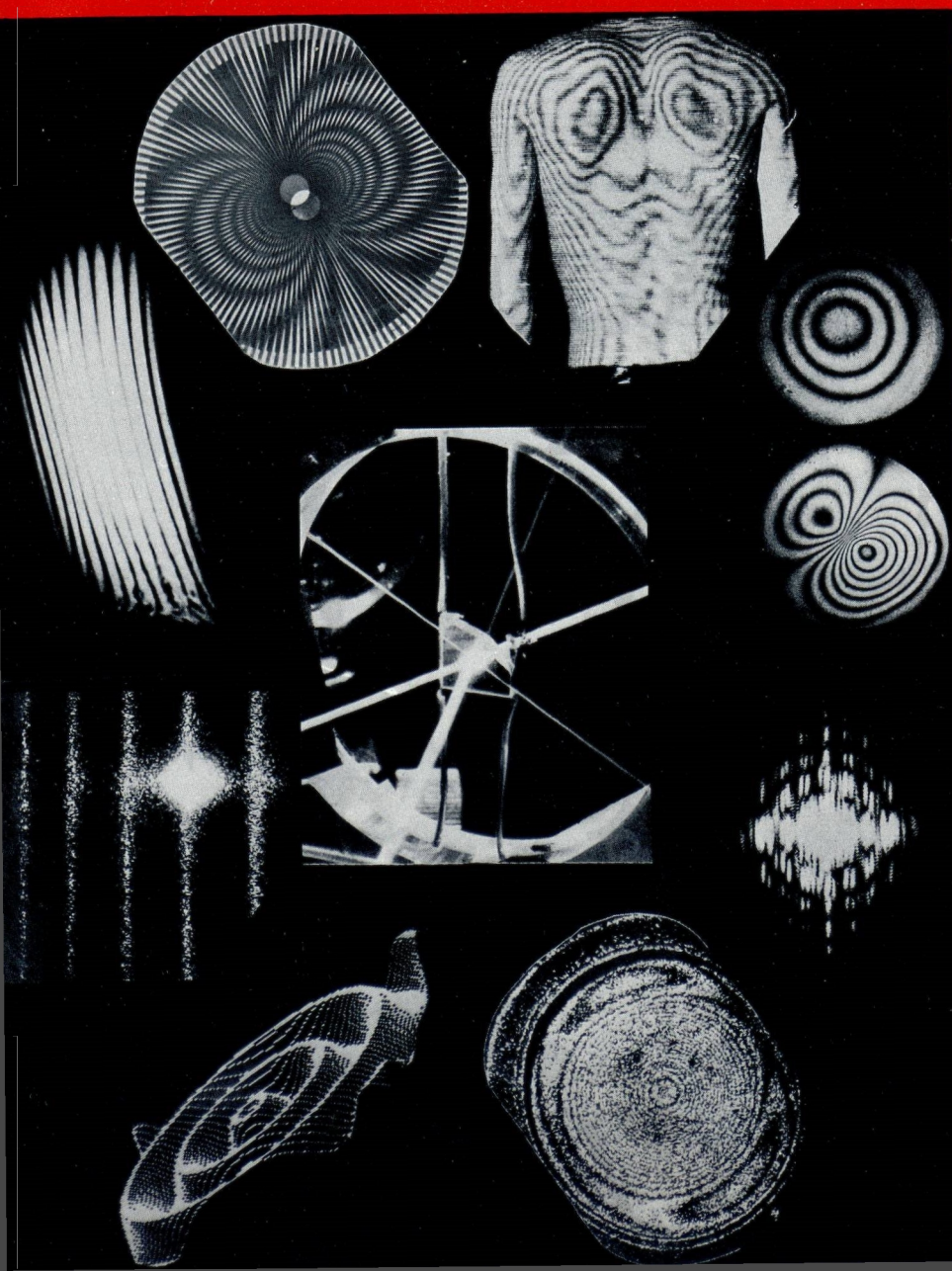


GAZETA DE FISICA

REVISTA DA SOCIEDADE PORTUGUESA DE FISICA

VOL. 8, FASC. 1
JANEIRO 1985



Técnicas Ópticas: moiré,
difracção, interferometria,
holografia, granulosidade
laser, conjugação de fase.

GAZETA DE FÍSICA

Fundada em 1946 por A. Gibert

Propriedade e Edição: Sociedade Portuguesa de Física

Director: Filipe Duarte Santos (Secretário-Geral da S.P.F.)

Comissão de Redacção

Conselho Directivo da S.P.F.: J. Moreira Araújo, F. Duarte Santos, E. Ducla Soares, J. Bessa Sousa, Rui J. Agostinho, J. Carvalho Soares, M. Amaral Fortes, Margarida R. Costa, Maria José Almeida, M. Pereira de Barros, J. Brochado Oliveira.

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

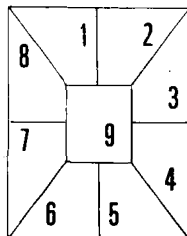
Gazeta de Física

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 do fascículo avulso: 100 Escudos.



Técnicas Ópticas: 1. Moiré 2. Rastreamento de escoliose por moiré 3. Holografia interferométrica 4. Difracção 5. Análise de vibrações por speckle (granulosidade laser) 6. Interferência gerada por computador 7. Propagação em guia de onda 8. Interferência 9. Conjugação de fase num monocristal de $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$.

Publicação subsidiada pelo Instituto Nacional de Investigação Científica

O Cometa de Halley ao longo da história^(*)

M. F. THOMAZ

Departamento de Física, Universidade de Aveiro

A próxima passagem do cometa de Halley em Fevereiro de 1986 tem suscitado um interesse renovado sobre este meteoro que «visita» a Terra de 76 em 76 anos aproximadamente. Com o presente trabalho pretende-se contribuir para o incremento desse interesse pelo cometa, particularmente nas escolas, através dos professores de Física. Indicam-se as previsões relativas à próxima aparição quanto a condições de observação.

Dadas as suas manifestações, por vezes espectaculares, os cometas têm sido utilizados na interpretação de acontecimentos históricos como sinais sobrenaturais, por representarem uma quebra na ordem «imutável» dos astros. São referidos alguns registos antigos mais conhecidos do cometa de Halley relacionados com episódios da história europeia e também os registos científicos das aparições posteriores a 1682.

1. Introdução

A próxima aparição em 1985/86 do cometa de Halley (ou P/Halley; P por ser periódico) tem suscitado por todo o mundo um interesse renovado pelo estudo, observação e história deste tipo de astros, que, apesar da sua pequena dimensão, poderão ter um grande interesse científico e pela sua espectacularidade têm desempenhado um papel importante na interpretação dada pelos homens a certos acontecimentos ao longo da história. Deste surto de interesse pelo cometa de Halley é testemunho a proliferação de associações de carácter mais ou menos científico com vista à comunicação de dados relativos ao cometa, como por exemplo, a *Halley's Comet Society* fundada em 1976 em Inglaterra, a *Halley's Comet Watch'86* e a *International Halley Watch* nos E.U.A., esta última com objectivos mais científicos e profissionais.

Embora o periélio do cometa esteja calculado para 9 de Fevereiro de 1986, cerca das

10 horas e 50 minutos, a sua observação já começou. Em 16 de Outubro de 1982 D. Jewitt e G. E. Danielson, conseguiram observar pela primeira vez este retorno do cometa de Halley no telescópio de 200 polegadas do Observatório de Monte Palomar, na Califórnia.

A antecedência de mais de três anos com que se começou a observar o cometa em relação à data prevista do seu periélio é notável. Basta recordar que na anterior aparição do cometa em 1910 essa antecedência foi de cerca de sete meses. O progresso observado deveu-se não apenas à utilização de um grande telescópio, embora não seja o maior do mundo, mas principalmente à utilização de detectores não tradicionais, especialmente sensíveis, à base de silício (charge-coupled devices, CCD). O cometa apareceu na constelação Cão Menor,

(*) O presente trabalho foi apresentado na 4.^a Conferência Nacional de Física — Física 84, Évora (Abril, 1984).

muito próximo do ponto previsto, deslocando-se na direcção e com a velocidade calculadas [1]. A fig. 1 mostra a primeira observação do cometa atrás mencionada.

