontes de radiofrequência mais fortes que as do tipo I, não parecendo no entanto estar relacionadas a qualquer estrutura dupla.

#### 2.1.4. B1 Lacertae (BL Lac)

Estes objectos foram nomeados à semelhança dos primeiros detectados, não devendo por essa razão ser confundido a fonte BL Lac, com a classe do mesmo nome.

As suas propriedades são as seguintes:

- i) Ausência de riscas de emissão provenientes do núcleo da fonte;
- ii) Rápida variabilidade na zona de radiofrequência, infravermelho e óptico;
- iii) Espectro contínuo não térmico com a maior fracção da luminosidade proveniente do infravermelho;
- iv) Polarização forte e rapidamente variável.

Apesar de terem sido posteriormente detectadas algumas riscas de emissão e absorção nos espectros de alguns destes objectos, graças ao desenvolvimento técnico relativamente à resolução, o que é certo é que esta continua a ser a principal característica destes objectos, dificultando por isso a determinação dos seus desvios para o vermelho. Porém, a propriedade talvez mais surpreendente destas fontes é a rápida variação, quer na luminosidade, quer na polarização apresentada por estes objectos.

Estas fontes que parecem estar relacionadas com galáxias elípticas, apresentam grandes dificuldades no seu estudo devido às duas características mencionadas anteriormente.

### 3. Modelos teóricos

O desenvolvimento teórico das fontes extragalácticas de radiofrequência assenta num pressuposto fundamental proposto por Alfvén e Herlofsen em 1950 e Shklovsky em 1953 que afirma ser o mecanismo base de emissão a radiação sincrotrónica, produzida por electrões relativistas com energias entre 100 MeV e

10 GeV, em presença de uma indução magnética entre  $1.10^{-10}$  e  $1.10^{-5}$  T (Begelman *et al.*, 1984).

De facto, admitindo que a energia dos electrões tem uma distribuição dada por  $N(E) \sim KE^{-n}$ , pode demonstrar-se que a densidade de fluxo de radiação de sincrotrão é:

$$F(\nu) \propto \nu^\alpha, \text{ com } \alpha = (1-n)/2$$

Embora o objectivo final de qualquer modelo teórico seja a compreensão da fonte na sua globalidade, é usual dividir-se o problema em duas grandes áreas: modelos para os núcleos e modelos para os jactos.

### 3.1. Modelos para os núcleos

Neste caso, a questão fundamental à qual se pretende responder é a do funcionamento da «máquina central» que é o núcleo activo da galáxia, e que se prende com dois assuntos essenciais:

- i) Qual o processo que dá origem à libertação de uma energia superior a  $1.10^{54}$ J, numa região de apenas alguns Kpc;
- ii) Como é que essa energia é depois transferida para os jactos.

Para tentar explicar estas questões existem várias hipóteses concorrentes, não devendo este facto causar surpresa, já que o fenómeno responsável é impossível de ser testado, além de provavelmente englobar mais do que um determinado processo. Vejamos então quais são estas hipóteses:

#### 3.1.1. Enxames de estrelas

Foi sugerido que a actividade das galáxias e quasars tenha origem num sistema muito denso de estrelas. Para isso bastaria reunir cerca de  $1.10^8$  estrelas do tipo O num volume aproximado de 1 pc (Begelman *et al.*, 1984).

Esta hipótese levanta no entanto algumas dificuldades:

- O espectro obtido com este sistema não é o mesmo que se observa;
- A eficiência do processo de conversão massa-energia conseguido é muito baixa, o que significa uma vida média demasiadamente curta para estes objectos;
- Para satisfazer as necessidades energéticas destas fontes torna-se necessário recorrer a um elevado número de colisões ou explosões. Por exemplo, para se verificar uma potência de  $1.10^{42}$  W, seriam necessárias 5 a 10 explosões de supernovas por ano.

#### 3.1.2. Spinares

Contrariamente à hipótese anterior, sistemas com massas inferiores a  $1.10^8 M_\odot$  (em que  $M_\odot$  é a massa solar), tendem a formar estrelas supermassivas. Estas, quando dotadas de um movimento de rotação e associadas a um campo magnético, são vulgarmente denominadas spinares. Estes objectos estão de acordo com estudos feitos (Valtonen, 1984), sujeitos a instabilidades diversas que os levam a fragmentar. Se combinarmos esse facto com a sugestão de que as fontes duplas de radiofrequência são o resultado da expulsão de matéria por parte da região central, então teremos uma hipótese de explicação da estrutura dupla bastante interessante. Apesar de toda a teoria inerente a este problema se encontrar ainda aquém das necessidades, ela levanta hipóteses concretas na solução do problema:

- Formação de spinares através da agregação de gás para o centro das galáxias;
- Bifurcação e colapso de spinares;
- Interação do plasma com o meio interestelar para a explicação das regiões extensas emissoras de ondas rádio.

#### 3.1.3. Buracos negros

Os buracos negros são considerados por muitos autores o estágio final dos enxames das estrelas e das estrelas supermassivas, razão pela qual se tornam na solução mais atraente para o fenómeno NGA. Uma vez admitidos como base central destas fontes, torna-se necessário explicar três aspectos essenciais: (A) extracção de energia, (B) modos de agregação e (C) formação de jactos.

### (A) *Extracção de energia*

Neste domínio continua ainda a haver muitas dificuldades quanto à elaboração de um modelo completamente estruturado devido à complexidade do problema. Concretamente existem vários autores que tentam conjugar o conhecido efeito de Penrose dos buracos negros de Kerr, com o efeito de Compton inverso — efeito de Compton entre electrões relativistas e fótons de baixa frequência — e a produção de pares, enquanto outros tentam formar modelos de extracção de energia e momento angular do buraco negro através de processos electromagnéticos complicados. Qualquer uma destas frentes de investigação encontra dificuldades diversas devido à falta de conhecimento de soluções da magneto-hidrodinâmica em espaço de tempos curvos.

### (B) *Modos de agregação*

Se bem que a questão da origem da máquina central possa estar resolvida, é contudo necessário estabelecer como ela é mantida, já que a produção de energia sem contrapartidas está fora de questão. É óbvio que um objecto destes tem de ser excelentemente «alimentado» para dar origem às enormes luminosidades observadas. O que deixa de ser óbvio é o processo pelo qual se dá esta manutenção.

A proposta geralmente aceite consiste num processo de captura gravitacional de matéria circundante de um objecto compacto central. Este processo designado por agregação de matéria («accretion») é de bastante difícil resolução, encontrando-se apenas resolvido para alguns casos mais simples. De forma muito resumida, pode dizer-se que a agregação se pode fazer de duas maneiras: agregação quase esférica (sem momento angular), e agregação com momento angular diferente de zero. Neste último caso podem distinguir-se duas situações:

- i) Discos — em que o gás descreve órbitas Keplerianas;
- ii) Torus — cuja forma depende da distribuição do momento angular, e cuja eficiência é inferior à dos anteriores.

### (C) *Produção de jactos*

Para a produção de jactos é necessária a verificação de duas condições:

- i) O material expelido tem de possuir uma energia que lhe permita escapar à atracção gravitacional do objecto central;
- ii) Tem de haver um processo através do qual seja possível estabelecer uma colimação desse mesmo material.

Apesar de haver várias hipóteses para a explicação deste fenómeno, só o modelo de Blandford e Rees (1974) apresenta a teoria de uma forma integrada. Este modelo, apesar das simplificações feitas, procura explicar a ocorrência das fontes duplas de radiofrequência, considerando um fluxo adiabático numa aproximação unidimensional de um plasma cuja velocidade de propagação é superior à do som no meio. Este percorre um canal cuja secção varia de acordo com o balanço de pressão na superfície das suas paredes, e atravessa um ponto crítico denominado «nozzle», a partir do qual o canal alarga à medida que a pressão decai, conseguindo assim explicar a pré-colimação dos jactos.

### 3.2. **Jactos**

Neste domínio existem três questões fundamentais a ser estudadas: colimação, emissão de radiofrequência e interacção com o meio ambiente.

Para a compreensão do fenómeno da colimação é imprescindível um melhor conhecimento do campo magnético na região, sem o qual não se pode avançar muito mais.

Relativamente à segunda questão, é geralmente aceite que a radiação de sincrotrão é também responsável pela emissão de radiação dos jactos, embora existam outros processos capazes de explicar o espectro observado. No entanto, a admitir-se a primeira hipótese ter-se-á de supor uma aceleração local dos electrões, já que as dimensões das fontes são grandiosas.

Finalmente, o aparecimento de manchas quentes e de invólucros dos jactos são normal-

mente interpretados como a interacção deste com o meio ambiente.

Para que a física dos jactos seja totalmente compreendida será necessário conhecer, entre outras coisas, as velocidades do jacto no meio, suas densidades e campos magnéticos.

#### 4. Conclusões

O melhor conhecimento destas fontes passa necessariamente pelo desenvolvimento de dois grandes domínios:

- a) Domínio da observação;
- b) Domínio da teoria.

Estes dois domínios estão obviamente intrinsecamente ligados, estando o desenvolvimento de um deles condicionado pelo do outro. De facto, a observação encontra-se muito mais desenvolvida que a teoria, mas esta levanta questões para as quais não foram ainda feitas observações, ou então não existe ainda um número suficiente de dados que permita a realização de estudos estatísticos, provocando assim um impasse no desenvolvimento teórico.

No que diz respeito à observação, não estão ainda exploradas todas as potencialidades, quer ao nível das novas astronomias, quer ao nível das técnicas de interferometria. Projectos como o de montagem de uma antena orbital de 15 m (projecto QUASAT), o lançamento do telescópio orbital e de satélites que visam sobretudo a exploração no domínio dos raios-X, trarão concerteza muitos dados importantes para a melhor compreensão destes objectos.

Relativamente ao domínio da teoria, muitas são as áreas que permanecem por investigar. Essencialmente, é necessário estudar a magnetoplasmodinâmica em geral, e a sua aplicação em espaço-tempo curvos em particular. É sobretudo importante a simulação numérica de códigos plasmadinâmicos sofisticados. Sem o desenvolvimento destas duas questões é impossível pensar-se em compreender o processo que mantém activa a fonte, ou como são expelidos os jactos e lóbulos, ou seja, não será possível conhecer o fenómeno responsável pela existência dos Núcleos Galácticos Activos.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a valiosa cooperação do Sr. Manuel Quintas, desenhador gráfico do Complexo Interdisciplinar I do Instituto Nacional de Investigação Científica na realização e montagem das figuras números 2 e 4.

#### BIBLIOGRAFIA

A bibliografia apresentada, salvo casos singulares, é formada por artigos de revisão. Para um estudo mais especializado podem ser consultadas as referências indicadas nas obras assinaladas.

- ANTONUCCI, R. R. — *Nature*, **303**, 193 (1983).
- ANTONUCCI R. R. & MILLER, J. S. — *Astrophys. J.*, **297**, 621 (1985).
- BEGELMAN, M. C., BLANDFORD, R. D. and RESE, M. J. *Rev. Mod. Phys.*, **56** (2), 255 (1984).
- BLANDFORD, R. D. and REES, M. J. — *Mon. Not. R. Astr. Soc.*, **169**, 395 (1974).
- BOWERS, R. and DEEMING, T. — «Astrophysics II: Interstellar Matter and Galaxies», Jones and Bartlett Inc., Boston (1984).
- DA COSTA, A. A. — Em preparação (1990).
- HAZARD, C. & MCMAHON, R. — *Nature*, **314**, 21 (1985).
- KAUFMANN III, W. J. — «Universe», W. H. Freeman and Co. (1985).
- KOURGANOFF, V. — «Introduction to Advanced Astrophysics», D. Reidel Publishing Co. (1980).
- MARCHÃ, M. J. — «Núcleos Galácticos Activos e Fontes Extragalácticas de Radiofrequência», Relatório de estágio realizado no Centro de Electrodinâmica da Universidade Técnica de Lisboa, e submetido ao Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (1986).
- MILEY, G. — *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **18**, 165 (1980).
- OSMER, P. S. — *Astrophys. J.*, **253**, 28 (1982).
- OSTERBROCK, D. E. — *Q. Jl. R. Astr. Soc.*, **25**, 1 (1984).
- SCIAMA, D. W. — «Modern Cosmology», Cambridge University Press (1973).
- THOMASSON, P. — *Q. Jl. Astro. Soc.*, **27**, 413 (1986).
- VALTONEN, M. J. — *Q. Jl. R. Astr. Soc.*, **25**, 28 (1984).
- WARREN, S. J., HEWETT, P. C., OSMER, P. S. & IRWIN, M. J. — *Nature*, **330**, 453 (1987).
- WITA, P. J. — *Phys. Rep.* **123** (3), 117 (1985).

# Pulverização catódica — Notas introdutórias

MARINA SOUSA e OLIVÉRIO SOARES

Faculdade de Ciências do Porto, Centro de Física da Universidade do Porto — INIC, 4000 Porto

## Introdução

Muitas áreas de investigação necessitam do fabrico de filmes finos, i.e., necessitam de depositar sobre um substrato uma camada de material, com espessuras inferiores a  $10 \text{ \AA}$  ( $10^{-7} \text{ cm}$ ).

A exemplo, uma necessidade premente é a realização de filmes dieléctricos de elevada qualidade para aplicações ópticas de interferência e guias de onda planares para óptica integrada.

Uma das técnicas para produzir filmes finos é a pulverização catódica que desde 1877 [3] é usada para fabricar espelhos.

As actuais técnicas experimentais podem ser divididas em dois grupos principais: as que envolvem evaporação térmica e as que se baseiam em processos atómicos tais como a pulverização catódica.

À medida que a tecnologia de vácuo evoluiu a técnica da pulverização viu surgir as técnicas de evaporação como possível alternativa ao apresentarem taxas de deposição superiores (da ordem dos  $10^6 \text{ \AA}/\text{min.}$ ) [4].

Apesar disso o interesse pela pulverização catódica persiste, porque muitos materiais não podem ser evaporados por métodos de aquecimento.

O processo de pulverização catódica é um processo «átomo-a-átomo», em que o material a depositar (o alvo) é bombardeado por iões que removem fisicamente átomos da sua superfície; os átomos emitidos do alvo subsequentemente atingem o substrato construindo gradualmente um filme de elevada qualidade.

Esta explicação simples não considera os muitos parâmetros envolvidos: energia cinética dos iões, estrutura electrónica dos intervenientes na colisão, estrutura e orientação da rede, energia de ligação dos átomos na rede, etc.

O processo de pulverização catódica apresenta variantes tais como as configurações de dígodo plano, tríodo, feixe-iónico, reactiva e

magnetron, nas quais a potência aplicada pode ser dc (corrente contínua) ou rf (rádiofrequência) [1, 2, 3]. Apenas serão referidas neste texto algumas delas, as mais utilizadas e as que permitem depositar praticamente todos os materiais.

São geralmente as exigências tecnológicas ou da investigação que ditam o material a utilizar, o material do substrato, as dimensões do filme e técnica a usar. Em cada situação particular há muitos parâmetros a considerar; do filme e do processo de deposição. Alguns desses factores a ter em conta quando se deposita um filme são: as taxas de pulverização e correspondentes taxas de deposição que variam consoante se utiliza metais, ligas ou isoladores.

Independentemente das configurações a utilizar o processo apresenta entre outras as seguintes vantagens:

- podem ser depositados filmes de materiais complexos;
- o controlo da espessura é simples e facilmente reprodutível;
- podem ser usados alvos com grandes áreas;
- pode usar-se polarização negativa para melhorar a aderência de filmes metálicos.

A principal desvantagem apontada para a pulverização catódica é para certos casos a baixa taxa da deposição (em geral numa ordem inferior a poucas centenas de  $\text{ \AA}/\text{min.}$ ) [4].

## Princípios da pulverização catódica

A pulverização catódica consiste na remoção de átomos da superfície dum material quando este é bombardeado por um feixe de átomos ou iões. As partículas do feixe transferem energia e quantidade de movimento para os átomos do material, os quais são difundidos, originando sequências de colisões de forma

que átomos (ou moléculas) são ejectados da superfície. Num sólido cristalino ou policristalino, este processo pode causar danos na rede cristalina e produzir efeitos químicos, bem como implantar partículas incidentes, as quais por sua vez alteram as propriedades do sólido na região afectada (Fig. 1).