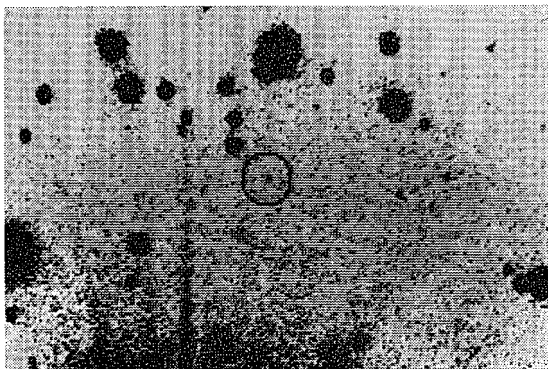


Fig. 1 — Imagem obtida por Jewitt e Danielson em 1982, do cometa de Halley, assinalado por um círculo.

2. Um pouco da física dos cometas [2]

A palavra *cometa*, como é sabido, é de origem grega e deriva de *coma*, ou *cabeleira*. As ideias sobre a constituição dos cometas correspondem à existência de um *núcleo*, com dimensão da ordem dos quilómetros, composto por partículas de poeiras e materiais voláteis ou gelos. Movem-se em torno do Sol com órbitas muito excêntricas e quando se aproximam do Sol os gelos começam a sublimar devido à radiação solar. Os gelos vaporizados e as poeiras arrastadas no processo formam a *cabeleira*. A grandes distâncias do Sol a luz do cometa é devida à reflexão da luz solar pelo núcleo mas quando se dá a aproximação do Sol a radiação visível e ultra-violeta do Sol dissocia e excita as moléculas resultantes da sublimação aparecendo as emissões características dessas moléculas, bem como dos iões e radicais resultantes. Nessa situação a maior parte da luz emitida pelos cometas é a radiação de fluorescência emitida pelas várias espécies presentes, o que permite identificá-las e por meios delas as moléculas mães. As partículas da cabeleira impulsionadas pela pressão da radiação solar, na direcção radial oposta ao

Sol, originam a *cauda de poeiras* do cometa. A conservação do momento angular obriga a cauda de poeiras a encurvar na direcção oposta ao movimento do cometa. Por outro lado os campos magnéticos associados com o vento solar levam os iões da cabeleira para a direcção oposta ao Sol, criando uma *cauda iónica*, que é rectilínea e atinge, por vezes, dimensões da ordem de 10^8 km.

O cometa de Halley é um cometa de período intermédio, isto é, pertence ao grupo dos cometas cujo período sideral se situa entre os 13 e os 200 anos. A sua órbita, esquematizada na Fig. 2, tem uma inclinação $i \approx 162^\circ$

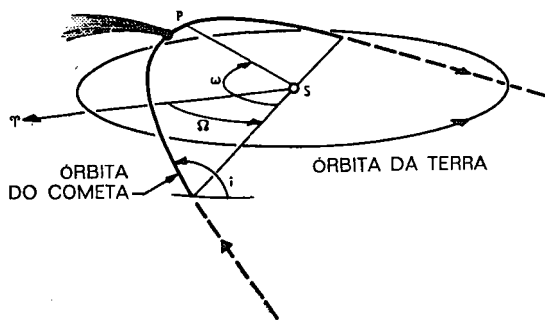


Fig. 2 — Órbita do cometa de Halley na região mais próxima do Sol. Os parâmetros da órbita estão indicados: i — inclinação, $q = SP$ — distância do periélio, ω — argumento do periélio, Ω — longitude do nodo ascendente (em relação ao equinócio de Outono). A excentricidade e completa a descrição da órbita. Os valores destes parâmetros para a presente órbita são: $q \approx 0,587$ UA; $\omega \approx 111,85^\circ$; $\Omega \approx 58,15^\circ$; $i \approx 162,24^\circ$; $e \approx 0,967$.

em relação ao plano da eclíptica, o que significa um sentido retrógrado em relação ao movimento orbital da Terra. Esta situação é relativamente rara, pois os cometas de período intermédio, e de modo especial os de período curto, têm inclinações cuja distribuição estatística se concentra perto do valor $i = 0^\circ$.

Uma órbita cometária depende de três factores: *a*) — atracção do Sol; *b*) — as perturbações devidas aos planetas do sistema solar, em especial os de grande massa — Júpiter, Saturno, Urano e Neptuno; *c*) — as forças não gravitacionais.

Embora de modo geral as interações com os planetas grandes, especialmente Júpiter, não introduzam perturbações significativas nas órbitas (os parâmetros orbitais — $1/a$, sendo a o semi-eixo maior, periélio q , inclinação i , argumento do periélio ω e longitude do nodo ascendente Ω — não sofrem em geral variações superiores a 0,1 %) por vezes a acção atractiva de Júpiter é forte para os cometas cujo periélio é da ordem do raio médio da órbita de Júpiter ($\sim 5\text{U.A.}$, sendo a unidade astronómica definida por $1\text{UA} = 1,5 \times 10^8 \text{ km}$, a distância média da Terra ao Sol). Supõe-se mesmo que a captura por Júpiter daqueles cometas de longo período é a principal causa do aumento do número dos cometas de período curto (Fig. 3).

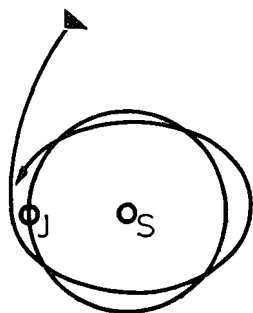


Fig. 3 — Esquema ilustrando a captura por Júpiter de um cometa de longo período que se transforma em cometa de período curto.

As forças não gravitacionais pouco afectam os parâmetros orbitais; mas permitem explicar alguns aspectos qualitativamente importantes. Resultam da reacção do jacto produzido pela sublimação dos gelos do núcleo (Fig. 4). Se o núcleo não tivesse movimento de rotação só haveria uma componente radial da força não gravitacional, com direcção oposta ao Sol pois a direcção de máxima desgaseificação seria na direcção do Sol. Esta força tenderia a reduzir a atracção do Sol. No caso de haver rotação do núcleo a região de máxima desgaseificação será deslocada em relação à direcção heliocêntrica e aparecerá uma força de reacção com uma componente transversal, e eventualmente uma componente normal, além da componente

radial. O efeito da componente transversal é o de acelerar ou desacelerar o movimento do cometa conforme a rotação se dê no sentido do movimento orbital ou no sentido oposto ao desse movimento. Dá-se então um aumento ou uma diminuição do período sideral do cometa, respectivamente.

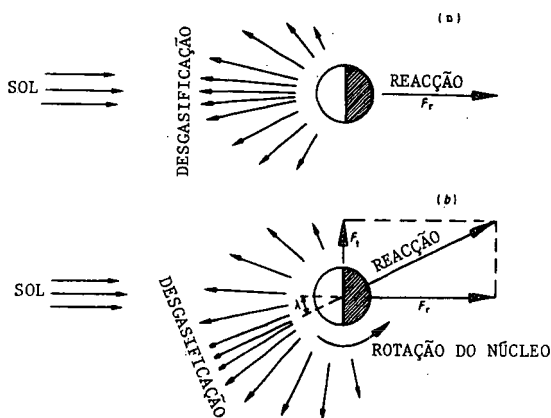


Fig. 4 — Acção das forças não gravitacionais. A sublimação do núcleo origina uma força de reacção oposta à direcção de máxima desgaseificação. Um núcleo sem rotação sofre uma força não gravitacional radial (a). Num núcleo com rotação a zona de máxima desgaseificação está adiantada em relação ao ponto sub-solar originando uma componente transversal da força não gravitacional (b).

O cometa de Halley tem uma rotação com um período de 10,3 horas no sentido directo, isto é, no sentido do movimento orbital.

Quando as velocidades de rotação são muito grandes (períodos < 5 horas) os núcleos podem sofrer fragmentações, pois a sua estrutura de conglomerado ligado por gelos é muito frágil. O cometa de Halley sofreu possivelmente uma fragmentação na sua última aparição, exibindo três fragmentos durante vários dias, com correspondente aumento de brilho. Este aumento de brilho explica-se pelo aparecimento de superfícies frescas para volatilização em consequência das fracturas.

A energia E dum cometa, ou o inverso do semi-eixo maior da respectiva elipse, (recorde-se que $|E| \propto 1/a$) constitui um dado importante, particularmente no caso de cometas

de longo período, pois pode dar informações sobre a sua origem. Com efeito, a maior parte dos cometas de longo período têm $1/a$ entre 0 e 10^{-4} UA $^{-1}$ e portanto uma energia muito próxima de zero. A distribuição dos seus afélios mostra uma concentração na região de 4 a 6×10^4 UA (o sistema solar tem um diâmetro da ordem de 10^2 UA). Pensa-se então que se trata de cometas «novos» que são desviados para o sistema solar, por perturbações causadas pelas estrelas que passam na região circunsolar distante. A este mecanismo de geração de cometas contrapõem-se os mecanismos de desgaste (sublimação gradual dos núcleos, fragmentação, desagregação) e de ejeção hiperbólica por interacção com os planetas. Os cálculos do desgaste por sublimação indicam que o componente mais provável dos gelos dos núcleos é a água (vd. Fig. 5).

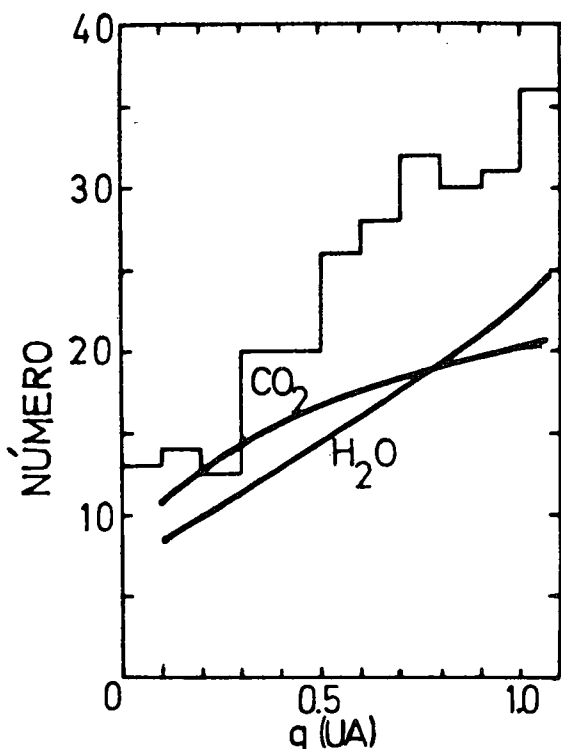


Fig. 5 — Distribuição de frequências das distâncias dos periélios para cometas de longo período com $q < 1,1$ UA. As curvas representam o número de cometas de longo período (calculadas a partir de um fluxo arbitrário de cometas) com núcleos de H_2O e CO_2 , sendo a curva referente a H_2O mais semelhante à distribuição estatística.

A análise espectroscópica da radiação emitida pelos cometas é uma técnica poderosa para identificar a natureza das espécies químicas presentes. São numerosas as espécies (moléculas, iões e radicais) identificadas através das riscas e bandas espectrais próprias nas regiões do ultra-violeta, do visível, do infravermelho e do radio. Delas se deduz que as principais moléculas originais, libertadas dos núcleos, são: H_2O , CO_2 , CO , CH_4 , NH_3 . A partir destas por acções fotofísicas e fotoquímicas outras espécies se formam como H , OH , H_2O^+ , C , C^+ , CO_2^+ , CH^+ , CN , HCN , N_2^+ , S , Na , etc. No cometa de Halley, durante a sua aparição de 1910, foram identificadas as seguintes espécies: CH , CN , C_2 , C_3 , Na , CO^+ , N_2^+ .

É a luz emitida pelas espécies químicas presentes ao desexcitarem-se, e, a grandes distâncias, a luz solar refletida na superfície do núcleo, que determinam o brilho e a grandeza dum cometa. A grandeza m de um objecto celeste varia no sentido oposto ao seu brilho B pois se define como $m = -2,5 \log B$. Portanto objectos de grandeza $-2,5$ ou $+2,5$ têm brilhos respectivamente mil ou dez vezes superiores a um objecto de grandeza $+5$.

A grandeza, em função das distâncias ao Sol, r , e à Terra, Δ , é dada pela equação

$$m = m_0 + 5 \log \Delta + 2,5 n \log r$$

em que m_0 e n são parâmetros que podem assumir valores diferentes nas várias fases da órbita. m_0 é o valor de m para $\Delta = r = 1$ UA e n um expoente que indica a potência inversa da distância heliocêntrica que traduz a variação do brilho. Para grandes distâncias, como aquela a que o cometa de Halley foi descoberto em 1982, e enquanto o cometa está inactivo a relação encontrada foi [3]

$$m = 14,1 + 5 \log \Delta + 5 \log r$$

Isto significa que, estando então o cometa de Halley para além da órbita de Saturno (cerca de onze vezes a distância da Terra ao Sol), a grandeza aparente era de cerca de 24, ou seja, aproximadamente dez milhões de vezes menos brilhante que a menos brilhante das estrelas

visíveis a olho nu. Para as menores distâncias m_0 tem valores mais baixos e, embora n assumia valores superiores a 2, o cometa pode chegar a ter grandezas de valor muito baixo, sendo possivelmente o menor o valor estimado de $-3,5$ aquando da aproximação de 10 de Abril de 837, em que o cometa esteve a $0,033\text{UA}$ da Terra.

Para finalizar esta apresentação sumária de alguns aspectos da física dos cometas resta referir que os raios dos núcleos dos cometas são, em média, de 1 a 5 km e as suas massas específicas da ordem de 1 g cm^{-3} . Os valores estimados destas grandezas para o cometa de Halley são de 5 km e 1 g cm^{-3} respectivamente.

Os cometas estão também relacionados com certos fenómenos astronómicos como é o caso dos enxames de meteoróides. Quando o cometa se aproxima do Sol as partículas de poeiras arrancadas do núcleo durante a sublimação dos gelos seguem órbitas semelhantes à do próprio cometa. Se o periélio for $< 1\text{UA}$ a órbita passa próximo da da Terra na vizinhança do nodo ascendente, ou do descendente ou ainda dos dois. Quando as poeiras passam pela Terra verifica-se um enxame de meteoróides uma ou duas vezes por ano. Exemplos bem conhecidos deste fenómeno são os enxames de η Aquárides em Abril e Oriónides em Outubro que estão associados ao cometa de Halley [4].

Por último, com alguma especulação têm sido também associados os cometas ao aparecimento da vida (ou de certas formas de vida) na Terra, atribuindo-se-lhes um papel de disseminadores através do espaço de formas percursoras ou mesmo formas elementares de vida [5].

3. A aparição de 1985/86 [3]

Nas figuras 6 e 7 mostram-se as projecções da órbita do cometa de Halley no plano da eclíptica, calculadas em 1983, portanto já tendo em conta os dados da observação do retorno a partir de Outubro de 1982. As previsões quanto à grandeza para os períodos de antes e após o periélio dão valores mínimos de $m \sim 4$ (nas situações de observação mais favoráveis), o que significa que as primeiras pre-

visões são desanimadoras quanto à hipótese de uma aparição espectacular do cometa.

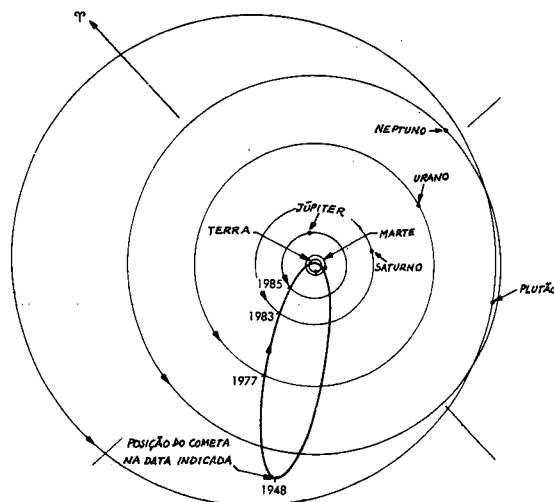


Fig. 6 — Projecção da órbita do cometa de Halley no plano da eclíptica dentro do Sistema Solar, indicando as datas das passagens em diversos pontos da órbita na presente aproximação.

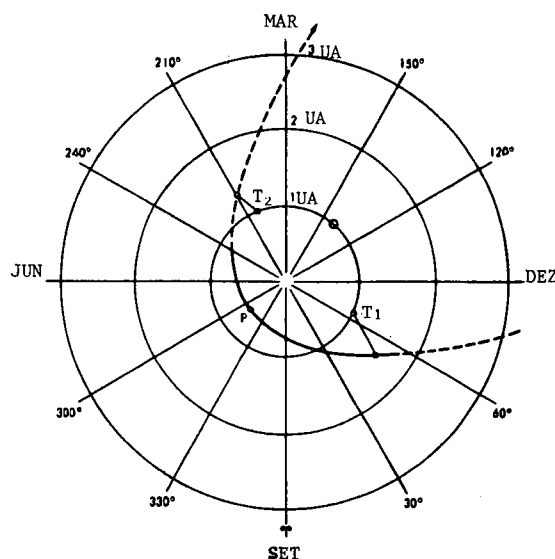


Fig. 7 — Projecção da órbita do cometa de Halley no plano da eclíptica na vizinhança da Terra, relativamente à presente aproximação.