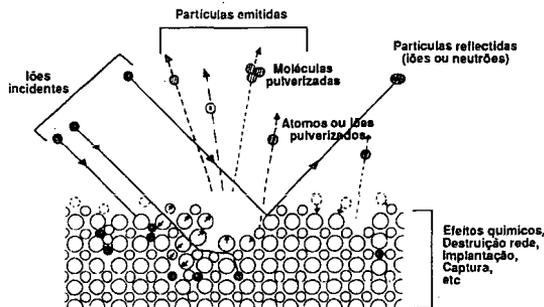


Fig. 1 — Processos de interacção ião-superfície [5].

Quando um sólido é bombardeado por átomos, íons ou moléculas vários fenómenos surgem. O que vai predominar depende essencialmente da energia cinética das partículas incidentes.

A energias cinéticas muito baixas, a interacção não ultrapassa a camada exterior da superfície do alvo e portanto nenhum efeito é observado. A energias cinéticas mais elevadas, i.e., superiores à energia de ligação dos átomos, surge um novo fenómeno. Os átomos da rede são deslocados para novas posições originando movimentação dos átomos e daniificação da rede na superfície. Quando estas energias ultrapassam significativamente o calor de sublimação do material do alvo, então há emissão de átomos ou moléculas da superfície.

Utilizam-se normalmente íons e não átomos para bombardear a superfície porque estes podem ser mais facilmente acelerados até atingirem a energia desejada.

Não existe uma teoria universal ou geral da deposição em sólidos cristalinos ou policristalinos. P. Sigmund publicou uma teoria de pulverização catódica de sólidos amorfos baseada em deduções a partir da equação de transporte de Boltzmann [1]. Thompson desenvolveu uma teoria de pulverização baseada na colisão de dois corpos [1]. Existem muitas teorias ou regras fenomenológicas para descre-

ver a pulverização de um ou vários sólidos por um dado ião incidente se a sua energia se situar num intervalo limitado de valores. Algumas delas baseiam-se no facto de que a interacção entre íões e átomos pode ser descrita pelo modelo da «hard sphere» [2] se os íões tiverem energias inferiores a 50 keV.

Ultrapassa o âmbito deste trabalho descrever as várias teorias. Limitamo-nos a indicar a equação de definição, segundo o modelo de «hard sphere», do parâmetro mais importante a medir em experiências de pulverização: a taxa de pulverização (rendimento), que é o número de átomos ejectados da superfície do alvo por partícula incidente. É o rendimento de pulverização que um bom modelo deve prever.

Com base nesse modelo, a energia máxima transferida numa colisão,  $E_t$ , é:

$$E_t = [4 M_1 M_2 / (M_1 + M_2)^2] E$$

onde  $E$  é a energia das partículas incidentes e  $M_1$  e  $M_2$  são as massas das partículas que colidem. Neste modelo, a taxa de pulverização,  $S$ , é proporcional ao máximo de energia transferida numa colisão e inversamente proporcional ao livre percurso médio,  $\lambda$ , da partícula incidente no sólido:

$$S = KE_t / \lambda.$$

O livre percurso médio é função da energia da partícula incidente e da densidade atômica do alvo e o parâmetro  $K$  está relacionado com a energia de ligação dos átomos na superfície do alvo.

Esta expressão de  $S$  só é válida para uma certa gama de energias. Com efeito, além de existir um limiar para a energia dos íões incidentes, abaixo do qual não há emissão de íões da superfície do alvo, verifica-se que, com o incremento da energia dos íões, a taxa de pulverização aumenta de uma forma mais ou menos linear até atingir um máximo, a partir do qual decresce lentamente. Tanto a energia limiar como o máximo da taxa de pulverização variam com o material e com a massa dos íões incidentes.

Além disto, a expressão de  $S$  não tem em conta o facto de a taxa de pulverização variar com o ângulo de incidência das partículas relativamente à normal da superfície, com a

cristalinidade e a temperatura do alvo, com a topografia da sua superfície, com o campo eléctrico na superfície, com a densidade de corrente dos iões e ainda com a pressão do gás!

As pesquisas no sentido de encontrar um modelo teórico para este processo continuarão certamente por mais algum tempo uma vez que o problema é indubitavelmente complexo. Além disso há uma grande quantidade de dados experimentais cobrindo vários aspectos que devem ser explicados por um modelo, para que este possa ser considerado completo.

## Técnicas de pulverização catódica

### Pulverização catódica por díodo plano

Este sistema é o mais simples de todos e provavelmente o mais utilizado; na prática todos os outros são modificações deste.

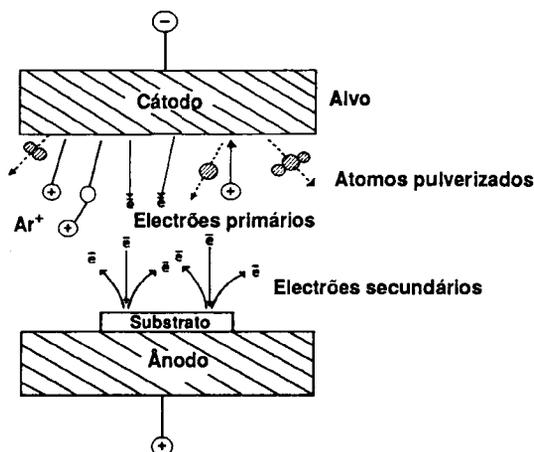


Fig. 2 — Esquema de díodo plano [5].

Um sistema de díodo plano («planar diode») tem como cátodo um suporte do alvo e como ânodo a plataforma do substrato.

A plataforma do alvo é ligada electricamente ao sistema de vácuo assim como qualquer que seja o sistema de arrefecimento ou aquecimento lhe é também ligado.

Quando um potencial negativo geralmente na gama de 100-4000 V é aplicado ao cátodo origina-se dentro da câmara de vácuo uma descarga de arco (plasma) que permanece enquanto se mantiver o nível apropriado de pressão na câmara. O bombardeamento de iões na superfície do alvo origina electrões

secundários que são acelerados na zona «negra» do cátodo e emitidos para o plasma como electrões primários com energia suficiente para ionizar os átomos do gás mantendo assim a descarga. O plasma é normalmente constituído por iões de argon.

A tensão aplicada é geralmente dc para alvos de metal e rf (13.56 MHz) para alvos não condutores.

Com este esquema simples é difícil controlar com precisão o processo e evitar a contaminação do filme. Para pulverizar de forma a poder obter resultados reproduzíveis, é necessário controlar a densidade de corrente de iões, a pressão residual do gás e as temperaturas do substrato e do cátodo dentro de limites apertados.

As principais vantagens desta técnica são:

- possibilidade de depositar filmes com vários componentes;
- possibilidade de depositar materiais refractários;
- boa adesão do filme;
- uniformidade na espessura em grandes áreas.

Existem, contudo, alguns inconvenientes:

- baixas taxas de deposição;
- o substrato em geral é arrefecido. Dispensável para baixas taxas de deposição ou curtos períodos de deposição. (Existem casos em que há vantagens em aquecer o substrato como técnica padrão. A exemplo, cita-se o caso da deposição reactiva com aquecimento na ordem dos 300°C para melhoria das qualidades dos filmes: estequiometria, pureza, densidade, índice de refração e adesão. Deve ter-se em atenção que o aquecimento do substrato, em geral, origina uma microestrutura grossa e uma superfície rugosa no filme, ambas indesejáveis).

### Pulverização catódica por radiofrequência («RF-Sputtering»)

Antes do aparecimento da pulverização por radiofrequência, era impossível pulverizar materiais não-condutores uma vez que a acumulação de cargas no alvo (não condutor) não podia

ser dissipada. Se estas cargas positivas pudessem ser neutralizadas por exemplo com bombardeamento de electrões, então a pulverização já seria possível.

Uma solução para este problema é a utilização de plasmas gerados por rf, que têm a particularidade de depositar electrões durante os meios ciclos positivos, que anulam as cargas originadas pela deposição de iões (o que acontece durante os meios ciclos negativos).

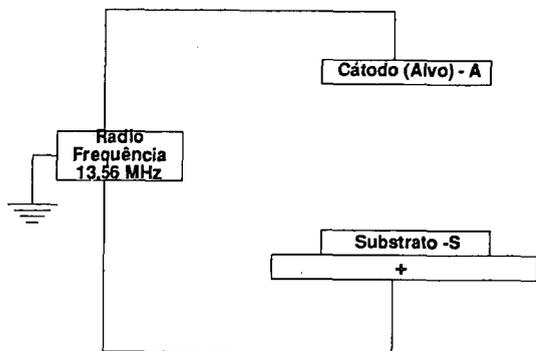


Fig. 3 - Esquema de radiofrequência na configuração de díodo plano.

Como os electrões têm uma mobilidade maior que os iões no plasma, carregam a superfície do alvo com grandes potenciais negativos que por sua vez aceleram os iões positivos que pulverizam o substrato.

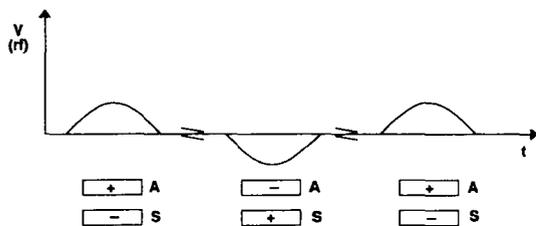


Fig. 4 - Princípio RF para controlo da acumulação de carga.

A - Alvo; S - Substrato

A geração eficiente de plasma requiere frequências da ordem dos 10 MHz e o sistema resultante geralmente opera na frequência permitida de 13.56 MHz.

A pulverização catódica de isoladores por rf contribuiu para a implantação da técnica de pulverização catódica e é possível agora comprar estes equipamentos com muitas variações.

A aparência física de um sistema rf é idêntica à do sistema d.c. A principal diferença entre um sistema de e um sistema rf é que este último requiere a adaptação de impedâncias entre a fonte de tensão e a câmara.

Um problema particular dos sistemas de rf é a necessidade duma adequada ligação do substrato à terra. Indutâncias e capacidades distribuídas (ligações eléctricas) podem resultar em tensões de rf na superfície do substrato. Em consequência poderá surgir aumento de perdas de potência, resultando na diminuição da eficiência.

#### Pulverização catódica por magnetrão

Esta técnica surgiu como complemento das outras técnicas de pulverização para melhorar os parâmetros do processo.

Um dos problemas nas técnicas apresentadas anteriormente é a exigência de pressões de operação bastante baixas ( $10^{-3}$  mbar) para evitar demasiadas colisões átomos-gás no percurso para o substrato. Por outro lado, a pressão deve ser suficientemente alta para permitir o bombardeamento iónico necessário à manutenção do plasma. Esta técnica minimiza o problema porque conduz a uma ionização mais eficiente a baixas pressões.

Quando se aplica um campo magnético paralelo à superfície do cátodo restringe-se os percursos dos electrões à sua proximidade. Consegue-se assim aumentar a eficiência de ionização do gás e como consequência aumentar a densidade do plasma o que permite tensões de trabalho muito mais baixas (500-600 V).

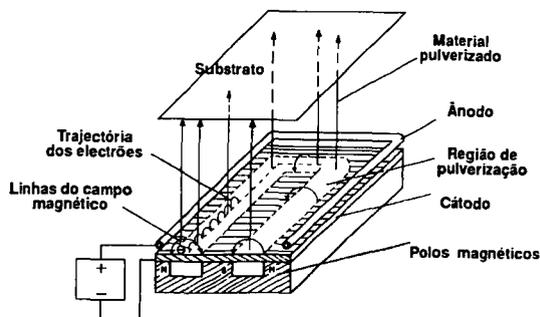


Fig. 5 - Esquema de magnetrão [5].

Podem ser usadas variadas técnicas para acoplar o campo magnético ao cátodo, no

entanto não passam de variações geométricas do mesmo princípio físico, i.e., todas sujeitam os electrões a uma zona restrita (Fig. 5).

Os valores mínimos do campo magnético para funcionamento eficiente são da ordem dos 20 mT. Normalmente usam-se valores superiores, que podem atingir os 50 mT.

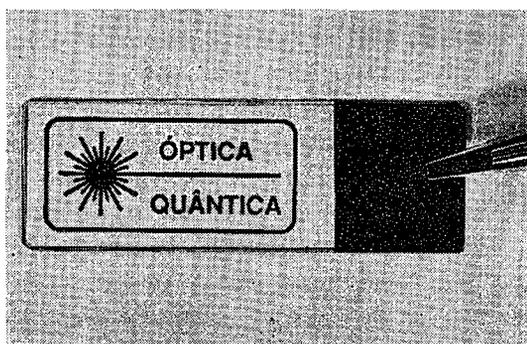


Fig. 6—Filme de alumínio depositado por magnetron num substrato de vidro (76x26 mm) no qual foi aplicada uma máscara.

Esta técnica apresenta ainda outras vantagens:

- filmes de elevada pureza;
- elevada aderência;
- boa cobertura de substratos mesmo com degraus ou pequenos contornos;
- compatibilidade com automatização.

### Materiais do alvo

Qualquer material em princípio poderá ser depositado desde que se encontre uma técnica apropriada. Existem no entanto algumas características gerais para os alvos, requeridas independentemente da técnica. Embora todas as formas de alvos possam vir a ser usadas em pulverização catódica, a forma de disco plano é a normalmente usada. A escolha de outras formas de alvos segue as peculiaridades da geometria do substrato (cilíndrica, esférica ou cónica). Contudo, como alvos não planos são difíceis de fabricar, opta-se na maioria das vezes por outras soluções tais como a movimentação do substrato. A regra geral é que a geometria do alvo seja escolhida tentando

garantir uniformidade no depósito do filme e elevada eficiência de deposição.

Para assegurar uma deposição uniforme, as linhas de campo no alvo devem ser uniformes, o que implica alvos planos e lisos e campos eléctricos uniformes em torno dos cantos.

Na Tabela 1 apresentam-se os valores da taxa de pulverização (S) quando a energia das partículas incidentes é de 500 eV e 1 KeV, assim como valores típicos para a energia limiar de excitação.

TABELA 1 — [1, 2, 4]

Material do alvo	S (*) a (500 eV)	S a (1 KeV)	Energia limiar (eV)
Al	1,05	1,0	13
Ag	3,120	3,8	15
Au	2,40	3,6	20
Cu	2,0	3,2	17

(\*) S é o número de átomos ejectados da superfície do alvo por partícula incidente.

Na Tabela 2 mostra-se os valores das taxas de deposição em função de parâmetros do processo de deposição.

TABELA 2 — [1, 2, 4]

Material do alvo	Taxa (A/min) $\times 10^3$	Distância alvo-sub (cm)	Pressão Ar (mTorr)	Dimen. do alvo (cm $\times$ cm)	Densid. potência (W/cm <sup>2</sup> )
Al	5,5	5	4	9x21	10.5
Cu	20,7	5	4	9x21	10.5
Al	11	5	3-5	dia. 14	30
Cu	25	5	3-5	dia. 14	30

### Instrumentação e seu uso

O sistema utilizado para deposição ESM100 é do tipo magnetron, rf.

Este modelo é particularmente apropriado para aplicações na área da Electrónica, Óptica e Metalurgia onde são necessárias deposições de metais, dieléctricos e compostos.

O sistema é composto por uma unidade de bombagem, uma câmara de vácuo, uma unidade de controlo e um gerador de rf.

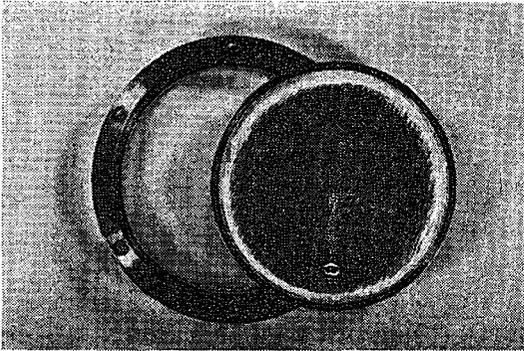


Fig. 7 — Alvo de alumínio (75x5 mm) usado na deposição anterior (Fig. 6) e respectivo suporte de cobre.