P = Periélio.

T₁ = Posição da Terra na máxima aproximação do cometa no período de pré-periélio (27 de Novembro de 1985).

T₂ = Posição da Terra na máxima aproximação do cometa no pós-periélio (11 de Abril de 1986).

O = Posição da Terra no periélio do cometa (9 de Fev. de 1986).

(É sabido que para um objecto ser visível a olho nu tem de ter uma grandeza $m < 6$). Na figura 8 mostra-se as condições de observação do cometa de Halley em 1986 para observadores localizados a 40° de latitude norte, calculadas em 1983.

Recentemente porém C. S. Morris e J. G. Bortle, dois dos maiores peritos mundiais em cometas, corrigiram os cálculos anteriores da

completamente desenvolvida e a aproximação do cometa à Terra é máxima.

4. O cometa de Halley ao longo da história

4.1. As quatro últimas aparições

Quem previu que este cometa, e de uma maneira genérica os cometas fossem objectos

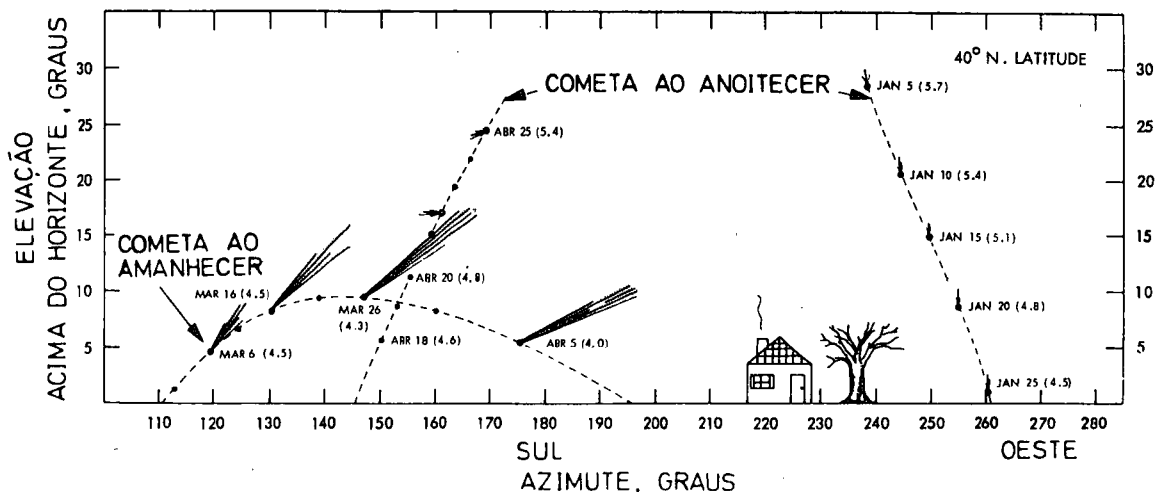


Fig. 8—Condições de observação do cometa de Halley na presente aparição para observadores a 40° de latitude N. Para cada posição e data indicadas apresentam-se entre parêntesis as grandezas totais aproximadas, segundo cálculos de 1983.

grandeza prevista para o cometa que eram baseados nas observações feitas em 1910, em que o cometa passou muito baixo no horizonte e foi observado através de uma camada de ar muito maior do que aquela através da qual eram observadas as estrelas que serviam de referência, não tendo sido feitas correcções para compensar a distorção atmosférica da luz do cometa [6]. Assim as previsões apontam para um brilho cinco a seis vezes superior ao anteriormente calculado, ou seja, uma grandeza que pode atingir o valor 2 (condições de visibilidade semelhantes às da Estrela Polar). Mesmo assim nada de espectacular se prevê, sendo difícil uma boa observação a olho nu em locais urbanos com elevada poluição luminosa. A melhor altura de observação será em Abril de 1986 pois a cauda estará então

astronómicos com órbitas periódicas, foi o astrónomo inglês Edmond Halley que viveu entre 1656 e 1742. Era professor de Geometria da Universidade de Oxford e foi grande amigo de Newton, tendo tido grande influência na publicação das suas obras. Aplicou pela primeira vez *de forma sistemática* a lei da gravitação universal ao cálculo das órbitas «parabólicas» dos cometas e deduziu uma tabela geral dessas órbitas. Este trabalho surgiu no volume 24 (anos de 1704-05) de *Philosophical Transactions*, págs. 1882-1899. Mais tarde, em 1726, uma tradução inglesa daquele original em latim apareceu como anexo ao livro «*The Elements of Physical and Geometrical Astronomy*», de David Gregory.

O trecho que a seguir se transcreve do artigo de Halley dá bem ideia do seu trabalho

e da importância que ele atribui à actividade precursora de Newton: «Esse grande Geómetra que foi o illustre Newton, escrevendo os seus Princípios Matemáticos de Filosofia Natural, demonstrou não apenas que aquilo que Kepler encontrara era necessariamente verificado no

à volta do Sol numa órbita parabólica e descrevia áreas (tomando o Sol como centro) proporcionais aos tempos. Seguidamente (continuando os passos de tão grande Homem) eu tentei aplicar o mesmo Método ao cálculo aritmético; e isso com todo o êxito que eu

(1886)

Cometarum Omnium haectenus rite Observatorum ,
Motuum in Orbe Parabolico Elementa Astronomica.

Cometa Anni.	Nodus Ascend.	Inclin. Orbitae.	Perihelion. in Orbe.	Perihelion in Elliptica	Latitudo Perihelii	Distancia Perihelii à Sole.	Log. dist. Perihelii à Sole.	Temp. aequas. Perihelii Londini.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.			die. h.
1337	II 24. 21. 0	32. 11. 0	♄ 7. 59. 0	♄ 12. 45. 15	22. 40. 30 B	40666	9. 609236	Junii 2. 6. 25
1472	♄ 11. 46. 20	5. 20. 0	♄ 15. 33. 30	♄ 15. 40. 20	4. 25. 50 A	54273	9. 734584	Feb. 28. 22. 23
1531	♄ 19. 25. 0	17. 56. 0	♄ 1. 39. 0	♄ 0. 48. 15	17. 3. 05 B	56700	9. 753583	Aug. 24. 21. 18½
1532	II 20. 27. 0	32. 35. 0	♄ 21. 7. 0	♄ 16. 59. 40	15. 57. 00 B	50910	9. 706803	Oct. 19. 22. 12
1556	♄ 25. 42. 0	32. 6. 30	♄ 8. 50. 0	♄ 11. 0. 00	31. 10. 20 B	46390	9. 666424	Apr. 21. 20. 3
1577	♄ 25. 52. 0	74. 32. 45	♄ 9. 22. 0	♄ 7. 53. 00	69. 35. 20 A	18342	9. 263447	Oct. 26. 18. 45
1580	♄ 18. 57. 20	64. 40. 0	♄ 19. 5. 50	♄ 19. 17. 10	64. 40. 0 B	59628	9. 775450	Nov. 28. 15. 00
1585	♄ 7. 42. 30	6. 4. 0	♄ 8. 51. 0	♄ 8. 59. 10	2. 55. 25 A	109358	0. 038850	Sept. 27. 19. 20
1590	♄ 15. 30. 40	29. 40. 40	♄ 6. 54. 30	♄ 2. 55. 50	22. 45. 50 A	57601	9. 700882	Jan. 29. 3. 45
1596	♄ 12. 12. 30	55. 12. 0	♄ 18. 16. 0	♄ 22. 44. 35	54. 44. 30 B	51293	9. 710058	Julii 31. 19. 55
1607	♄ 20. 21. 0	17. 2. 0	♄ 2. 16. 0	♄ 1. 29. 40	16. 10. 5 B	58680	9. 768490	Oct. 16. 3. 50
1618	II 16. 1. 0	37. 34. 0	♄ 2. 14. 0	♄ 6. 16. 00	35. 50. 0 A	57975	9. 579408	Oct. 29. 12. 23
1652	II 28. 10. 0	79. 28. 0	♄ 28. 18. 40	♄ 10. 41. 35	58. 14. 0 A	84750	9. 928140	Nov. 2. 15. 40
1661	II 22. 30. 30	32. 35. 50	♄ 25. 58. 40	♄ 21. 37. 30	17. 17. 0 B	44851	9. 651772	Jan. 16. 23. 41
1664	II 21. 14. 0	64. 18. 30	♄ 10. 41. 25	♄ 8. 40. 35	16. 1. 50 A	102575½	0. 011044	Nov. 24. 11. 52
1665	III 19. 02. 0	76. 45. 0	♄ 11. 54. 30	♄ 24. 6. 35	23. 8. 0 B	10649	9. 027309	Apr. 24. 5. 15½
1672	♄ 27. 30. 30	83. 22. 10	♄ 10. 59. 30	♄ 9. 26. 00	69. 27. 40 B	69739	9. 843476	Feb. 20. 8. 37
1677	III 26. 42. 10	79. 03. 15	♄ 17. 37. 5	♄ 16. 21. 05	75. 44. 10 B	28052	9. 448072	Apr. 26. 00. 37½
1680	♄ 2. 2. 0	60. 56. 0	♄ 22. 39. 30	♄ 27. 26. 50	8. 11. 10 A	60012½	9. 787106	Dec. 8. 00. 6
1682	♄ 21. 16. 30	17. 56. 0	♄ 2. 52. 45	♄ 2. 0. 30	16. 59. 20 B	58328	9. 765877	Sept. 4. 07. 39
1683	III 23. 23. 0	83. 11. 0	♄ 25. 29. 30	♄ 10. 36. 55	82. 52. 00 B	50220	9. 748343	Julii 3. 2. 50
1684	♄ 28. 15. 0	65. 48. 40	♄ 28. 52. 0	♄ 15. 15. 25	26. 35. 20 A	96015	9. 982339	Maii 29. 10. 16
1686	♄ 20. 34. 40	38. 21. 40	II 17. 00. 30	II 16. 24. 00	31. 17. 35 B	52500	9. 511883	Sept. 6. 14. 33
1698	♄ 27. 44. 15	11. 46. 0	♄ 00. 51. 15	♄ 0. 47. 20	0. 38. 10 A	69129	9. 839660	Oct. 8. 16. 57

Fig. 9 — Tabela contendo as características orbitais de vinte cometas calculadas por Halley. As distâncias do periélio ao Sol vêm dadas em 10⁻⁵ UA.

Sistema Planetário; mas também que todos os fenómenos acerca dos cometas decorreriam naturalmente dos mesmos Princípios; o que ele abundantemente ilustrou com o exemplo do conhecido cometa do ano de 1680, mostrando ao mesmo tempo, um método de delinear as órbitas dos cometas geometricamente; resolvendo (não sem merecer a maior admiração de todos os Homens) um problema, cuja dificuldade o tornava inacessível a qualquer que não ele. Ele provou que este cometa se move

podia desejar. Pois tendo coligido todas as observações de Cometas que pude, eu organizei a tabela seguinte, que é o resultado duma quantidade prodigiosa de cálculos: a qual embora pequena de aspecto, não constitui presente desprezável para os astrónomos. Pois estes números representam tudo quanto tem sido observado até agora sobre o movimento dos cometas, com o auxílio apenas da Tabela Geral anexa; na execução da qual não me poupei a esforços, para que sáisse perfeita,

como uma coisa consagrada à Posteridade e para durar tanto quanto a própria Astronomia».

A pequena tabela referida por Halley, que se mostra na fig. 9, contém as efemérides de 20 cometas relativamente aos quais ele pôde obter dados de observações com carácter científico.

Ao analisar a tabela, Halley notou algumas semelhanças entre certos cometas. Em particular notou que os cometas de 1531, 1607 e 1682 possuíam elementos orbitais muito semelhantes e que a separação entre as datas dos respectivos periélios era aproximadamente constante — 76 e 75 anos. Esta constatação levou Halley a pôr a hipótese de que, em vez de terem movimentos parabólicos, «é altamente provável que eles se movam em órbitas elípticas muito excêntricas, ocorrendo o seu retorno após longos períodos de tempo».

Posta esta hipótese, que aliás era aplicada também a outros cometas da tabela, Halley concluiu que «nada parece contradizer esta minha opinião, além da desigualdade das revoluções periódicas. A qual desigualdade não é tão grande que não possa dever-se a causas físicas. Pois o movimento de Saturno é tão perturbado pelos restantes planetas, especialmente Júpiter, que o período desse planeta tem uma incerteza de alguns dias. Quanto mais portanto estará um cometa sujeito a tais erros, pois ele sobe quase quatro vezes mais alto que Saturno, e a sua velocidade, embora devido a um aumento muito pequeno, seria suficiente para mudar a sua órbita de elíptica para parabólica».

Mais adiante diz Halley: «Portanto eu penso e posso atrever-me a predizer que ele (o cometa de 1682) voltará novamente no ano de 1758».

Halley não viveu para conhecer a confirmação da sua hipótese. Em fins de 1758 o cometa retornou coroando de êxito as previsões de Halley, que deu um primeiro grande contributo para o estudo dos cometas, justificando a designação do cometa com o seu nome.

A observação de 1758/59 foi feita por numerosos astrónomos entre os quais os fran-

ceses Clairaut, Lalande e Charles Messier, a quem Luís XV chamava o «furet des comètes» (furão dos cometas) e que foi grande amigo do físico português João Jacinto de Magalhães.

Messier fez uma série de observações cuidadosas no inverno de 1758/59 e na primavera de 1759 após ter pesquisado os céus durante dois anos no Observatório da Marinha de Paris [7].

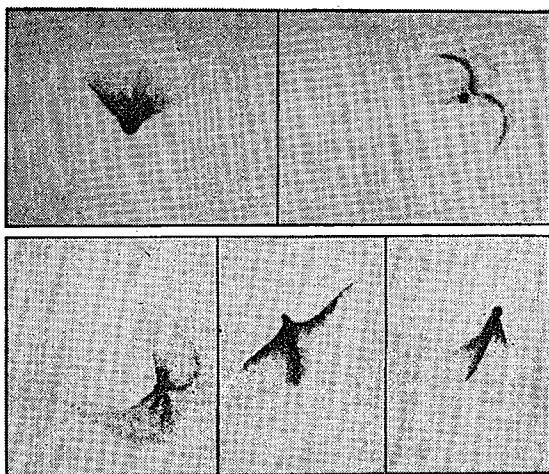


Fig. 10 — Diferentes aspectos do cometa de Halley no período de 11 a 23 de Outubro de 1835, segundo desenhos de Schwabe.

Em 1817 a Academia de Ciências de Turim ofereceu um prémio internacional para o melhor ensaio sobre as perturbações sofridas pelo cometa de Halley desde 1759. O prémio foi atribuído em 1820 a Damoiseau que, tomando em linha de conta as perturbações dos planetas, incluindo a Terra e Urano (planeta cuja existência não era conhecida dos astrónomos em 1759), estabeleceu a passagem no periélio em 4 de Novembro de 1835. Cálculos mais completos feitos por Pontécoulant fixaram a previsão do periélio para 12 de Novembro. O cometa atingiu o seu periélio em 15 de Novembro e foi no período ante-periélio que passou mais próximo da Terra. Adquiriu aspectos curiosos e variados (vd. Fig. 10) mas a sua grandeza aparente não ultrapassou talvez

o grau 2 [8], [9]. Na Fig. 11 reproduz-se uma gravura existente na Biblioteca Nacional de Paris anunciando a chegada do cometa em 1835.

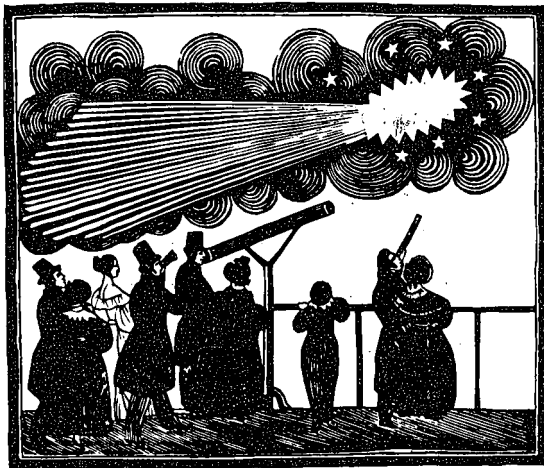
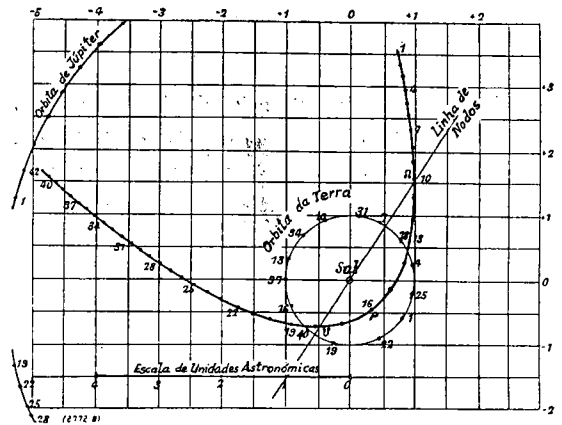


Fig. 11 — Gravura francesa anunciando a aparição do cometa de Halley em 1835.