A unidade de bombagem inclui uma bomba rotativa e uma bomba difusora. A bomba rotativa mantém um certo vácuo ( $10^{-4}$  mbar) retirando os gases da câmara para a atmosfera. Para elevar o vácuo está montada uma bomba difusora. Os vácuos conseguidos por este sis-

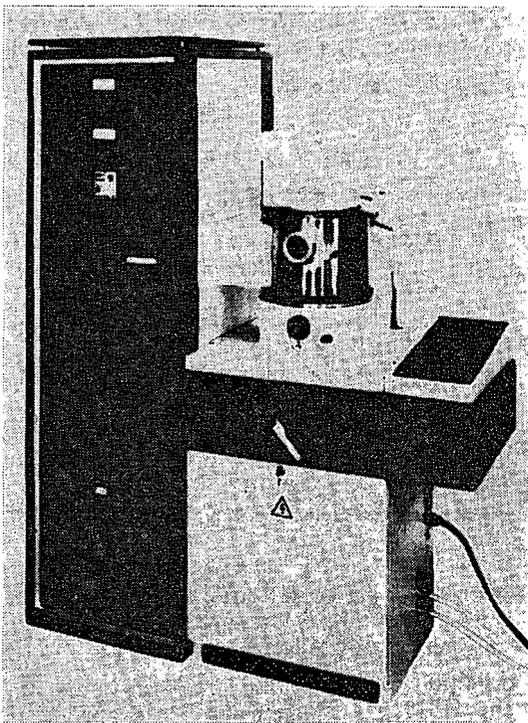


Fig. 8 — Máquina de pulverização catódica modelo ESM 100 instalada no grupo de Óptica Quântica da Universidade do Porto.

tema podem atingir valores da ordem dos  $10^{-7}$  mbar.

É possível conhecer em tempo real os valores da pressão na câmara e no circuito que liga as duas bombas através de 3 manómetros (de Piranni e de Penning).

A tampa da câmara (no topo da mesma) serve de plataforma do substrato, tendo um motor acoplado que permite rodar o substrato, o que ajuda a obter deposições mais uniformes.

No fundo da câmara estão colocados 3 cátodos (sobre os quais se colocam os alvos) que, apesar de só poderem funcionar um de cada vez, permitem fazer deposições sucessivas de 3 materiais diferentes sem ter que abrir a câmara. Um conjunto de magnetos está acoplado aos cátodos para permitir a configuração de magnetão sendo possível no entanto retirá-los. Cada cátodo está ligado ao gerador rf (máximo 1 KW) que opera a 13.56 MHz.

## Conclusões

A técnica de pulverização catódica permite produzir filmes em substratos de dimensões apreciáveis com elevada uniformidade. Torna também mais fácil cobrir superfícies complexas uniformemente. Os filmes produzidos apresentam uma boa aderência. Com a escolha certa da técnica a utilizar os mais diversos materiais podem ser considerados para depósitos. Uma vez estabelecidos os parâmetros é possível reproduzir resultados.

Apesar de tudo, as taxas de deposição ainda são baixas em comparação com outras técnicas como a evaporação.

## REFERÊNCIAS

- [1] Handbook of Thin Film Technology, Ed. Leon I. Maissel and Glang, McGraw-Hill (1970).
- [2] Methods of Experimental Physics, Vol. 14, Ed. G. L. Weissler and R. W. Carlson, Academic Press (1979).
- [3] Physical Vapor Deposition, Ed. Russel J. Hill, BOC Group (1986).
- [4] Thin Film Processes, Ed. J. L. Vossen and W. Kem, Academic Press (1978).
- [5] Progress in Optics, Vol. 23, Ed. Emil Wolf (1986).

# O «Clube da Ciência» na Escola Sec. Avelar Brotero de Coimbra

ALDA NABAIS, FÁTIMA OLIVEIRA, JOÃO PAIVA, MARGARIDA LAMETRAS,  
PAULA SILVA e SUZEL GLÓRIA

Escola Sec. Avelar Brotero, Coimbra

O «Clube da Ciência» insere-se num vasto conjunto de actividades da Escola Brotero. É um dos 23 núcleos do C.D.A.I. (Círculo de Desportos, Artes e Ideias) que inclui outros grupos abrangendo as áreas do desporto, artes, rádio, electrónica, acções de solidariedade social, etc.

Os dois núcleos de estágio, do grupo 4.º A, dinamizaram o «Clube da Ciência» no ano lectivo 88/89.

Cerca de 10 alunos do 8.º e do 9.º ano, em grupos diversos, elaboraram, durante os segundo e terceiro períodos os seus trabalhos.

Em tempo extra-curricular os alunos trabalharam cerca de 1 hora por semana na sala do «Quinteto Livre». Na mesma sala onde funcionavam os clubes de pintura, electrónica, informática e música, construíram-se as mais variadas montagens em projectos ora pesquisados pelos alunos, ora propostos pelos estagiários.

Não podemos negar que o cenário das telas, dos circuitos integrados, do computador e das violas nos aproximou: descontraui e chamou os alunos, chamou a ciência ao mundo da criatividade, da fantasia e do bem-estar.

Vimos alunos habitualmente desinteressados nas aulas a emprenderem os mais eficazes e surpreendentes esforços.

Todas as quarta-feiras ia para o ar o programa «Espaço Ciência» no C.R.A.B. (Centro de Rádio Avelar Brotero), que emitia um circuito interno para toda a escola. O programa incluía entrevistas com os jovens empenhados no «Clube da Ciência», e ainda a rubrica «Qual é o cientista?», na qual era dada a biografia de um Homem de ciência pedindo-se aos alunos para indicarem o seu nome. Havia ainda adivinhas, cujas respostas eram conceitos de física ou de química, algumas das quais feitas pelos alunos.

O programa trouxe a si outros alunos que respondiam aos concursos a troco de bolos que algumas empresas gentilmente nos cederam.

Foi neste ambiente de indiscutível interesse pedagógico que decorreram as construções dos seguintes aparelhos:

- Telégrafos;
- Painel solar;
- Termómetro bimetalico construído com uma caneta «Bic»;
- Calorímetro;
- Aparelhos de óptica.

## Telégrafos

Com um grupo de alunos do 8.º ano, foram montados vários sistemas telegráficos, conforme mostram as diferentes fotografias, cujos sinais são transmitidos por emissão de luz, por forma gráfica ou por via sonora.

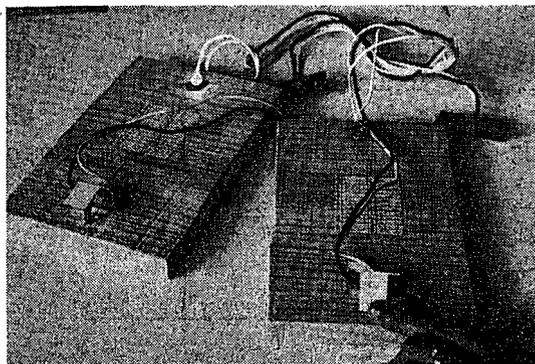


Fig. 1 — A primeira versão do telégrafo dos alunos do 8.º ano.

Todos os esquemas apresentados funcionam por meio de um interruptor que, ao ser premido, permite a passagem de corrente através dos fios condutores.

No caso das fotografias 1 e 2 o receptor é constituído por um electroímã que, quando há passagem de corrente, faz deslocar uma armadura onde se encontra suspensa uma caneta ou o percursor de uma campainha.

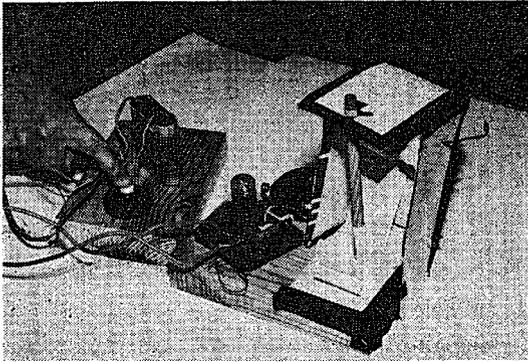


Fig. 2 — Os alunos do 8.º ano realizaram nova versão do telégrafo, mas ainda não ficaram satisfeitos...

Como seria de esperar os primeiros projectos não se mantiveram até ao final. Os aparelhos foram apresentados com um grau crescente de complexidade. O professor, sempre que possível, seguia a estratégia de ocupar o lugar de observador, dando aos alunos a possibilidade de imaginar, projectar, executar e concluir, com base na experimentação.

Os grupos de trabalho lançaram mãos a projectos rudimentares mas um certo desejo de aproximação da realidade, impulsionado por uma constante motivação e assiduidade aos trabalhos, foram fazendo surgir aparelhos mais sofisticados. Exemplo claro é o telégrafo da Fig. 3, que foi tomando forma com o tempo,

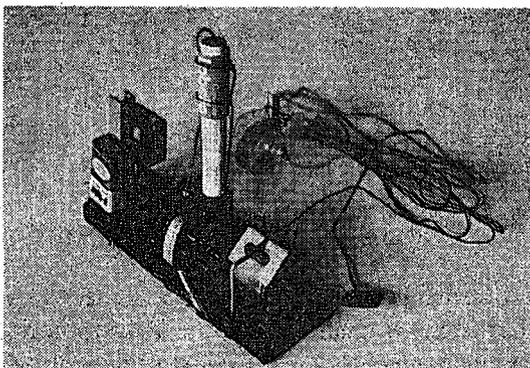


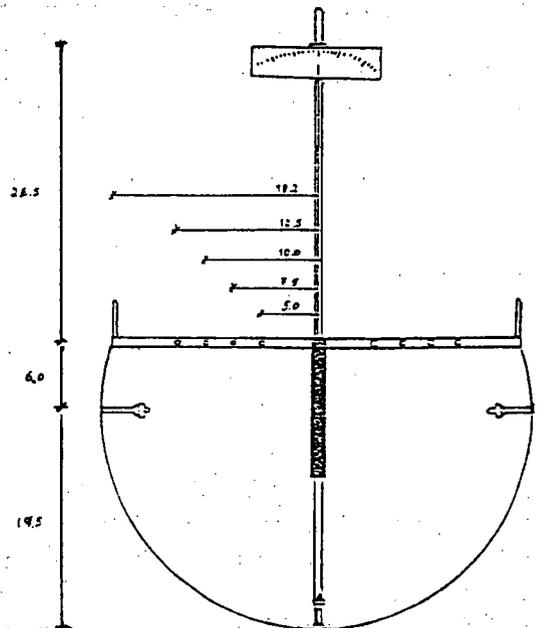
Fig. 3 — O telégrafo executado pelos alunos do 8.º ano, na sua versão final.

até à versão final aqui apresentada. A «serpentina registadora», colocada no suporte de fita cola, com a função de registar os sinais, é escrever sem palavras 'imaginação'...

### Flutuador

Neste trabalho utilizou-se um flutuador com secção de forma cilíndrica e com as dimensões indicadas na Fig. 4. Este aparelho dispunha de uma agulha e de uma escala graduada em graus que permitia registar inclinações. Com uma régua graduada num dos topos, foi também possível proceder às leituras da altura submersa para diferentes distribuições de carga.

A noção de impulsão, bem como a introdução ao princípio de Arquimedes, foram



#### ● CARGAS

4\* 1Kg (6.3\*1.2\*15.5cm)

2\* 1Kg (D= 7.6cm; h= 2.65cm)

2\* 1Kg (6.3\*1.2\*15.5cm)

Fig. 4 — Esquema do flutuador utilizado nas experiências sobre hidrostática.

abordadas, partindo de experiências com o flutuador. As actividades experimentais eram sugeridas por um roteiro e os alunos convidados à execução de um relatório com vista à interiorização de conceitos na área da hidrostática.

As actividades com os alunos à volta deste aparelho, ganharam sobremaneira com o facto de se realizarem ao ar livre, em locais diferentes daquilo que constitui o tradicional recinto escolar (ver Fig. 5).

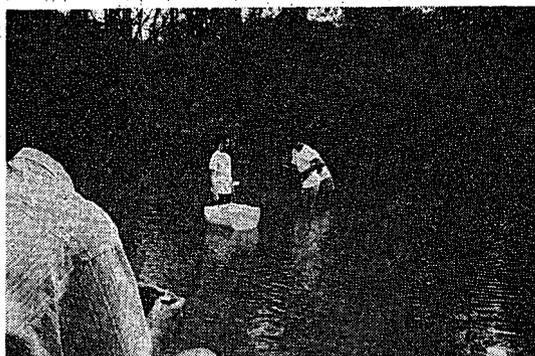


Fig. 5 — Os alunos aprendem, brincando ao ar livre.

### Colector solar

A construção do colector solar (Fig. 6) foi feita a partir de uma caixa sobre a qual se colocou um isolador térmico (esferovite) e,

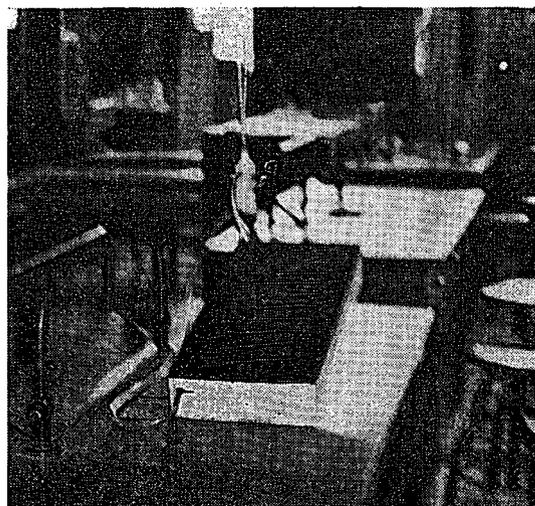


Fig. 6 — O colector solar.

sobre este, chapa zincada pintada com tinta preta baça.

Um tubo de cobre, também pintado de preto e dobrado em sucessivas curvas, foi posto em cima da chapa metálica com os seus extremos a saírem da caixa pelas suas faces opostas de menor superfície e ligados, por meio de tubos plásticos, a um depósito que permitia a circulação e armazenamento da água, a temperaturas que se mantinham elevadas.

Foi curioso registar, à medida que o colector tomava forma, as expectativas dos alunos — a maioria das quais no sentido do não funcionamento do aparelho. Algumas modificações sugeridas por este ou aquele fracasso, levaram ao «produto final», que, para espanto de alguns e alegria de todos... funcionava!...

O dispositivo construído foi testado durante 90 minutos (das 12h às 13.30h). Os resultados obtidos estão registados no Quadro 1.

QUADRO 1 — Resultados do funcionamento do colector solar.

Tempo (minutos)	Temperatura da água no depósito do colector (°C)	Temperatura da água no depósito de referência (°C)
0	24	24
10	41	27
20	58	28,5
30	77	30
40	66	30
50	72	31,5
60	76	32
70	81	32
80	75	32,5
90	78	33

### Calorímetro

Para a construção do calorímetro (Fig. 7) utilizaram-se dois vasos «pyrex». O vasto interior era espelhado por fora e separado do exterior por apoios de borracha.

No revestimento do dispositivo os alunos utilizaram cortiça nas paredes laterais, cortiça

e madeira na base, e madeira na tampa e no aro que serviu de revestimento dos bordos superiores dos dois vasos.

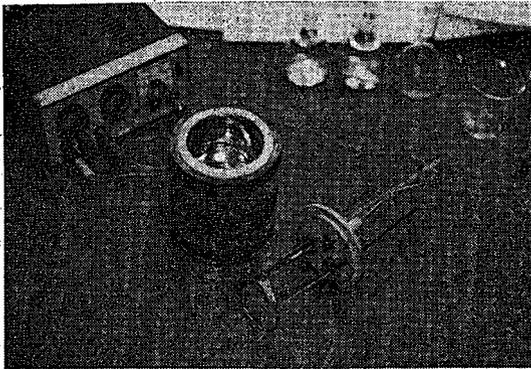


Fig. 7 — O calorímetro.

Para estudarmos as transferências sob a forma de calor de qualquer substância líquida, verte-se esta para dentro do vaso interior e procede-se ao seu aquecimento utilizando uma resistência. Através de orifícios existentes na tampa, introduz-se um termómetro e um agitador para manter uniforme o aquecimento da respectiva substância.

O gráfico da Fig. 8, mostra a diferença entre a curva ideal (se a energia dissipada pela

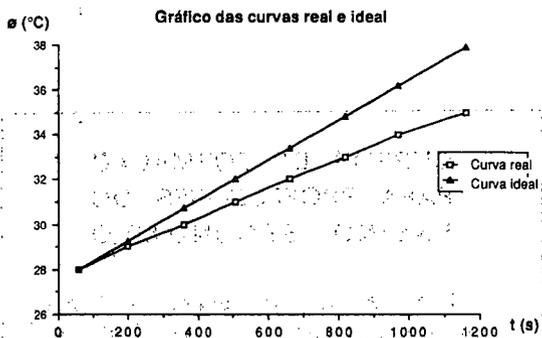


Fig. 8 — Resultados do funcionamento do calorímetro.

resistência fosse totalmente transferida para a água sob a forma de calor) e a curva real obtida para a água ( $m = 100$  g;  $R = 15$   $\Omega$ ;  $I = 0,5$  A;  $C = 1$  cal/g·°C). É patente um certo desvio entre as duas curvas, apesar dos

resultados se poderem considerar razoáveis. A substituição de alguns materiais por outros que oferecessem melhores garantias de isolamento térmico, bem como uma maior junção das diferentes peças, levaria de certo a uma maior aproximação das curvas.

### Termómetro Bimetalico construído com uma caneta «Bic»

Utilizando material do dia-a-dia (caneta «bic» sem carga, clips, fio de cobre, lata de bebidas, pregos, etc.), os alunos construíram um termómetro, com base num trabalho de Allen R. Inversin (detalhes na ref. 1).

Fixou-se numa das faces da caneta uma tira de lata a qual foi presa à caneta juntamente com a extremidade do fio condutor. Uma outra tira de metal, com uma saliência colocada no buraco da caneta, serviu de escala, conforme se pode observar na Fig. 9.

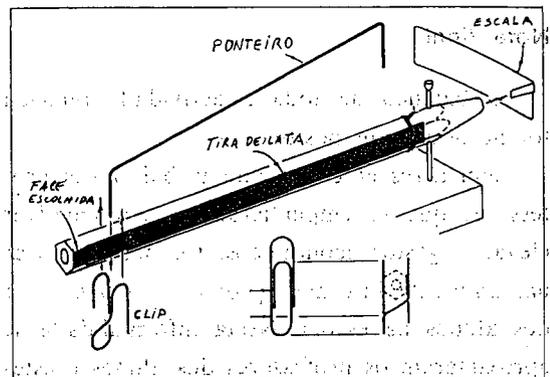


Fig. 9 — Um termómetro construído com uma caneta «Bic», placa metálica, etc.) seguindo o trabalho mencionado na ref. 1.

Essa escala foi elaborada pelos próprios alunos a partir de pequenas variações de temperatura de valores conhecidos.

### Projector de slides, periscópio e câmara escura

Com as turmas do 9.º ano, levaram-se a cabo alguns trabalhos no domínio da óptica,

que funcionaram como suporte para a introdução de alguns conceitos do programa da disciplina de Físico-Químicas.

Caixas de cartão, placas de vidro, papel vegetal, lentes, espelhos, molas da roupa, lâmpadas, velas e outros materiais igualmente simples serviram de base a estas três execuções experimentais.

### Outros trabalhos

Para além das referidas actividades, desenvolveram-se alguns pequenos trabalhos como uma viola de caixa, barcos com «propulsão elástica» (um simples elástico fazia girar o «motor» de um pedaço de cortiça), barcos com «propulsão cólica» (idêntico ao anterior mas movendo-se à custa do esvaziamento de um balão) e elementos de pilha rudimentares (usando moedas, limões, arames, etc.).

### Nota final

O balanço de toda a actividade referida foi notoriamente positivo.

Sem acrescentar demasiado trabalho aos professores que se empenharam e sem envolver elevados gastos económicos, foi possível criar um ambiente informal, propício ao bem-estar dos alunos na escola. Nesta informalidade se aproximaram os professores dos alunos e estes da Física.

Foi curioso registar que os alunos do 8.º ano manifestaram uma particular adesão, indiscutivelmente maior do que os alunos do 9.º ano. Esta sensação é comum a muitos professores de Físico-Químicas e a ela não é alheio o facto de os alunos do 8.º ano terem pela primeira vez a disciplina. Trazem consigo uma enorme expectativa que iniciativas como esta poderão não deixar esmorecer.

Numa altura em que se investe decididamente na Escola Cultural, pensamos que o «Clube da Ciência» é uma resposta eficaz,

possível de ser lançada com a originalidade de cada grupo, em qualquer escola do nosso país.

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos às nossas orientadoras de estágio, Dr.<sup>a</sup> Esmeralda Costa e Dr.<sup>a</sup> Helena Cabral, à nossa orientadora científica, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Helena Caldeira e ao nosso colega Fernando Castro, principal dinamizador do C.D.A.I.

### BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, R. Inversin — *The Physics Teacher*, March 1977, p. 186.
- FARIA, Ana Maria, *et al.* — FQ8: Física, 1.º volume, 5.ª ed., Lisboa, Didáctica Editora, 1988.
- FARIA, Ana Maria, *et al.* — FQ8: Física, 1.º volume, 10.ª ed., Lisboa, Didáctica Editora, 1988.
- MARTINS, Isabel; CRUZ, Natália — *A Descoberta da Física*: 9.º ano. Porto, Porto Editora, 1985.
- CARVALHO, Rómulo de — *Energia Radiante: cadernos de iniciação científica Sá Costa*, 1.ª ed., 1985.
- KREIDER, Jan F.; KREITH, Frank — *Solar heating and cooling: engineering, practical design and economics*. Washinton, Hemisphere Publishing Corporation, 1977.

### CURSOS DE FORMAÇÃO PARA PROFESSORES DO ENSINO SECUNDÁRIO

*A Sociedade Portuguesa de Física, através duma acção conjunta da Divisão Técnica de Educação e das três Delegações Regionais da SPF, vai iniciar um novo ciclo de cursos de formação para professores do Ensino Secundário.*

*Para mais informações, ver notícia na página 149 deste número da Gazeta de Física.*

# História da Física — Um questionário de avaliação

MANUEL F. THOMAZ e ISABEL M. MALAQUIAS (\*)

Departamento de Física, Universidade de Aveiro, 3800 Aveiro

*Após 4 anos de leccionação da cadeira de História da Física foi realizada uma sondagem aos alunos que a frequentaram, com vista a colher opiniões que permitam aferir e melhorar os conteúdos e métodos de ensino que têm sido usados. Os resultados do inquérito mostram, como seria de esperar, que algumas modificações devem ser introduzidas para melhor atingir os objectivos pedagógicos e científicos propostos.*

## 1. Questionário (transcrição)

### HISTÓRIA DA FÍSICA

#### Um Questionário

O presente questionário destina-se a recolher informações e opiniões de alunos ou licenciados que tenham já frequentado a disciplina de História da Física. Esta disciplina é fixa no currículo do curso da licenciatura em Física e optativa no da licenciatura em Ensino de Física e Química. Trata-se de uma disciplina semestral com 2 horas por semana.

A título de memorando indicam-se a seguir os temas que têm constituído o programa da disciplina.

### PROGRAMA

#### Conteúdos

	N.º de horas (aproximado)
1. A Ciência na Antiguidade Oriental e Clássica	
1.1. Egipto (geometria, topografia, aritmética, ...)	1
1.2. Assíria (astronomia, matemática comercial, astronomia, ...)	0,5
1.3. Grécia (Tales, pitagóricos, atomistas, Aristóteles, ...)	1
1.4. Alexandria e Roma (Euclides, Arquimedes, aplicações técnicas, ...)	1
2. A Ciência na Idade Média — o novo despertar do Interesse pela Ciência	
2.1. O mundo árabe (Al-Hazen, Geber, ...)	1,5
2.2. O ocidente (Alberto Magno, G. Occam, Roger Bacon, Oresme, ...)	1
3. Renascimento	
3.1. Leonardo da Vinci	0,5
3.2. Francis Bacon	0,5
3.3. Ticho Brahe	1

## 4. O Século XVII

- 4.1. Astronomia — a polémica (Kepler, Copérnico, Galileu) 2,5  
4.2. Descartes, Gassendi, Newton 2,5

## 5. O Século XVIII

- 5.1. O desabrochar da Física 1,5  
5.2. As disciplinas da Física (Mecânica, Calor, Electricidade) 2  
5.3. A instrumentação científica (aparelhos de medida, laboratórios de Física, etc.) 1,5  
5.4. A revolução industrial 1

## 6. O Século XIX

- 6.1. A Termodinâmica (Carnot, Mayer, Clausius, ...) 2  
6.2. O Electromagnetismo, incluindo Óptica (Coulomb, Ampère, Faraday, Fresnel, Maxwell, ...) 3,5

## 7. O Século XX

- 7.1. Factos que conduziram à alteração da Física Clássica 2

### Avaliação

A avaliação é feita a partir de trabalhos (em grupos de 2 alunos) sobre temas dados a escolher ou sobre comentários e apreciações de obras com interesse na História e Filosofia da Física.

### QUESTIONARIO

#### 1 — Identificação

1. Sexo: F  M   
2. Curso: Física   
Ensino de Física e Química   
Licenciatura:  
Completa   
Incompleta  Ano

(\*) Bolsista do Instituto Nacional de Investigação Científica.

3. Experiência como professor:

Não  Sim

Tempo de serviço:  anos

As questões abaixo assinaladas com \* admitem resposta a mais do que um dos itens apresentados.

II - A disciplina e seu funcionamento

1. Os temas tratados durante o curso (vd. programa atrás) são, quanto ao seu número:

- demasiados
- suficientes
- poucos
- sem opinião

- muito interessantes
- interessantes
- pouco interessantes
- nada interessantes

3. Será desejável retirar do programa alguns dos tópicos abordados no curso: Não  Sim

Se indicou Sim, exemplifique tópicos que deviam ser retirados (use a numeração que aparece no programa):

-  -

Indique sumariamente as principais razões .....

.....

4. Explícite alguns tópicos novos que deveriam ser incluídos no curso:

1. .... 2. .... 3. .... 4. ....

5. Dos tópicos abordados indique quais gostaria de ver tratados (usar a numeração do programa):

a) mais aprofundadamente:

1.  2.  3.

b) mais superficialmente:

1.  2.  3.

\* 6. Relativamente à apresentação dos temas, as aulas devem ser:

- teóricas (exposição oral)
- seminários (com apresentação por estudantes e discussão)
- outras .....

\* 7. Apresentação dos temas deve:

- ser feita só pelo professor
- fazer uso de professores convidados
- incluir apresentação de diapositivos, filmes, diaporamas, etc.
- prever visitas a museus, exposições, bibliotecas, etc.
- outros meios .....

8. A avaliação deve ser feita através de:

- testes
- trabalhos a apresentar no fim do curso
- testes e trabalhos
- outros métodos .....

\* 9. Como elementos de apoio ao estudo devem existir:

- um texto («sebenta», fotocópias, etc.) com a totalidade do curso
- um livro de base
- vários livros de consulta
- textos originais
- artigos de revistas sobre História da Ciência
- outros elementos.....

III - Interesse da disciplina no plano geral de formação e nos currícula dos cursos em que se integra

1. O estudo da História e Filosofia da Física tem, para a formação de um cientista ou de um professor de Física:

a) (cientista)

- muito interesse
- algum interesse
- pouco interesse
- nenhum interesse
- não sei

b) (professor de Física)

- muito interesse
- algum interesse
- pouco interesse
- nenhum interesse
- não sei

2. Se indicou as duas primeiras opções em a) ou b) procure ordenar as razões atribuindo um número de ordem às opções seguintes:

- é estimulante para o estudo da Ciência o conhecimento da evolução histórica dos seus métodos, técnicas e ideias
- é importante para o cientista conhecer os fundamentos filosóficos da Ciência

- é necessário estudar as implicações sociais da Ciência ao longo dos tempos
- é importante conhecer os impactos ambientais, éticos e políticos da Ciência.
- outras razões .....

3. A disciplina de História da Física contribui para uma formação cultural mais ampla dos futuros físicos e professores de Física:

- muito  — razoavelmente
- pouco  — nada

4. A História da Física é estimulante para desenvolver o gosto pela Física:

- muito  — razoavelmente
- pouco  — nada

5. A disciplina deve ser obrigatória no currículo do curso de:

- Física Sim  Não
- Ensino de Física e Química Sim  Não

6. A disciplina de História da Física deverá relacionar-se preferencialmente com:

- disciplinas propedéuticas do curso (1.º e 2.º anos)
- disciplinas avançadas do curso (3.º e 4.º anos)
- disciplinas profissionalizantes (estágio, projecto, etc.)

\* 7. As dificuldades que se encontram no estudo e compreensão da disciplina dizem respeito a:

- aspectos da História Universal
- aspectos de Física
- não relacionar o conteúdo da disciplina com quaisquer aspectos das disciplinas de Física e/ou de Química já frequentadas
- Outras .....

\* 8. Se já teve experiência profissional como professor de Física ou como estagiário:

- utilizou nas suas aulas conhecimentos de História da Física Sim  Não
- usou a História da Física na preparação das suas unidades de ensino, quer para apresentação teórica, quer laboratorial Sim  Não
- sentiu ser a História da Física um meio de se relacionar com professores de outras áreas na Escola Sim  Não

9. Algumas sugestões no sentido de melhorar o interesse e o funcionamento da disciplina de História da Física .....

## 2. Resultados

### 2.1. A população

Embora desde o início da cadeira em 1985/86 (trata-se de uma disciplina do 2.º semestre do 4.º ano dos cursos de Física e de Ensino de Física e Química, que pode ser frequentada noutros anos visto que não está condicionada a precedências) tenham já frequentado a História da Física 94 alunos, só foi possível atingir 38, dos quais concluíram 10 alunos em 1986, 11 em 1987, 3 em 1988, 12 em 1989 e 2 não indicam o ano de conclusão. Foi portanto atingida uma população de 40,4% do máximo possível. Dos 38 inquiridos, 27 são do sexo feminino e 11 do sexo masculino; 6 são do curso de Física e 32 de Física e Química; 11 têm a licenciatura completa enquanto que dos 27 que ainda frequentam, são 2 do 3.º ano, 22 do 4.º ano e 3 do 5.º ano; só 15 dos 38 inquiridos têm experiência profissional como professores (6 com 1 ano, 5 com 2 anos e 4 com 3 anos de experiência).

### 2.2. A disciplina e seu funcionamento

Seguindo a ordenação das questões no inquérito, quanto aos tópicos abordados a maioria dos inquiridos considera-os em número «suficiente» (29) e 9 acham-nos «demasiados». Sobre o interesse dos temas, 29 respostas indicam que são «interessantes», 7 «muito interessantes» e 2 «pouco interessantes». Só 8 inquiridos julgam que é desejável retirar alguns tópicos do programa e quanto a estes concentram-se as respostas, com igual peso, nos tópicos dos capítulos 1, 2 e 3.

São numerosos os tópicos novos que são indicados como desejáveis, sendo a maioria deles relativos a Física moderna, como, por exemplo, «a óptica pós-laser», «relatividade restrita e generalizada», «astrofísica», «aparecimento da Mecânica Quântica», «quem são os cientistas actuais e o que fazem», «a física e a indústria do séc. XX. (ex.º desenvolvimento tecnológico)», etc. Outros tópicos significativos

indicados são «física e as outras ciências (medicina, astronomia, ...)», «o desenvolvimento da ciência em Portugal», «os cientistas portugueses», «maior cuidado e mais desenvolvimento nos capítulos 5 e 6», «como aproveitar a História da Física do ponto de vista pedagógico».