As previsões para o retorno de 1910 foram também objecto de um prémio estabelecido pela Astronomische Gesellschaft. O prémio foi ganho pelos ingleses Cowell e Crommelin que previram o periélio para 16,6 de Abril de 1910. Depois da descoberta do cometa em Setembro de 1909, calculou-se que o periélio ocorreria a 19,68 de Abril de 1910, apenas três dias depois do previsto por Cowell e Crommelin. A aparição de 1910 foi rodeada de alguma espectacularidade pois se receou que o cometa viesse a colidir com a Terra. Por outro lado a recente descoberta, por espectroscopia, de cianeto na emissão do cometa causou grande pânico pois parecia certo que a Terra viria a passar pela sua cauda, no nodo descendente. As posições do cometa e da Terra na sua última passagem estão representadas na Fig. 12, onde se constata que a cerca de 20 de Maio de 1910 a aproximação do cometa relativamente à Terra foi de facto extraordinária ($\sim 3 \times 10^7$ km). O cometa atingiu a grandeza um, a sua cauda chegou, segundo vários observadores, a um comprimento sem

precedentes de 140° e a sua cabeça era mais brilhante do que qualquer outro objecto celeste, excluindo Venus [10].



Date.	z
1 = 1909, Aug. 22.7 = - 240 days	- .46
4 = " Oct. 9.7 = - 192 "	- .32
7 = " Nov. 26.7 = - 144 "	- .17
10 = 1910, Jan. 13.7 = - 96 "	- .02
13 = " Mar. 2.7 = - 48 "	+ .13
16 = " Apr. 19.7 = 0 "	+ .17
19 = " June 6.7 = + 48 "	- .12
22 = " July 24.7 = + 96 "	- .39
25 = " Sept. 10.7 = + 144 "	- .62
28 = " Oct. 28.7 = + 192 "	- .83
31 = " Dec. 15.7 = + 240 "	- 1.01
34 = 1911, Feb. 1.7 = + 288 "	- 1.18
37 = " Mar. 21.7 = + 336 "	- 1.34
40 = " May 8.7 = + 384 "	- 1.49
42 = " June 9.7 = + 416 "	- 1.59

Fig. 12 — Posições sucessivas do cometa de Halley e da Terra na última passagem entre 22 de Agosto de 1909 e 9 de Junho de 1911.

Cientificamente sabia-se que o cometa não chocaria com a Terra e o cianeto da cauda, de tão rarefeito não causaria quaisquer problemas. No entanto o público encheu-se de grande pânico que foi explorado comercialmente pelos vendedores das «pílulas do cometa» que garantiam protecção contra os gases venenosos esperados.

Apesar do razoável nível científico de conhecimentos da época as superstições do grande público foram exploradas com fins comerciais para criar impacto emocional dando explicações ingénuas a factos que não constituíam mais do que meras coincidências. O nascimento do escritor americano Mark Twain a 30 de Novembro de 1835 (duas semanas após o periélio) e a sua morte a 21 de Abril de 1910 (uma dia após a passagem pelo periélio seguinte), bem como a morte do rei Eduardo VII de Inglaterra (ocorrida a 6 de Maio de 1910) após a qual observadores das Bermudas noticiam «um comportamento estranho» do cometa, são apenas dois dos inúmeros exemplos atribuídos às influências sobrenaturais do cometa.

Uma circunstância interessante da passagem do cometa em 1910 foi a ocorrência rara de um trânsito, isto é, o cometa passou entre a Terra e o Sol, o que probabilisticamente só se observa em uma de cada 650 passagens. Tanto quanto foi possível observar com os instrumentos da época o cometa era perfeitamente invisível no disco solar.

Crommelin em 1912 calculou a data do periélio seguinte para fins de Fevereiro de 1986, um erro de cerca de vinte dias num período sideral de 27 690 dias.

4.2. As aparições antigas

As modernas capacidades de cálculo permitiram aos astrónomos determinar retrospectivamente os elementos das órbitas anteriores, ao mesmo tempo que se procuraram registos históricos dessas aparições. É hoje certo que há registos das vinte e nove passagens anteriores do cometa de Halley, a partir da que ocorreu no ano de 240 a.C., com alguma dúvida apenas na aparição de 163 a.C. (Tabela 1).

A maior parte dos registos correspondem a crónicas e documentos chineses, particularmente até ao século XVI, não sendo os registos europeus tão fiáveis nem cientificamente nem descritivamente. Referiremos apenas alguns dos registos antigos mais interessantes no Ocidente.

TABELA 1 — Anteriores passagens do cometa de Halley no seu periélio [11]

30 de Março	239 a.C.
5 de Outubro	163 »
2 de Agosto	89 »
5 de Outubro	11 »
26 de Janeiro	66 d.C.
20 de Março	141 »
17 de Maio	218 »
20 de Abril	295 »
16 de Fevereiro	374 »
24 de Junho	451 »
25 de Setembro	530 »
13 de Março	607 »
28 de Setembro	684 »
22 de Maio	760 »
27 de Fevereiro	837 »
9 de Julho	912 »
9 de Setembro	989 »
23 de Março	1066 »
22 de Abril	1145 »
1 de Outubro	1222 »
23 de Outubro	1301 »
9 de Novembro	1378 »
9 de Junho	1456 »
25 de Agosto	1531 »
27 de Outubro	1607 »
15 de Setembro	1682 »
13 de Março	1759 »
16 de Novembro	1835 »
20 de Abril	1910 »

Estas datas são aproximadas e têm variado conforme o rigor dos cálculos efectuados.

A passagem do cometa no ano de 1066 ficou registada na famosa tapeçaria de Bayeux, que o bispo desta cidade da Normandia mandou tecer para ilustrar a conquista de Inglaterra pelos normandos chefiados por Guilherme, o

Conquistador. A tapeçaria tem aproximadamente setenta metros de comprimento por cerca de cinquenta centímetros de largura e contém ao longo do seu comprimento um grande

interior da capela, paredes e tectos, é coberto de frescos de Giotto ilustrando a vida de Cristo. Um dos trinta e oito frescos é a «Adoração dos Magos» que se pensa ser



Fig. 13 — Peça da tapeçaria de Bayeux com a cena em que é figurado o cometa de Halley. A fotografia foi extraída de um folheto da Agência Espacial Europeia sobre a Missão Giotto desta Agência em que um satélite de observação do cometa será lançado em 10 de Julho de 1985 para passar a 1000 km do núcleo do cometa em 13 de Março de 1986.

número de cenas alusivas. Uma das cenas é reproduzida na figura 13, vendo-se à esquerda um grupo de saxões a mirar um cometa, com a legenda *ISTI MIRANT STELLA* (eles estão a admirar a estrela), enquanto do lado direito um outro saxão avisa o rei Harold II do acontecimento. O rei toma o facto como um mau presságio e sonha, como está representado na parte inferior, com os preparativos de uma invasão por mar que se avizinha. A invasão deu-se e conduziu à derrota dos exércitos saxónicos na batalha de Hastings em 1066.

Uma outra descrição pictórica de grande beleza, da passagem do cometa no ano de 1301, é a que o florentino Giotto di Bondone pintou na capela de Arena em Pádua. Esta capela foi mandada erigir por Enrico Scrovegni, um rico comerciante de Pádua, como voto de expiação das suas práticas usurárias. Todo o

datado de 1303 ou 1304 (Fig. 14). Ao pintar a estrela de Belém, Giotto rejeita quer as estritas regras do simbolismo astrológico quer o convencionalismo medieval e pinta o cometa tal como o vira uns anos antes iluminando o céu de Itália. Dos cometas que na época tiveram aparições espectaculares o de Halley foi o único que Giotto poderia ter visto e por isso se conclui que no fresco ele retratou o cometa dentro do espírito naturalista que sempre quis dar à sua pintura e muito contribuiu para a renovação do estilo na sua época [11].

5. Conclusão

A próxima aparição do cometa de Halley já começou a ser observada, embora só venha a ser visível a olho nu, ou com binóculos ou

telescópios simples, no final de 1985 ou princípios de 1986. As características da presente órbita e as condições de observação do cometa já foram calculadas, sendo ainda de esperar refinamentos de cálculos que conduzam a previsões mais exactas.