Respostas elucidativas são as que se referem às questões 5a e 5b. Com efeito, os tópicos a tratar mais profundamente são o Cap. 7 (48%), Cap. 6 (22%), Cap. 5 (15%), Cap. 4 (6%), Cap. 3 (3%), Cap. 2 (2%), Cap. 1 (3%). Em coerência com estes resultados os tópicos que se preferia ver tratados mais superficialmente são, pela ordem indicada, o Cap. 1 (45%), Cap. 2 (28%), Cap. 3 (11%), Cap. 6 (7%), Cap. 5 (5%), Cap. 4 (4%) e Cap. 7 (0%).

As questões apresentadas em seguida dizem respeito a alguns aspectos dos métodos usados na cadeira, como a apresentação dos temas nas aulas, os recursos educacionais a utilizar, os elementos de apoio e o processo de avaliação.

O modelo de aulas preferido é o de seminário com 55%, seguido de aulas teóricas (exposição oral) com 28% e outras com 17%. Entre as outras modalidades são mencionadas as seguintes: «apresentação dos trabalhos dos alunos ao longo do semestre», «as aulas deviam ser programadas de forma a os alunos darem os temas do programa, ajudados e apoiados pelo professor; cada aluno daria uma aula ou mais sobre determinado tema»; «após a exposição feita pelo professor e caso o assunto mereça ser desenvolvido mais aprofundamente tal poderia ser feito pelos alunos»; «deveria ser feito um aproveitamento dos trabalhos dos alunos»; «devia ser feito um aproveitamento dos trabalhos dos alunos dos anos anteriores»; «análise e interpretação de texto»; «os temas de seminário/trabalho devem incidir sobre a história do aparecimento das ideias, e menos sobre o trabalho de um autor».

Sobre os recursos a utilizar nas aulas aparecem opiniões numerosas a desejar a inclusão nas aulas de meios audio-visuais (filmes, diaporamas, etc.) numa percentagem de 39%,

visitas a museus, exposições e outras actividades de exterior com 34%, conferências por professores convidados com 19%, enquanto as aulas dadas só pelo professor (sem recurso a outros meios) aparecem com apenas 3%. Outras opiniões incluem: «intercâmbio investigativo com outros centros universitários»; «se os alunos fizessem trabalhos mais curtos poderiam também fazer mais exposições orais».

Ainda nos aspectos metodológicos, mas agora para sondar o tipo de elementos de consulta preferidos, as respostas à questão n.º 9 mostram que 31% das vezes é manifestado interesse em artigos de revistas sobre História da Ciência, 22% na existência de vários livros recomendados, 18% das vezes é referida a «sebenta» e 16% das vezes são referidos textos originais. A existência de um livro base pode talvez ser confundida com a da «sebenta» (para efeito de se considerar como elemento de consulta a confusão é legítima) pelo que os 4% de referências a livro de base poderão adicionar-se aos 18% de referências a «sebenta» e considerar que houve 22% de alusões a um texto de base do curso.

Ainda no que respeita ao método de funcionamento da disciplina resta saber como é encarada a avaliação, questão que é abordada no ponto 8. A maioria das respostas (71%) indica preferência pelo método de «apresentação e discussão de um trabalho final». As alternativas sugeridas concentram-se (22%) em «pequenos seminários a realizar pelos alunos ao longo do semestre» ou «aulas dadas pelos alunos», uns e outras presumivelmente sujeitas a avaliação.

A terceira e última parte do questionário destinava-se a colher opiniões e impressões sobre o interesse da disciplina em si mesma e para os cursos que integram.

O domínio da História e Filosofia da Física é considerado de muito interesse para os físicos (63%) e para os professores de Física (57%), conforme resulta das respostas à primeira questão.

As razões desse interesse são averiguadas na questão seguinte onde se sugerem quatro

razões para ordenar, deixando naturalmente possibilidade para indicar outras. Das quatro razões de interesse sugeridas, a primeira é considerada a de maior importância, com 36% de indicações. As outras três razões são apontadas com peso aproximadamente igual, havendo ligeira vantagem da 4.<sup>a</sup> razão nas respostas dadas.

As respostas às 3.<sup>a</sup> e 4.<sup>a</sup> questões indicam que, na opinião dos inquiridos, a História da Física contribui para uma formação cultural mais ampla dos físicos e professores de Física (26% «muito», 66% «razoavelmente») e que é estimulante para desenvolver o gosto pela Física («muito»: 34%; «razoavelmente»: 47%).

As duas questões seguintes reportam-se à localização da disciplina no plano curricular dos cursos de Física e Ensino de Física e Química. Assim, 81% das respostas indicam que a disciplina deve ser obrigatória no plano da licenciatura em Física e a mesma percentagem se verifica para a obrigatoriedade na licenciatura em Física e Química.

Quanto às disciplinas do curso com as quais a História da Física deve ter relação preferencial, a maioria (45%) opta pelas disciplinas do 3.<sup>o</sup> e 4.<sup>o</sup> anos, 26% pelas disciplinas propedêuticas (1.<sup>o</sup> e 2.<sup>o</sup> anos do curso) e 21% pelas disciplinas profissionalizantes.

As principais dificuldades encontradas no estudo da História da Física distribuem-se da forma seguinte pelas três dificuldades sugeridas: 29% para a primeira, 14% para a segunda e 34% para a terceira.

O emprego de aspectos da História da Física pelos inquiridos com experiência de professor ou estagiário, revela que todos usaram conhecimentos de História da Física nas suas aulas, 69% usaram-nos na preparação das aulas teóricas ou laboratoriais e 83% não sentiu que a História da Física suscitasse maior aproximação com professores de outras áreas disciplinares da escola.

Num último ponto pediam-se sugestões concretas para melhorar o interesse e o funcionamento da disciplina. Eis algumas das sugestões que se julga terem mais interesse: «Mudar o

sistema de avaliação, de tal modo que os alunos acompanhem a constante motivação do curso, e, durante o curso e sempre que oportuno, ajustar mais de perto o curso com os programas a leccionar no Ensino Secundário, dando assim uma visão mais clara ao futuro professor de Física, do quanto é importante e útil este curso». «Penso que se deveriam dar as aulas usando passagem de filmes, pois acho que o meio visual é bastante mais apurado que o auditivo. Além disso as aulas teriam ainda mais motivação. Para se realizar isto deveria haver 3h semanais na cadeira em vez de duas». «A matéria deveria ser exposta através de diaporamas, visitas a locais onde se possa ver instrumentos científicos utilizados pelos cientistas dos séculos anteriores ao nosso». «Poderia ser incluída uma componente prática — construção de experiências preconizadas pelos cientistas. Penso que seria interessante se os trabalhos a apresentar tivessem algumas opções deste tipo. Penso que seria extremamente estimulante construir um dos aparelhos mecânicos idealizados por ex.<sup>o</sup> por Newton ou Da Vinci. No entanto não sei qual a viabilidade desta sugestão». «Existir uma sebenta com textos sobre os assuntos que estão a ser tratados nas aulas. Existir a possibilidade de os alunos fazerem trabalhos mais curtos, a serem apresentados durante o semestre; deste modo talvez se sintam mais cedo inseridos na disciplina. Aprofundar mais os assuntos que estão relacionados com os conteúdos programáticos da disciplina de Física e Química». «Tornar mais dinâmicas as aulas e aproveitar de alguma forma qualquer situação em que os alunos possam intervir». «As aulas não devem ser dadas única e exclusivamente por acetatos. Certos temas dados por acetatos tornam a aula monótona e pouco motivadora». «Essencialmente, alterar o sistema expositivo e teórico, tornar as aulas participadas pelos alunos — proporcionar um ambiente de pesquisa e descoberta. Se fosse possível, deveria existir interacção com Didáctica da Física (que é do semestre anterior), no caso do curso de Física e Química, em ordem a, em alguns trabalhos

a apresentar no final serem instrumentos simples que, por eles próprios, constituem História». «O problema que eu senti quando frequentei esta cadeira foi a linguagem dos livros que tive de consultar. Talvez se os livros estivessem numa linguagem actualizada, o interesse pela cadeira seria ainda maior. No entanto gostei desta cadeira e entendo que ela deve fazer parte dos cursos de Física e Físico-Química». «Melhorar a bibliografia. Obter cópias de artigos originais. Incidir o estudo sobre os temas 4, 5, 6, 7. Incluir alguns aspectos de Filosofia das Ciências».

### 3. Análises e conclusões

São curiosas e interessantes as conclusões que se podem extrair da análise dos resultados atrás referidos. Se bem que algumas delas fossem, de certo modo, previsíveis, é importante verificar através da consulta directa que assim é; e principalmente tirar as ilacções necessárias quanto aos aspectos metodológicos e aos conteúdos do programa.

As primeiras conclusões importantes a tirar ressaltam das respostas às questões 1 a 5 da parte II do questionário e podem resumir-se no seguinte:

1) Os tópicos abordados são considerados, dum modo geral, interessantes e qualitativamente correctos; porém:

2) Deviam ser muito mais desenvolvidos os tópicos da História mais recente da Física, em detrimento dos tópicos da Física «pré-científica», que suscitam menos interesse e, relativamente aos quais há dificuldades de acompanhamento por falta de conhecimentos históricos ou de relacionamento dos assuntos abordados com as disciplinas do curso (cf. resultados da questão 7 da parte II).

Da análise dos assuntos novos sugeridos na resposta à questão 4 da parte II (que estão em total consonância com a conclusão atrás explicitada), pode concluir-se que a disciplina

de História da Física não é encarada como uma disciplina com estatuto epistemológico próprio, mas antes é vista como mais uma disciplina de formação em Física. Com efeito, os tópicos novos sugeridos revelam interesse em complementar a formação em Física moderna, por ventura sentida como deficiente, e não interesse pelos aspectos históricos do desenvolvimento da Física.

Esta conclusão põe alguns problemas no que respeita à concepção da disciplina e dos seus objectivos gerais. Não há dúvidas que hoje a História da Ciência é um domínio com estatuto cultural e académico próprio<sup>(1)</sup>, se bem que no nosso país essa situação não seja ainda nitidamente reconhecida. É um domínio com uma problemática geral de investigação própria e com finalidades específicas quanto ao espaço de intervenção cultural que lhe cabe. É certamente um domínio interdisciplinar ao qual investigadores provenientes de diferentes formações poderão trazer contributos importantes. É um domínio que proporciona uma ponte entre a cultura dita humanística e a cultura dita científico-técnica.

Contudo, a inserção de uma disciplina de História da Física nas licenciaturas em Física e Química poderá ter de prescindir de objectivos próprios muito específicos e satisfazer também objectivos de complemento de formação científica no campo da Física. É esse o entendimento que se depreende da maioria das respostas à questão 4 da parte II. As sugestões quanto a tópicos novos estão em concordância com as respostas dadas à questão 6 da parte III, que preconizam um maior relacionamento da História da Física com as disciplinas do 3.º e 4.º anos; onde se situam, de modo geral, os assuntos de Física moderna.

Elucidativas são também as conclusões que se tiram das respostas a questões de natureza metodológica (questões 6, 7 e 9 da parte II). A necessidade de utilização de meios audio-

(1) Helge Kragh «An introduction to the History of Science», Cambridge University Press, 1987.

-visuais, de visitas e de recorrer a professores convidados é evidenciada. Igualmente se conclui que deverá existir um número razoável de meios de consulta, particularmente obras originais (ou cópias) e revistas da especialidade. Na Biblioteca do Departamento de Física da Universidade de Aveiro existem algumas obras, das quais é de salientar o Dictionary of Scientific Biographies de Ch. G. Gillispie, em 16 volumes, adquirido com o apoio da Fundação C. Gulbenkian. Quanto a revistas apenas são assinadas cinco (ISIS, Revue d'Histoire des Sciences et de leurs Applications, British Journal for the History of Science, Historical Studies in Physical Sciences, History of Science).

Sobre a avaliação a usar na disciplina, as preferências vão maioritariamente para o método que tem sido usado: elaboração e discussão de trabalhos finais, individuais ou por grupos de 2 alunos, com apresentação e discussão individual, sobre temas escolhidos de uma extensa lista fornecida no início do curso.

Na parte III do questionário procurou-se averiguar ainda da opinião dos inquiridos quanto ao interesse do assunto em si para a formação dos futuros físicos e professores e da disciplina no contexto dos cursos.

As respostas não são muito entusiásticas (vd. as respostas às questões 1, 2, 3, e 4 dessa parte) o que estará eventualmente correlacionado com os aspectos metodológicos que condicionam o interesse pela cadeira. No entanto, a opinião de obrigatoriedade da disciplina nos currícula dos cursos de Física e Ensino de Física e Química é maciçamente favorável.

Os inquiridos com experiência profissional, quer como professores provisórios, estagiários (5.º ano da licenciatura em ensino) ou professores qualificados, utilizam maioritariamente conhecimentos de História da Física nas suas aulas.

Finalmente as sugestões pedidas no último ponto do questionário, de que atrás se dão alguns exemplos, são interessantes para tornar mais atraente e mais formativa a disciplina de História da Física.

## Prémio Nobel da Física-1990

Friedman, Taylor, Kendall

A estrutura da matéria pode ser hoje encarada em cinco níveis distintos de conhecimento: moléculas, átomos, núcleos, nucleões (protões e neutrões) e «quarks». Os quarks são as partículas elementares de que são feitos os nucleões, tendo sido previstos *teoricamente* no início da década de 60 pelo físico americano Murray Gell-Mann, a quem foi mais tarde atribuído o prémio Nobel da Física (1969).

A detecção experimental dos primeiros quarks veio a ocorrer nos finais da década de 60, com o êxito das experiências dos físicos americanos Jerome Friedman (hoje com 60 anos de idade) e Henry Kendall (63), e do físico canadiano Richard Taylor (60). As descobertas tiveram lugar em Stanford, USA, com a utilização do maior acelerador de partículas então existente, no Stanford Linear Accelerator Center.

Nestas experiências produziram-se feixes de electrões com velocidades próximas da velocidade da luz, que eram lançados contra protões e neutrões. O estudo da distribuição espacial e velocidade dos electrões, após as colisões com os nucleões, mostrou que os nucleões não possuem uma densidade de matéria uniforme no seu interior, sendo antes formados por pequeníssimos corpúsculos de matéria — os chamados quarks.

*O prémio Nobel da Física de 1990 veio justamente consagrar os cientistas Friedman, Kendall e Taylor pela descoberta experimental dos quarks, a eles se devendo um novo e apaixonante ciclo de investigação para a descoberta do Universo da Física Sub-Nuclear. Desde então muitas outras partículas elementares foram descobertas, assistindo-se hoje ao desenvolvimento de gigantescos aceleradores de partículas em centros de investigação supra-nacionais, com meios de financiamento e dimensão a uma escala sem paralelo na história da Física, de que o exemplo porventura mais representativo é o centro europeu CERN, em Genève, para o estudo da Física das Partículas Elementares (1).*

J. B. S.

(1) Vide Gaz. Física 11 140-149 (1988), 8 43-49 (1985), Ciência Hoje 3 43-49 (1984).

# O Ozono sobre a Antártida

FILIPE DUARTE SANTOS

Departamento de Física, Fac. de Ciências da Univ. de Lisboa

O desenvolvimento económico está, hoje em dia, firmemente baseado na actividade científica e tecnológica a nível nacional e internacional. Para satisfazer solicitações cada vez mais diversificadas e extensivas é necessário produzir quantidades crescentes de energia, desenvolver o aproveitamento dos recursos naturais, construir equipamentos mais versáteis e sofisticados, criar novas técnicas de produção e encontrar novos produtos químicos para uma multiplicidade de aplicações. Toda esta actividade industrial gera resíduos de matérias que embora essenciais nos processos de funcionamento e produção não são consumidos nesses processos. Estes resíduos tendem a acumular-se na finíssima camada a superfície da Terra formada por continentes, oceanos e atmosfera na qual existe vida.

É extremamente difícil conhecer com segurança o percurso e a dinâmica na biosfera de determinado produto químico residual de um novo processo. Pode prever-se muita coisa sobre o seu impacto ambiental mas o inesperado é sempre possível. E, na realidade, deu-se algo de imprevisto e grave com determinados produtos químicos designados comercialmente por freões e que têm o nome científico de hidrocarbonetos clorofluorados ou abreviadamente CFCs.