Fig. 14 — «A Adoração dos Magos», de Giotto. Neste fresco, existente na Capela de Arena, em Pádua, o pintor representa a estrela de Belém como o cometa de Halley, que ele viu em 1301.

No passado foram registadas as vinte e nove sucessivas aparições do cometa desde o ano 240 a.C. Pelo seu interesse científico na astronomia dos cometas é feita referência especial à aparição de 1682 que foi estudada por Halley e às de 1759, 1835 e 1910. Por razões de ordem histórica e artística referem-se também as observações de 1066 e de 1301 registadas em obras de valor da cultural ocidental.

Infelizmente não foi possível obter registos de observações do cometa de Halley feitas em Portugal, embora não seja de pôr de parte a hipótese de tais registos existirem relativamente às últimas aparições [12].

6. Agradecimentos

À bibliotecária da Royal Society, ao Director do Observatório Astronómico de Lisboa

e ao Director da Biblioteca da Fundação Calouste Gulbenkian são devidos agradecimentos pelas informações ou elementos que me facultaram.

REFERÊNCIAS

- [1] «Halley's Comet returns». *New Scientist*, **96**, 215 (1982).
- [2] J. A. FERNANDEZ, K. JOCKERS — «Nature and origin of comets». *Rep. Progr. Phys.*, **46**, 665-772 (1983). Este artigo constitui uma excelente revisão sobre a física dos cometas.
- [3] DONALD K. YEOMANS — «The Comet Halley Handbook, an observer's guide» created for the International Halley Watch [Pasadena, Calif., National Aeronautics and Space Administration, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology] 2nd edition, 1983.
- [4] «Dados Astronómicos para os Almanques de 1984 para Portugal» Observatório Astronómico de Lisboa, 1984.
- [5] F. HOYLE, C. WICKRAMASINGHE — «Evolution from Space» Granada Publ. Ltd, London (1981).
- [6] «A brighter Halley is now predicted» *Halley's Comet Watch Newsletter*, 3, n.º 2, págs. 1-2 (1984).
- [7] CH. MESSIER — «A Memoir, Containing the History of the Return of the famous Comet of 1682, with observations of the same made at Paris, at the Marine Observatory, in January, February, March, April, May and the Beginning of June, 1759» *Phil. Trans.*, **55**, 294-325 (1765).
- [8] JEAN MASCART — «La Comète de Halley» Ed. Société Astronomique de Bordeaux, Paris e Bordeaux, 1910.
- [9] Sir JOHN F. W. HERSCHEL — «Observations of Halley's Comet, with Remarks on its Physical Condition, and that of Comets in General» From «Results of Astronomical Observations... at the Cape of Good Hope», London, 1847.
- [10] A. C. D. CROMMELIN, D. SMART — «Report of the section for the observation of comets. Halley's Comet» *Memoirs of the British Astronomical Association*, **19**, 1-40 (1912).
- [11] R. J. M. OLSON — «Giotto's Portrait of Halley's Comet» *Scientific American*, **240**, 160-170 (1979).
- [12] Informação prestada pelo Dr. Ezequiel Cabrita, Director do Observatório Astronómico de Lisboa, a quem são devidos agradecimentos pela pesquisa que efectuou sobre o assunto.

Cálculo matricial em óptica

PAULO ARTUR PINTO DE OLIVEIRA LOPES

Centro de Física da Universidade do Porto (*)

Pretende-se neste artigo introduzir um processo sistemático de cálculo para o processamento de raios através de sistemas ópticos, fazendo para tal representar cada um dos fenómenos presentes (refracção e propagação) por uma matriz adequada (contendo informação sobre raios de curvatura, índices de refracção e distâncias entre interfaces) o que permite através do produto matricial encontrar facilmente os parâmetros que caracterizam o raio óptico à saída do sistema.

1. Introdução

Os sistemas ópticos constituídos por lentes dispostas ao longo de um eixo são utilizados correntemente para variados fins nomeadamente a formação de imagens (caso das objectivas fotográficas por exemplo). A análise do processamento dessas imagens através de um sistema óptico simples recorre em geral a uma de duas equações:

$$n_1/s_1 + n_2/s_2 = (n_2 - n_1)/R \quad (a)$$

correspondente ao caso de uma interface esférica onde n_1 e n_2 são índices de refracção, s_1 e s_2 são distâncias do ponto objecto e imagem à interface, respectivamente, e R o seu raio de curvatura (ver Figura 1).

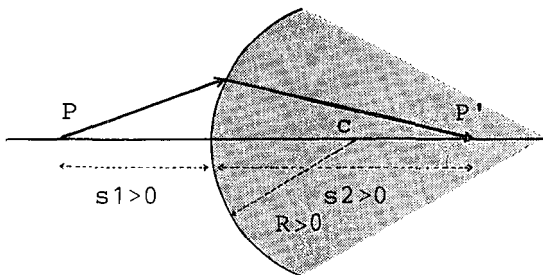


Fig. 1

$$1/s_1 + 1/s_2 = (n - 1) \cdot (1/R_1 - 1/R_2) \quad (b)$$

correspondente ao caso da associação de duas interfaces esféricas muito próximas (lente fina), onde a lei anterior é utilizada duas vezes; n é o índice de refracção da lente relativamente ao meio exterior; s_1 e s_2 são distâncias do ponto objecto e imagem à lente esférica, respectivamente (ver Figura 2).

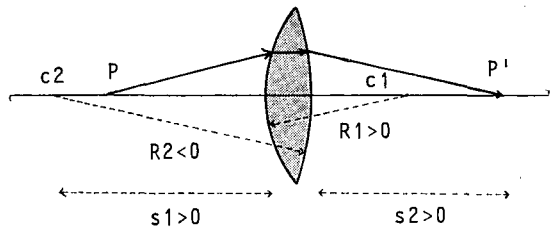


Fig. 2

Ambos os casos provêm da 2.^a lei de Snell (refracção),

$$n \cdot \text{sen}\theta = n' \cdot \text{sen}\theta'$$

e consideram a aproximação paraxial ou seja a incidência de pequenos ângulos (ver por exemplo, Optics — Hecht & Zajac, cap. 5).

Os cálculos para a formação de imagens em sistemas ópticos simples seriam então imediatos.

2. Introdução de matrizes

Para sistemas mais complexos (ver Fig. 3), contudo, a tarefa seria mais árdua já que implicaria a determinação da imagem do ponto objecto por uma ou duas interfaces (lente fina), utilizar esse ponto como novo ponto objecto, reprocessá-lo e assim sucessivamente. Este procedimento monótono é consumidor de tempo e dá origem a erros frequentes de cálculo.

É portanto conveniente a sistematização do cálculo de propagação quer para a determinação de imagens dadas por sistemas ópticos, caso anteriormente descrito, quer para qualquer outro fim. Como se irá ver, uma representação

(*) Actualmente no Departamento de Física da Universidade de Aveiro.

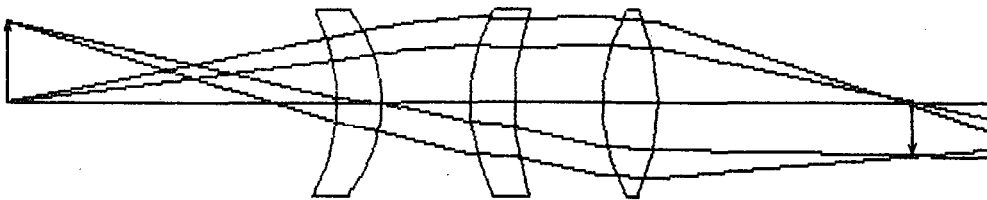


Fig. 3

matricial é perfeitamente adequada a um tratamento automático (com calculadora programável ou computador pessoal).

Para introduzir esta representação abandonam-se as equações de formação de imagens acima descritas fazendo uso apenas da lei de Snell na aproximação de pequenos ângulos (paraxial).