## 1. Os CFCs e as medições do ozono estratosférico sobre a Antártida

Este tipo de compostos químicos, descobertos em 1920, foram inicialmente utilizados como fluidos de conversão de calor em frigoríficos e aparelhos de ar condicionado e mais tarde em atomizadores para perfumaria, electrónica, medicina, etc. Os CFCs são utilizados para impelir a substância activa através da

pequena saída do atomizador formando assim um aerossol. Utilizam-se também para outros fins como solventes e na produção de espumas plásticas isolantes. Têm propriedades notáveis dado que entram em ebulição entre  $-40^{\circ}\text{C}$  e  $0^{\circ}\text{C}$ , não são inflamáveis, não são tóxicos, os custos de produção são relativamente baixos e quimicamente são muito estáveis. Tudo qualidades que os tornam substâncias ideais para uma grande variedade de utilizações. A estabilidade química impede a reacção com o oxigénio e com as substâncias orgânicas que os tornaria tóxicos para os seres vivos. A partir de 1950 começaram a ser produzidos em grande escala e devido à sua fraquíssima reactividade previu-se que deveriam permanecer durante longo tempo na atmosfera. A Fig. 1 mostra

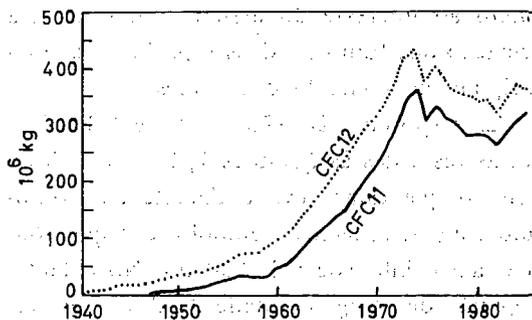


Fig. 1 — Massa total, em unidade de  $10^6$  Kg, de CFC11 e CFC12 acumulados na atmosfera. Os dados foram obtidos dos relatórios da «Chemical Manufacturers Association» U.K. e não incluem a produção dos CFCs nos países do leste da Europa.

o aumento da concentração na atmosfera de dois dos CFCs mais utilizados — CFC11 e CFC12 — desde 1940 a 1985.

A outra parte desta história tem como protagonistas uma equipa de investigadores ingleses que em 1982 realizaram na Antártida medições do ozono atmosférico. O ozono é um gás azul

claro de odor penetrante, venenoso, mesmo em pequenas concentrações, e com uma molécula formada por três átomos de oxigénio ( $O_3$ ). É produzido nas descargas eléctricas, naturalmente nas trovoadas e artificialmente em equipamento eléctrico de alta voltagem. O ozono pode também ocorrer na atmosfera perto do solo por efeito de reacções fotoquímicas que envolvem a luz solar e poluentes atmosféricos. Além deste ozono que aparece em muito pequenas quantidades na baixa atmosfera, próximo da superfície terrestre, há também uma larga camada de ozono na estratosfera entre os 16 e 40 Km de altitude. Este ozono é essencial para garantir a permanência da vida na Terra.

As medições da concentração de ozono numa coluna de atmosfera feitas na Antártida em 1982 pelos cientistas ingleses foram realizadas com um espectrofotómetro relativamente antigo, que já estava em uso há bastantes anos. O chefe da expedição, Joe Farman, ao obter valores muito mais baixos do que os obtidos anteriormente no mesmo local ficou de tal modo surpreendido que esperou pela chegada de um novo instrumento de Inglaterra antes de publicar os resultados. Em Outubro de 1984 após novas medições efectuadas com o espectrofotómetro recém-chegado, a equipa de investigação estava plenamente segura. Na estratosfera, por cima da baía de Halley, o ozono tinha diminuído em cerca de 30%. Medições efectuadas em outros pontos da Antártida conduziam à mesma conclusão. Os resultados de Joe Farman e dos seus colaboradores foram publicados na revista Nature em 16 de Maio de 1985 e a partir daí desenvolveram-se grandes esforços para conhecer a causa daquilo que ficou conhecido como o buraco no ozono sobre a Antártida.

Os novos resultados eram surpreendentes e incompreensíveis. Uma pequena história ilustra bem como o buraco no ozono era completamente inesperado. Deste 1978 que o satélite meteorológico Nimbus 7 fazia medições da concentração de ozono sobre a Antártida usando espectrofotómetros especiais construídos e utilizados pelos americanos. Porém de 1982 a 1984 os resultados obtidos não indicavam o

decrescimento observado pelos ingleses. Após a publicação na Nature os cientistas americanos foram rever os seus métodos e verificaram que as medições efectuadas a bordo do satélite eram processadas automaticamente por computadores que tinham sido programados para rejeitar valores da concentração de ozono situados abaixo de determinado limiar. Nestes casos o programa substituíu o valor medido pelo limiar, tal era a confiança dos cientistas americanos em que a concentração de ozono não devia ter grandes variações. Felizmente os dados automaticamente rejeitados pelo computador puderam ser recuperados e confirmados inteiramente o decréscimo no ozono relatado pelos ingleses. Um episódio que ilustra bem a necessidade de, em ciência, não limitar a capacidade de um projecto com preconceitos mal fundamentados.

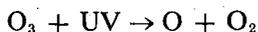
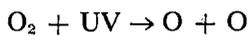
A partir de 1985 defenderam-se várias teses para explicar o decréscimo do ozono sobre a Antártida mas apenas em Novembro de 1987, numa «workshop» realizada em Berlin, se começou a compreender que a causa está nos CFCs acumulados na atmosfera. Estava-se perante o primeiro exemplo inequívoco de uma alteração importante na composição da atmosfera provocada pela actividade humana e potencialmente com consequências letais para a humanidade.

## 2. Absorção da radiação ultravioleta solar pela camada de ozono estratosférico

Mas afinal porque razão o ozono da estratosfera é tão importante para a vida humana? O Sol emite radiações electromagnéticas que vão desde o infravermelho até aos raios X, passando pela região do visível e pela radiação ultravioleta (UV). O máximo de intensidade no espectro da radiação solar situa-se na região do visível para comprimentos de onda próximo de  $\lambda = 500$  nm. Contudo o Sol emite também na região do ultravioleta na qual os fotões têm uma energia da ordem de  $E = 12.4$  eV muito superior à energia na região do visível. Ao colidirem com as moléculas os fotões originam reacções fotoquímicas. Quanto mais

energético é o fóton maior é a sua capacidade de dissociar moléculas. Este facto tem especial importância para as moléculas orgânicas que são relativamente frágeis, isto é, têm baixas energias de ligação e por isso são mais susceptíveis de se dissociarem por acção dos fótons.

A radiação UV com comprimentos de onda compreendidos entre 290 nm e 320 nm é biologicamente activa, capaz de destruir moléculas orgânicas, sendo frequentemente designada por UV-B. Radiação com comprimentos de onda menores do que 290 nm é ainda mais activa e destrói os ácidos nucleicos RNA e DNA e proteínas essenciais à vida. Todas estas radiações estão presentes no espectro solar e chegam ao topo da atmosfera terrestre mas apenas uma fracção muito pequena atinge a superfície devido à absorção pelo ozono e pelo oxigénio atmosféricos. A absorção da radiação UV é precisamente uma reacção fotoquímica. Fundamentalmente tem-se a seguinte cadeia de reacções:



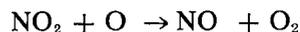
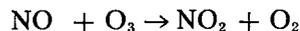
A molécula M serve de catalisador e é um dos constituintes da atmosfera, geralmente o azoto. O efeito da radiação UV solar com comprimentos de onda menores do que 190 nm nas moléculas de oxigénio ( $\text{O}_2$ ) estratosférico é produzir ozono e aquecer a estratosfera já que as moléculas catalisadoras M adquirem energia cinética na reacção em que intervêm. A maior parte da radiação UV solar com comprimento de onda menor do que 240 nm é absorvida pelas moléculas  $\text{O}_2$ . Note-se que a concentração de ozono não cresce indefinidamente porque o ozono também se dissocia por acção dos fótons UV. O ozono por ter menor energia de ligação do que o oxigénio molecular dissocia-se por impacto com fótons UV de energia mais baixa. Praticamente toda a radiação com comprimento de onda entre 230 e 290 nm que penetra na atmosfera é absorvida pelo ozono estratosférico, não chega à tro-

posfera e muito menos à superfície. Conclui-se pois que o ozono atmosférico funciona como um escudo protector da vida à superfície da Terra absorvendo grande parte da radiação UV. A permanência de ozono na estratosfera resulta de um equilíbrio dinâmico em que intervem um grande número de reacções e deve-se fundamentalmente ao facto de o oxigénio ser muito abundante na atmosfera da Terra.

Há outros mecanismos capazes de destruir o ozono, além das reacções indicadas. Efectivamente átomos de oxigénio podem combinar-se com o ozono dando origem a duas moléculas de  $\text{O}_2$ :



Existem também processos importantes de consumo de ozono em que uma determinada molécula, por exemplo, o óxido de azoto (NO) serve de catalisador:



Repare-se que a mesma molécula de NO pode acionar um grande número de reacções em que o ozono é destruído. Um par equivalente de reacções em que o cloro substitui o NO é extremamente eficiente no consumo de ozono.

Para se fazer um estudo quantitativo do balanço do ozono na atmosfera é necessário aos químicos proceder a cálculos que envolvem interacções entre cerca de 50 compostos e um número comparável de reacções de fotodissociação. É extremamente difícil neste contexto prever quantitativamente o efeito resultante de adicionar uma nova substância química, por exemplo o cloro.

Se se perturba significativamente a composição química da estratosfera ela leva um certo tempo a restabelecer o seu equilíbrio. O tempo gasto depende da altitude. Acima dos 40 Km o equilíbrio atinge-se passados apenas poucos minutos. A altitudes inferiores a 30 Km são necessários vários dias. Dado que as reacções determinantes para reestabelecer o equilíbrio são reacções fotoquímicas

induzidas pela luz solar os processos de dissociação e associação são influenciados pelo ciclo diurno. A baixa estratosfera está também a receber constantemente um fluxo de oxigénio proveniente da tropoesfera. Tudo isto significa que a estratosfera não está nunca numa situação de completo equilíbrio e medições de ozono feitas ao longo de 24h mostram que a concentração aumenta durante a noite e diminui durante o dia. O ozono está a ser produzido e destruído constantemente na atmosfera por meio de interacções que envolvem a luz solar e o oxigénio. Assim o ozono não é uma reserva natural finita tal como o petróleo que poderá ser consumido até à completa exaustão das reservas. O que pode acontecer é uma deslocação do ponto de equilíbrio entre as várias reacções químicas no sentido de uma maior ou menor concentração do ozono na estratosfera. Em qualquer caso haverá sempre alguma produção de ozono a partir do oxigénio presente na atmosfera.

### 3. Origem do ozono

A presença de oxigénio e consequentemente de ozono na atmosfera é, em última análise, uma consequência da existência de vida sobre a Terra. Efectivamente sabe-se que a primeira atmosfera da Terra, formada durante a solidificação da crosta, era essencialmente constituída por vapor de água (cerca de 80%), dióxido de carbono (cerca de 12%), dióxido de enxofre (cerca de 7%) e por pequenas quantidades de azoto, além de outros gases minoritários tais como  $\text{SH}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{NH}_3$ . Tal atmosfera teve a sua origem nas emanações de carácter vulcânico provenientes do interior da Terra após o aquecimento provocado pelos elementos radioactivos. A sua composição era pois muito próxima dos gases expelidos na actividade vulcânica observada actualmente. Com o arrefecimento da superfície da Terra deu-se a condensação do vapor de água e formação dos oceanos. Neste período da história da Terra não havia oxigénio na atmosfera

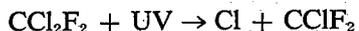
e consequentemente a radiação UV atingia a superfície. Não sabemos ao certo como se formou a vida mas provavelmente teve o seu início na água, nos oceanos e lagos a pequenas profundidades, da ordem de 10 m, suficientes para proteger os microorganismos da radiação UV. A radiação UV quebra as moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$  libertando hidrogénio e oxigénio. Por sua vez o oxigénio atómico forma oxigénio molecular que, ao subir até às altitudes da estratosfera, origina ozono através das reacções já referidas. Deste modo formou-se uma camada de ozono que travou a dissociação das moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$  pela radiação UV e estabilizou a concentração de oxigénio.

Entretanto a vida continuou a evoluir e com o aparecimento da fotosíntese há cerca de  $2.7 \times 10^9$  anos a quantidade de oxigénio na atmosfera começou a aumentar consideravelmente até atingir a actual concentração de 23%. Com o aumento da concentração de oxigénio tornou-se possível o desenvolvimento da função respiratória nos seres vivos, permitindo a evolução para formas de vida com crescente complexidade. Simultaneamente com o aumento do oxigénio formou-se a camada de ozono estratosférico que desempenhou o importantíssimo papel de absorção da radiação UV solar. Sem oxigénio livre na atmosfera não teríamos respiração e consequentemente não haveria vida humana. Por outro lado sem oxigénio não haveria uma camada de ozono estratosférico, a radiação UV penetraria profundamente até atingir a superfície da Terra e a vida tornar-se-ia impossível.

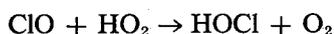
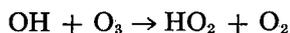
### 4. Efeitos dos CFCs sobre o ozono estratosférico

Quais os mecanismos que relacionam a acumulação de CFCs na atmosfera com a diminuição do ozono estratosférico? Porque razão o decréscimo do ozono estratosférico é particularmente intenso na Antártida? Actualmente temos grande parte das respostas a estas perguntas mas há ainda muito por esclarecer.

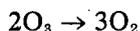
Sabia-se desde 1973 que a presença dos CFCs na alta atmosfera provoca a libertação de cloro por acção da radiação UV solar. Considerando os CFCs mais comuns (F-11,  $\text{CCl}_3\text{F}$ ; F-12,  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ) como exemplos tem-se:



Na presença de átomos de cloro, muito reactivos por terem um número ímpar de electrões, pode dar-se o ciclo de reacções:



Repare-se que as primeiras três reacções dão-se na ausência da radiação solar enquanto que na última ela é essencial. Nesta reacção liberta-se cloro que pode originar um novo ciclo. O resultado final é:



ou seja a transformação de ozono em oxigénio.

Normalmente há pouco cloro livre na atmosfera. Porém as condições que existem sobre a Antártida no inverno são extremamente favoráveis à libertação do cloro contido nos CFCs. Temperaturas muito baixas e condições de estabilidade na estratosfera conduzem à formação de nuvens estratosféricas polares (NEP) constituídas essencialmente por cristais de ácido nítrico e água. As NEP foram apenas investigadas de modo sistemático depois de termos acesso à observação por satélite mas os pioneiros da exploração antártica já as tinham referido nos seus relatos. Para temperaturas da ordem de  $-83^\circ\text{C}$  formam-se na estratosfera cristais cuja superfície favorece a ocorrência de reacções químicas libertadoras de cloro. No Ártico as temperaturas estratosféricas não são tão baixas, há menor estabilidade na atmosfera porque o vórtice polar formado no inverno não é tão pronunciado, dura menos tempo e consequentemente as

condições não são tão favoráveis à libertação do cloro.

A presença de quantidades apreciáveis de cloro na estratosfera sobre a Antártida no Inverno não é suficiente para que se dê o ciclo de reacções (1) pois que a ausência da luz solar impede a última reacção do ciclo. Apenas na Primavera do hemisfério Sul, isto é em Setembro e Outubro a radiação UV solar permite a libertação dos átomos de cloro e consequentemente o fecho do ciclo de reacções que provocam a destruição do ozono. Entre 14 e 18 Km a estratosfera perde mais de 70% do seu ozono durante Outubro. A partir deste mês as NEP tendem a evaporar-se, as condições da estratosfera sobre a Antártida regressam a uma situação normal, próxima da que se observa em outros pontos do globo e a concentração de ozono começa a aumentar. Porém os valores da concentração observados no Outono durante a década de 80 foram substancialmente mais baixos do que os observados nos mesmos meses durante a década de 70. A Fig. 2 mostra a variação na concen-

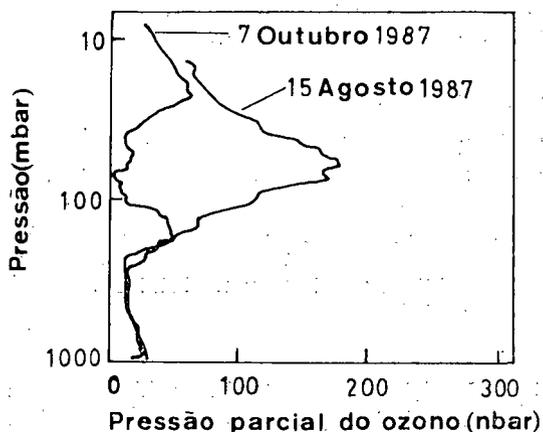


Fig. 2 — Variação da pressão parcial do ozono com a altitude sobre a baía de Halley em 15 de Agosto e 7 de Outubro de 1987 obtida em medições efectuadas por J. Farman.

tração de ozono com a altitude (representada através da pressão atmosférica) sobre a baía de Halley nos dias 15 de Agosto e 7 de Outubro de 1987. A grande variação observada a altitudes da ordem dos 15 Km resulta

de completar o ciclo de reacções (1) através da radiação solar directa.

Em conclusão; a presença de cloro proveniente dos CFCs, associada às temperaturas muito baixas e à estabilidade da massa de ar estratosférico sobre a Antártida são responsáveis pela formação sazonal de um gigantesco buraco na camada de ozono com uma área comparável à dos Estados Unidos da América e uma espessura próxima da altura do monte Everest.

A Fig. 3 mostra a correlação entre o valor médio da concentração de ozono no mês de Outubro e a concentração de cloro. A curva a cheio, que representa a concentração de cloro,

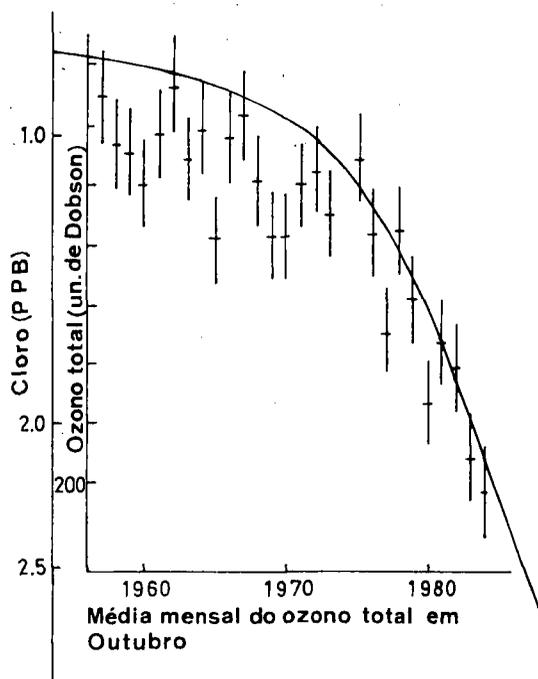


Fig. 3—Medições do ozono total em unidades Dobson para a baía de Halley durante o mês de Outubro. Uma unidade Dobson corresponde a uma espessura de  $10^{-3}$  cm quando todo o ozono de uma coluna de atmosfera é colocado à pressão ao nível do mar e a uma temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$ . A curva a cheio representa a concentração de moléculas com cloro (essencialmente CFCs) medidas (em partes por bilião) no mesmo local.

está invertida conforme se deduz da escala da esquerda. Assim ao aumento da concentração dos CFCs está associada uma diminuição da concentração do ozono. Será que a Antártida

é a única região afectada ou há outras regiões no globo onde se assiste a uma diminuição da concentração média de ozono?

Dados recentes obtidos com o espectrómetro do satélite Nimbus 7 revelam que a concentração de ozono estratosférico no hemisfério Sul tem diminuído em latitudes que vão até  $45^{\circ}\text{S}$  correspondentes às extremidades da América do Sul, Austrália e Nova Zelândia. Nos últimos anos medições realizadas na Primavera à latitude do sul da Nova Zelândia indicam reduções na concentração da ordem de 20% relativamente aos valores obtidos antes de 1979. Note-se que a concentração de ozono varia com o ciclo solar aumentando no máximo de actividade solar devido a um maior fluxo da radiação UV. O último máximo deu-se em 1979 e actualmente estamos novamente próximos de um máximo. É possível que o aumento da actividade solar venha contribuir para recuperar em parte o ozono perdido sobre a Antártida devido ao efeito dos CFCs. Contudo há já indicações de um decrescimento da concentração de ozono nas latitudes médias do hemisfério norte. As medições efectuadas a partir de 1930 em Arosa na Suíça, representadas na Fig. 4, constituem um exemplo significativo.

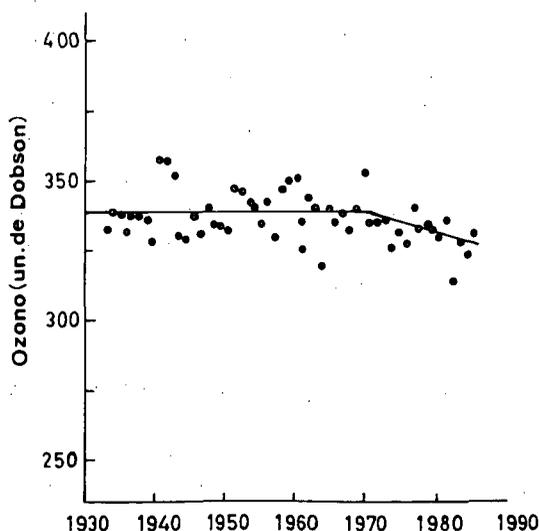


Fig. 4 — Médias anuais da concentração de ozono total em Arosa, Suíça, desde 1930 a 1985.

## 5. Efeitos biológicos da radiação UV

Quais as consequências de uma redução do ozono estratosférico global em particular sobre as áreas povoadas? A radiação UV-B, normalmente absorvida pelo ozono, aumenta substancialmente a probabilidade de desenvolvimento de vários tipos de cancro da pele incluindo o melanoma maligno que pode ser fatal. Calcula-se que um decréscimo de 1% na concentração do ozono estratosférico provoca um aumento de 5% no número de cancros da pele. A radiação UV-B tem também o efeito de suprimir a actividade do sistema imunológico humano. Vários relatórios apontam para um aumento do risco de infecções provocadas pelo vírus da herpes, hepatite, e outros, além de um aumento do número de vítimas de cataratas nos olhos. A mensagem de todos estes estudos é a mesma: um pequeno decréscimo da concentração do ozono tem um efeito adverso sobre os seres vivos e muito em especial sobre o homem. Se o decréscimo for maior do que 20% as consequências são gravíssimas e terão aspectos que provavelmente não é possível prever.

Há apenas alguns estudos sobre o efeito da radiação UV-B sobre as plantas e os animais. A soja, por exemplo, que desempenha um papel importante na agricultura moderna, sofre um decréscimo na produção de 25% quando se aumenta a radiação UV-B. Nos oceanos o fitoplancton e os pequenos organismos que estão na base das cadeias alimentares também são afectados pela radiação UV-B. Esta constatação é particularmente preocupante dado que sabemos ter aumentado o fluxo da radiação ultravioleta nos oceanos em redor da Antártida, ricos em peixe, devido ao buraco no ozono estratosférico.

## 6. Situação actual e acordos internacionais

Já temos conhecimento de efeitos profundamente negativos do aumento da concentração dos CFCs na atmosfera mas não nos é possível ter uma visão completa de todas as potenciais implicações desse aumento. É importante assu-

mir esta nossa limitação e procurar combatê-la através de programas de investigação que esclareçam as dúvidas e nos permitam planear a legislação adequada à situação presente e ao futuro previsível. A partir de 1987, ao tornar-se evidente a necessidade de reduzir a produção dos CFCs, iniciou-se um debate político que conduziu à assinatura da Convenção de Montreal por representantes de 27 países, entre eles Portugal, em 16 de Setembro desse mesmo ano. Este acordo estipula que no corrente ano de 1990 o consumo dos CFCs pelos estados signatários deverá reduzir-se aos níveis de 1986. Em 1994 deverá reduzir-se de 20% e mais tarde em 1999 deverá situar-se em 50% dos níveis de 1986. Contudo o acordo permite que a produção dos CFCs aumente para 110% dos níveis de 1986 em 1990 e se reduza para 65% em 1999. Esta produção adicional no início é destinada à exportação para os países em vias de desenvolvimento, manifestamente para os desencorajar de construir fábricas para produção dos CFCs, facto que viria dificultar a resolução do problema. O acordo de Montreal fica muito aquém daquilo que é necessário para uma resolução do problema do decréscimo do ozono nos próximos 10 anos. Contudo é um documento extremamente importante e pioneiro dado ser o primeiro tratado internacional com o objectivo explícito de protecção do ambiente global da Terra.

Para além da acção negativa sobre o ozono os CFCs são também gases com efeito de estufa, isto é, com a propriedade de absorver a radiação infravermelha proveniente da Terra. O mais importante gás constituinte da atmosfera com aquela propriedade é o dióxido de carbono. A Fig. 5 mostra a variação no tempo da contribuição relativa dos diferentes gases com efeito de estufa para o aquecimento da atmosfera.

Actualmente observa-se um pronunciado aumento da concentração dos gases com efeito de estufa na atmosfera devido à actividade humana, especialmente o consumo de combustíveis fósseis. Com o incremento da concentração a atmosfera tende a aquecer e isso irá certamente alterar o clima de um modo que

não é completamente previsível a nível regional. No caso do dióxido de carbono não temos ainda nenhum acordo internacional mas é urgente encontrar uma plataforma de entendimento para controlar as emissões para a atmosfera. Potencialmente o aumento dos gases com efeito de estufa é tão grave ou mais grave ainda do que o decréscimo do ozono.

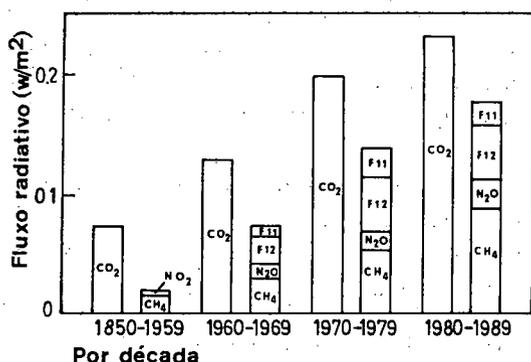


Fig. 5 — Cálculo das contribuições de diferentes gases com efeito de estufa para o aquecimento da atmosfera por absorção de radiação infravermelha com base no aumento da concentração desses gases.

É extremamente importante que um número crescente de pessoas estejam bem informadas do efeito dos CFCs, do ozono, do que são os CFCs, dos produtos de uso diário em que aparecem e dos efeitos da diminuição do ozono estratosférico sobre a saúde humana e sobre os seres vivos em geral. Este tipo de informação, bem fundamentada cientificamente, é essencial para que se possam esperar acções a nível individual no sentido de travar o consumo dos CFCs. Sem uma educação, divulgação e informação adequada corre-se o grave risco de se tender para deixar apenas aos governos a responsabilidade de controlar a produção dos CFCs. Se, por milagrosa intervenção, fosse travado hoje o lançamento dos CFCs para a atmosfera o decréscimo do ozono continuaria por mais 20 anos devido à vida muito longa destes compostos químicos na atmosfera, resultante da sua baixa reactividade. Calcula-se que a vida média dos CFCs é aproximadamente de 120 anos. Isto significa que 90% das moléculas presentes na atmosfera

em 1987 ainda lá estarão no ano 2000; 39% em 2100 e 7% em 2300. Os estragos que já provocámos na camada de ozono manter-se-ão connosco, com os nossos filhos e com os nossos netos pelo menos até ao século XXII.

Não há motivos para grande alarme mas há sim motivos para agir. Agir na divulgação dos problemas relacionados com o ambiente e com a sua protecção, agir no sentido de fomentar os programas de investigação em ciências do ambiente, agir ao nível dos programas de ensino de modo a sensibilizar e informar as novas gerações, agir a nível internacional no sentido de chegar a acordos de defesa do ambiente eficazes e de aplicação controlável.

#### BIBLIOGRAFIA

- FARMAN, J. C., GARDINER, B. G. and SHANKLIN, J. D. — *Nature*, **315**, 207 (1985).  
MOLINA, M., TSO, T., MOLINA, L. T., WANG, F. C.-Y. — *Science*, **238**, 1253 (1987).  
MOLINA, L. T. and MOLINA, M. — *J. Phys. Chem.*, **91**, 433 (1987).  
CRUTZEN, P. J. and ARNOLD, F. — *Nature*, **324**, 651 (1986).  
ROWLAND, S. — *Earth's Atmosphere in the XXI Century*, University of North Carolina, 1987.  
GRIBBIN, J. — *The hole in the sky*, Transworld Publishers, 1988.

#### PRIMEIRO ENCONTRO IBÉRICO SOBRE O ENSINO DA FÍSICA

Numa realização conjunta da Real Sociedad Española de Física (RSEF) e da Sociedade Portuguesa de Física (SPF) decorrerá em Valladolid, de 23 a 27 de Setembro de 1991, o Primeiro Encontro Ibérico sobre o Ensino da Física, integrado na 23.ª Reunião Bienal da RSEF.

Brevemente será enviada para as diferentes instituições de ensino do nosso país a primeira circular informativa, juntamente com um boletim de pré-inscrição para o referido Encontro.

## CURSOS DE FORMAÇÃO PARA PROFESSORES DO ENSINO SECUNDÁRIO

A Sociedade Portuguesa de Física (SPF), através duma acção conjunta da Divisão Técnica de Educação e das três Delegações Regionais, vai iniciar um novo ciclo de cursos de formação para professores do ensino secundário. Esses cursos são os seguintes:

1. Ensino da Mecânica no ensino secundário (cursos de 2 e 3 dias)
2. Tratamento experimental da Mecânica (2 dias)
3. Mecânica da partícula (2 e 3 dias)
4. Mecânica do corpo rígido (2 dias)
5. Trabalho e energia (2 e 3 dias)
6. Energia: dificuldades conceptuais no seu ensino (1 dia)
7. Leis de conservação (2 dias)
8. Hidrostática e Hidrodinâmica (2 dias)
9. Oscilações e ondas mecânicas (2 e 3 dias)
10. Termodinâmica macroscópica (2 e 3 dias)
11. Termodinâmica: sua interpretação estatística (2 dias)
12. Electromagnetismo: seu tratamento experimental (3 dias)
13. Oscilações e ondas electromagnéticas (2 dias)
14. A Óptica ilustrada com experiências (2 e 3 dias)
15. O laser e suas aplicações (1 dia)
16. O laser no ensino (1 dia)
17. O osciloscópio e suas aplicações no ensino (1 dia)
18. Uso do computador no ensino da Física (1 dia)
19. Uso do computador no ensino experimental da Física (2 dias)
20. A Física e a observação do Cosmos (2 e 3 dias)
21. A Física e o ambiente (1 dia)
22. Teoria da Relatividade Restrita: abordagem elementar (2 dias)
23. Introdução à Mecânica Quântica (2 e 3 dias)
24. Física atómica e estrutura da matéria (2 dias)
25. Introdução à Física Nuclear (1 e 2 dias)
26. Introdução à Física das Partículas (1 e 2 dias)
27. Introdução à Física do Estado Sólido (1 e 2 dias)
28. Introdução à Teoria Cinética (1 e 2 dias)
29. Electrónica no ensino da Física (1 e 2 dias)
30. Ordem e caos (1 dia)
31. Exploração de instrumentos no laboratório de Física (1 dia)
32. Tratamento de dados no laboratório de Física (1 dia)

33. Evolução das ideias em Física (2 dias)
34. Evolução das concepções Físicas de Aristóteles a Newton (2 dias)
35. De Galileu a Einstein: os fundamentos históricos da T.R.R. (2 dias)
36. A Física do século XX (2 dias)
37. Como resolver problemas em Física (1 dia)
38. A avaliação no ensino da Física (1 dia)
39. Metodologias do ensino da Física (1 dia)

Qualquer um destes cursos poderá realizar-se se for solicitado por um grupo de 15 a 30 professores (de uma mesma área geográfica); o custo de cada inscrição é de 1000\$00 por dia para sócios e de 1500\$00 por dia para não sócios da SPF.

Para informações acerca dos cursos e pedidos de realização (em que é fundamental indicar-se a duração pretendida) os professores poderão contactar, em alternativa:

Divisão Técnica de Educação da SPF  
Av. da República, 37-4.º  
1000 LISBOA

Delegação Regional do Norte da SPF  
Faculdade de Ciências  
Praça Gomes Teixeira  
4000 PORTO

Delegação Regional de Coimbra da SPF  
Departamento de Física  
Universidade de Coimbra  
3000 COIMBRA

Delegação Regional de Lisboa, Sul e Ilhas da SPF  
Av. da República, 37-4.º  
1000 LISBOA

### Delegação Regional de Coimbra

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

— «Teoria da Relatividade Restrita» pela Prof.<sup>a</sup> Doutora *Maria da Conceição Ruivo*, na Escola Secundária de Seia a 18 de Fevereiro/90.

— «Origens do Universo» pelo Prof. Doutor *Manuel Fiolhais*, na Escola Secundária Adolfo Portela, Águeda, a 14 de Fevereiro/90.

— «Física e Desporto» pela Prof.<sup>a</sup> Doutora *Margarida R. Costa*, na Escola Secundária de Espinho, a 8 de Março/90 e na Escola Secundária de Figueiró dos Vinhos, a 15 de Março/90.

— «Física Divertida» pelo Prof. Doutor *Carlos Fiolhais*, na Escola Secundária de Ílhavo a 7 de Março/90.

— «A Física no Computador» pelo Prof. Doutor *Carlos Fiolhais*, na Escola Secundária de S. Pedro do Sul a 8 de Março/90.

— «Lasers» pelo Dr. *Francisco Gil*, na Escola Secundária Marques Castilho de Águeda no dia 6/6/90.

— «Física Divertida» pelo Prof. Doutor *Carlos Fiolhais* na Escola C+S da Sertã e na Escola Secundária de Oliveira do Hospital no dia 21/6/90.

— «A Natureza da Luz» pela Prof.<sup>a</sup> Doutora *Maria Helena Caldeira* na Escola C+S de Condeixa no dia 20/6/90.

— «Origem do Universo» pelo Prof. Doutor *Manuel Fiolhais* na Escola Secundária de Castro Daire a 27/6/80.

## *Um pouco de história ...*

### GAZETA DE FÍSICA

Fundada em 1946 por A. Gibert, a Gazeta de Física constitui hoje uma referência histórica indispensável para o estudo da implantação e desenvolvimento da Física no nosso País, nos últimos decénios.

Serão divulgados, neste e nos próximos números, os sumários dos exemplares da Gazeta publicados desde o n.º 1, em Outubro de 1946.

#### **Volume I (1946-1948)**

##### **Fasc. 1, Outubro de 1946**

###### Tribuna da Física

Em nome da Direcção por *Armando Gibert*

Ensino e investigação por *Armando Cyrillo Soares*

###### Ensino Médio da Física

Exames de Aptidão por *Rómulo de Carvalho*

###### Ensino Superior da Física

Ensino prático da Física F. Q. N. por *Lídia Salgueiro*

###### Exames do Ensino Médio

Pontos de Exames de Aptidão. Resol. de *Rómulo de Carvalho*

###### Exames Universitários

Pontos de Exame. Resoluções do *Glaphyra Vieira*

###### Problemas propostos

Palavras prévias por *Amaro Monteiro*

###### Divulgação e Vulgarização

Como se mediu a carga do electrão por *Rómulo de Carvalho*

###### História e Antologia

Engenharia atómica? por *Theodore Von Kármán*

Gabriel Lippmann por *Maria Helena Blanc de Sousa*

###### Química

Origem e objectivo desta secção por *Marieta da Silveira*

Nomenclatura química por *Alice Maia Magalhães*

Pontos de Exames de Aptidão

Problemas de Exames Universitários

#### A Física nas suas aplicações

A Física e a Engenharia Civil por *Manuel Rocha*

#### Informações Várias

##### **Fasc. 2, Janeiro de 1947**

###### Tribuna da Física

Professor Doutor Álvaro Machado por *José Sarmento*

Em homenagem ao Prof. Dr. Álvaro Machado

###### Ensino Médio da Física

O programa da Física no Ensino Médio por *J. Xavier de Brito*

Acerca dos Trabalhos práticos da Física nos Liceus por *Rómulo de Carvalho*

###### Ensino Superior da Física

A Física teórica no Ensino Superior da Física por *F. Soares David*

###### Exames do Ensino Médio

Pontos de Exames do Curso Complementar de Ciências. Resol. de *Rómulo de Carvalho*

###### Exames Universitários

Pontos de Exames. Resol. de *Mário Santos, Glaphyra Vieira, Carlos Braga, Ilídio Peixoto, Luís da Silva e Almeida Santos*

###### Problemas da investigação em Física

O Instituto do frio de Kamerlingh Onnes por *Armando Gibert*

###### Problemas propostos

Por *Amaro Monteiro*

###### Divulgação e Vulgarização

Dificuldades de interpretação da radioactividade  $\beta$  por *A. Marques da Silva*

###### Química

Fermento contra vitamina por *Karl Jacobsohn*

Os «erros» em Química por *A. Morgenstern*

Em memória de A. Bach por *Karl Jacobsohn*

Pontos de Exames Universitários. Resol. de *Marieta da Silveira, Alice Magalhães e A. Morgenstern*

## A Física nas suas aplicações

A Mineralogia e as relações com as Ciências Físicas  
por *C. Torre de Assunção*

A Física e a Botânica por *Flávio Rezende*

## Informações Várias

**Fasc. 3, Abril de 1947**

### Tribuna da Física

A propósito das condições de vida das nossas Faculdades de Ciências por *C. Torre de Assunção*

### Ensino Médio da Física

Três temas — Dezasseis interrogações por *P. de Varennes e Mendonça*

### Exames do Ensino Médio

Pontos de Exames do Curso Complementar de Ciências. Resol. de *Rómulo de Carvalho*

### Exames Universitários

Pontos de Exames. Resol. de *Carlos Braga, Luís Silva, Glaphyra Vieira*

### Problemas da investigação em Física

De la Física á la Biología por *Júlio Palácios*

### Problemas propostos

Por *Amaro Monteiro*

### Divulgação e Vulgarização

Distribuição de depósito radioactivo sobre placas metálicas por *Lídia Salgueiro*

### Química

Carbono 13 por *Marieta da Silveira*

Pontos de exames do curso complementar de Ciências

Problemas de exames universitários

### A Física nas suas aplicações

Quelques réflexions sur la coopération entre la science Belge et le développement industriel por *Van Illerbeck*

## Informações Várias

**Fasc. 4, Julho de 1947**

### Tribuna da Física

L'oeuvre scientifique du professeur Paul Langevin por *R. Lucas*

Recordações de P. Langevin por *M. Valadares*

### Ensino Médio da Física

Paul Langevin et la réforme de l'enseignement por *R. Gal*

Os valores da constante dieléctrica espacial por *R. de Carvalho*

### Exames Universitários

Pontos de Exames. Resol. de *Mário Santos e Glaphyra Vieira*

## Problemas da investigação em Física

La découverte des gros ions de l'atmosphère par P. Langevin por *E. Bauer*

## Divulgação e Vulgarização

L'ère des transmutations por *P. Langevin*

### Química

Sobre a noção de peso atómico por *A. Gibert*

Problemas de exames universitários

### A Física nas suas aplicações

Telegrafia e telefonia por *N. Hedén*

## Informações Várias

**Fasc. 5, Outubro de 1947**

### Tribuna da Física

Professor Doutor Cyrillo Soares pela *Direcção*

### Ensino Superior da Física

Sobre os conceitos actuais de matéria, energia e massa por *M. Catalán*

### Exames do Ensino Médio

Pontos de exames do curso complementar de ciências. Resoluções de *Rómulo de Carvalho*

### Exames Universitários

Pontos de exames. Resoluções de *Carlos Braga e Glaphyra Vieira*

### Problemas da investigação em Física

Impianto ad alta tensione per ricerche sull'atomo por *E. Amaldi*

### Problemas propostos

Por *Amaro Monteiro*

### História e Antologia

Paul Langevin por *A. Proca*

O Físico na secção de radiodiagnóstico por *M. H. Jape*

### Química

Cinquentário do Instituto de Química de Paris por *A. Maia Magalhães*

Pontos de exames de aptidão. Resoluções de *Marieta da Silveira e Rómulo de Carvalho*

Problemas de exames universitários. Resoluções de *Marieta da Silveira e Afonso Morgenstern*

Ponto modelo

## Informações Várias

**Fasc. 6, Janeiro de 1948**

### Tribuna da Física

A acção dos físicos e dos químicos nos laboratórios dos museus de arte por *João Couto*

A propósito de uma cadeira de óptica por *A. Gibert*

### Ensino Médio da Física

Sobre problemas de física por *Jaime Xavier de Brito*

Ensino Superior da Física  
Illustration des concepts de la mécanique statistique  
por *G. Dedebant*

Divulgação e Vulgarização  
Como apareceu inicialmente a ideia da quantificação  
por *A. Marques da Silva*

Au service de la physique nucléaire por *Zünti*

História e Antologia

Max Plank por *K. Bechert*

Apreciação sobre Plank por *Albert Einstein*

Química

Noção de concentração de um soluto por *Alice M. Magalhães*

Problemas de exames universitários. Resoluções de  
*Alice M. Magalhães e Afonso Morgenstern*

A Física nas suas aplicações

L'ipsophone por *F. Rayjen*

Informações Várias

Fasc. 7, Abril de 1948

Tribuna da Física

Física y Filosofia por *Júlio Palacios*

Ensino Médio da Física

Acerca da unidade metrica de massa por *Rómulo de Carvalho*

Exames do Ensino Médio

Pontos de exames do curso complementar de ciências.  
Resoluções de *Rómulo de Carvalho*

Pontos de exame de aptidão. Resoluções de *Rómulo de Carvalho*

Exames Universitários

Pontos de exames. Resoluções de *Glaphyra Vieira*

Problemas da investigação em Física

Os mesões por *A. Gibert*

Divulgação e Vulgarização

O microscópico electrónico por *A. Marques da Silva*

A arte de contar fotões por *J. L. Destonches*

Química

Elementos transuranianos por *Marieta da Silveira*

Problemas de exames universitários. Resoluções de  
*Alice Magalhães*

Pontos de exames do curso complementar de ciências.  
Resoluções de *Marieta da Silveira*

A Física nas suas aplicações

A Física em Biologia. por *A. Nunes Aboim*

Fasc. 8, Julho de 1948

Tribuna da Física

A propósito dum aniversário por *A. G.*

Ensino Médio da Física

Acerca do estudo educativo da física por *A. Silveira Ramos*

Exames do Ensino Médio

Pontos de exames do curso complementar de ciências.  
Resoluções de *Rómulo de Carvalho*

Exames Universitários

Pontos de exames. Resoluções de *Glaphyra Vieira*

Divulgação e Vulgarização

Sobre as noções de velocidades de grupo e de fase  
por *Lídia Salgueiro*

Solarização por *A. Esteves de Souza*

La radioactivité et le remplissage des «trous» du  
système périodique por *M. Haissinsky*

História e Antologia

Frederico Paschen por *M. H. S.*

Sobre o objecto, método e estudo da física por *Harley Howe*

Química

A acústica e a química por *Fernando Neves da Silva*  
Problemas de exames universitários. Resoluções de  
*Alice Maia Magalhães e Chagas Roquete*

Pontos de exames do curso complementar de ciências.  
Resoluções de *Rómulo de Carvalho*

A Física nas suas aplicações

L'Acoustique des salles por *P. Mariens*

Informações Várias

Fasc. 9, Outubro de 1948

Madame Curie, por *Irene Joliot-Curie*

Tribuna da Física

O Rádio: um símbolo, por *A. Gibert*

Exames do Ensino Médio

Pontos de exames de aptidão. Resoluções de *Rómulo de Carvalho*

Exames Universitários

Pontos de exames. Resoluções de *Glaphyra Vieira*

Problemas da investigação em Física

Os espectros magnéticos dos raios x, por *S. Rosenblam*

História e Antologia

Sur une nouvelle substance fortement radioactive, con-  
tenue dans la pechblende

Madame Curie, por *Manuel Valadares*

Histoire de la deconverte de la radioactivité naturelle,  
por *Raymond Grejoire*

Um semestre no Laboratório de Madame Curie, por  
*Marques Teixeira*

Química

Pontos de exames de aptidão. Resoluções de *Marieta da Silveira*

Problemas de exames universitários. Resoluções de  
*Marieta da Silveira*

A Física nas suas aplicações

Curieterapia e Röntgenterapia, por *Carlos Santos*

Informações Várias

# JOÃO JACINTO DE MAGALHÃES

(JOHN HYACINTH DE MAGELLAN)

200 th anniversary of his death

## CONFERENCE

ON PHYSICAL SCIENCES  
IN THE XVIII CENTURY

7-10 November 1990



Museu de Física  
Departamento de Física  
Universidade de Coimbra  
Coimbra - Portugal

### SPONSORS

Academia das Ciências - Lisboa  
Académie Royale des Sciences - Bruxelles  
Académie des Sciences - Paris  
Academy of Sciences - Leningrad (to be confirmed)  
Akademie der Wissenschaften - Berlin (to be confirmed)  
American Philosophical Society - Philadelphia  
Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen - Haarlem  
Real Academia de Ciencias - Madrid (to be confirmed)  
The Manchester Literary and Philosophical Society  
The Royal Society - London

Universidade de Coimbra  
Universidade de Aveiro  
Faculdade de Ciências e Tecnologia - Univ. Coimbra  
Instituto Nacional de Investigação Científica  
Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica  
Fundação Calouste Gulbenkian  
Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento  
Museu Nacional da Ciência e da Técnica  
Sociedade Portuguesa de Estudos do Século XVIII  
Sociedade Portuguesa de Física  
Sociedade Portuguesa de Química (to be confirmed)  
Câmara Municipal de Coimbra  
Câmara Municipal de Aveiro  
Caves S. João - S. João de Anadia

### TOPICS

Physics, chemistry and related subjects in the eighteenth century.  
The Conference will consist of invited lectures and oral presentations of 20-30 min.

### SCIENTIFIC COMMITTEE

L. Alte da Veiga	Universidade de Coimbra
A. M. Amorim Costa	Universidade de Coimbra
A.J. Andrade Gouveia	Universidade de Coimbra
J. Andrade e Silva	Universidade de Lisboa
F. Bragança Gil	Museu de Ciência-Univ. de Lisboa
Rómulo de Carvalho	Lisboa
M. Fernandes Thomaz	Universidade de Aveiro
Isabel M. Malaquias	Universidade de Aveiro
Décio R. Martins	Universidade de Coimbra
J.M. Moreira Araújo	Universidade do Porto
A. Nunes dos Santos	Universidade Nova de Lisboa
P. Pinto Peixoto	Academia das Ciências de Lisboa
J. Resina Rodrigues	Inst. Superior Técnico de Lisboa

### ORGANIZING COMMITTEE

L. Alte da Veiga Chairman  
A.M. Amorim Costa  
Isabel M. Malaquias  
Décio R. Martins

For information and application forms  
write to:

Prof. L. Alte da Veiga  
Departamento de Física  
Universidade de Coimbra  
3000 COIMBRA - Portugal

Tel.: (0) 39 29252  
Telex: 52601 DEFIUC P  
Fax: (0) 39 29158

700 th anniversary of the foundation of the  
University



**VOL. 13 • FASC. 3 • JULHO 1990**

**SUMÁRIO**

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