Considere-se o raio óptico incidente numa interface, representado pelo «vector» (matriz coluna),

$$\begin{bmatrix} n \cdot \alpha \\ X \end{bmatrix}$$

onde n é o índice de refração do meio, X a altura de incidência e α o ângulo que a direcção de propagação faz com a horizontal (Fig. 4). Embora a lei de Snell não o utilize

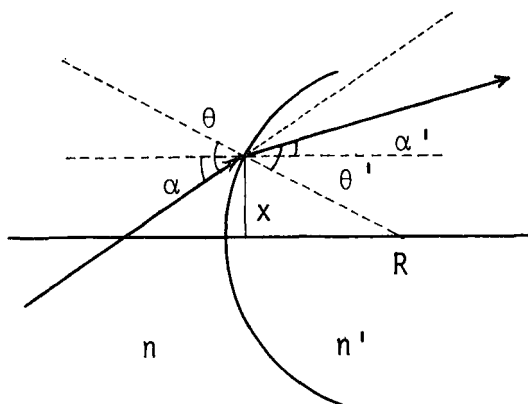


Fig. 4

directamente, este ângulo é aquele que define o raio óptico, sendo possível relacioná-lo com o ângulo de incidência θ . Seguindo a figura 4 e tendo em conta que,

$\text{sen } \theta \simeq \theta$, $\text{sen } \theta' \simeq \theta'$ (aproximação paraxial)

$$\theta - \alpha = X/R = \theta' - \alpha'$$

a lei de Snell conduz a $n \cdot \theta = n' \cdot \theta'$, logo

$$n' \cdot \alpha' = n \cdot \alpha + (n - n') \cdot X/R$$

Trata-se de uma relação linear entre $n \cdot \alpha$ e $n' \cdot \alpha'$ susceptível de ser posta em linguagem matricial.

Procuramos então uma matriz representativa da refração,

$$[R] = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$

tal que actuando em,

$$\begin{bmatrix} n \cdot \alpha \\ X \end{bmatrix}$$

dê como resultado,

$$\begin{bmatrix} n' \cdot \alpha' \\ X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n \cdot \alpha + (n - n') \cdot X/R \\ X \end{bmatrix}$$

ou seja,

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n \cdot \alpha \\ X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \cdot n \cdot \alpha + B \cdot X \\ C \cdot n \cdot \alpha + D \cdot X \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} n \cdot \alpha + (n - n') \cdot X/R \\ X \end{bmatrix}$$

Tira-se então que,

$$A = 1; \quad B = (n - n')/R; \quad C = 0; \quad D = 1.$$

Logo,

$$[R] = \begin{bmatrix} 1 & (n - n')/R \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

O processamento de um raio óptico envolve ainda a propagação livre do raio entre duas interfaces que se representa também por uma matriz (matriz transporte ou translacção [T]) e tem a seguinte forma:

$$[T] = \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix}$$

De acordo com a figura 5 e tendo em conta que α se mantém na propagação livre,

obtem-se

$$X' = X + \text{tg } \alpha \cdot d = X + \alpha \cdot d$$

Então,

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} n \cdot \alpha \\ X' \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n \cdot \alpha \\ X \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} A' \cdot n \cdot \alpha + B' \cdot X \\ C' \cdot n \cdot \alpha + D' \cdot X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n \cdot \alpha \\ X + \alpha \cdot d \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Donde se tira que,

$$A' = 1; \quad B' = 0; \quad C' = d/n; \quad D' = 1.$$

Logo,

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ d/n & 1 \end{bmatrix}$$

Com estas duas matrizes consegue-se processar um raio óptico através de qualquer sistema, conhecidos os parâmetros que o caracte-

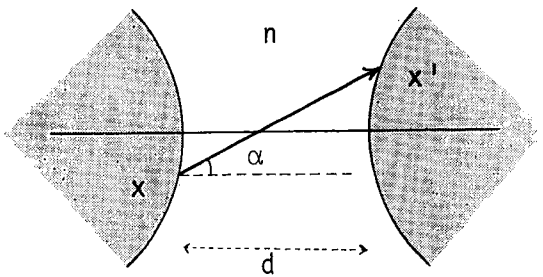


Fig. 5

rizam (raios de curvatura, índices de refração e distâncias entre interfaces), qualquer que seja a sua complexidade, bastando para tal multiplicar sequencialmente o vector que define o raio à entrada do sistema pelas matrizes representativas da refração nas interfaces e da propagação livre entre aquelas. Ainda, e uma vez que a propriedade associativa é verificada no produto matricial, pode-se efectuar o produto de todas as matrizes [R] e [T] e representar todo o sistema por uma única matriz [S]:

$$[S] = [R_n] \cdot [T_{n-1}] \cdot [R_{n-1}] \dots [T_1] \cdot [R_1]$$

de tal modo que, $[o] = [S] \cdot [i]$, onde [i] define o raio à entrada do sistema (in) e [o] à saída (out).

3. Exemplo

Como exemplo considere-se o sistema de duas lentes da Fig. 6:

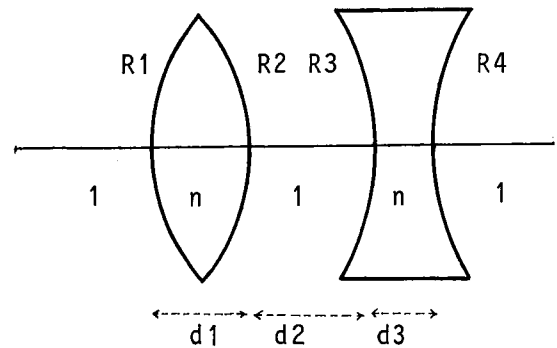


Fig. 6

$$R_1 = -R_2 = 30 \text{ cm}; \quad R_3 = -R_4 = -25 \text{ cm}; \\ d_1 = 5 \text{ cm}; \quad d_2 = 10 \text{ cm}; \quad d_3 = 3 \text{ cm}; \quad n = 1,5$$

A matriz do sistema é dada por,

$$\begin{aligned} [S] &= \begin{bmatrix} 1 & (n-1)/R_4 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ d_3/n & 1 \end{bmatrix} \cdot \\ &\cdot \begin{bmatrix} 1 & (1-n)/R_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ d_2/1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \\ &\cdot \begin{bmatrix} 1 & (n-1)/R_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ d_1/n & 1 \end{bmatrix} \cdot \\ &\cdot \begin{bmatrix} 1 & (1-n)/R_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,5036 & -0,0084 \\ 15,178 & 0,5804 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Para um raio incidente paralelamente ao eixo, distanciado de 1 cm, [i] é dado por,

$$[i] = \begin{bmatrix} n \cdot \alpha \\ X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Então,

$$\begin{aligned} [o] &= \begin{bmatrix} 1,5036 & -0,0084 \\ 15,178 & 0,5804 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} -0,0084 \\ 0,5804 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n' \cdot \alpha' \\ X' \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Sabendo que $n' = 1$, tem-se à saída do sistema um raio óptico distanciado de $X' = 0,5804$ cm do eixo e fazendo um ângulo de $\alpha' = -0,0084$ rad com a horizontal.

4. Cálculo de imagens

Por um processo idêntico calcula-se a imagem de um ponto dada por um sistema óptico de matriz [S], motivo principal da introdução deste método:

$$[i] = \begin{bmatrix} 1 \cdot \alpha \\ X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha \\ \alpha \cdot d \end{bmatrix} = \alpha \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ d \end{bmatrix}$$

$$[o] = [S] \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ d \end{bmatrix} \cdot \alpha = \begin{bmatrix} 1 \cdot \alpha' \\ X' \end{bmatrix}$$

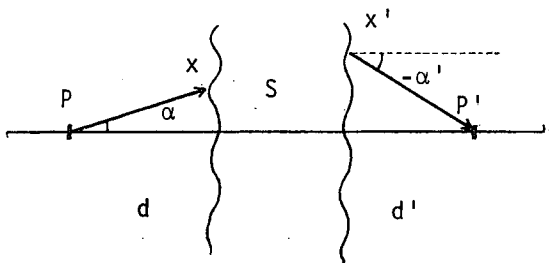


Fig. 7

Conhecidos α' e X' , d' seria então dado por:

$$X'/d' = -\alpha' \quad (=) \quad d' = -X'/\alpha'$$

$d' > 0$ — a imagem é real

$d' < 0$ — a imagem é virtual

[S] não depende de [i] pelo que caracteriza o sistema óptico considerado. A facilidade da sua manipulação matemática para a determinação de imagens sugere a sua utilização e por conseguinte este processo revela-se satisfatório.

5. Software

Para finalizar, chama-se ainda a atenção que o cálculo de [S], devido ao seu carácter sistemático, pode ser obtido por computador a partir de um programa simples de produto de matrizes como o apresentado nesta secção. Este programa, embora tenha sido escrito para um Sinclair ZX Spectrum, pode ser corrido em qualquer microcomputador sem requerer alterações significativas.

```
1  REM      * Paulo Artur *
3
5  CLS
6
```

```
10  LET x = 1
11  LET y = 0
12  LET w = 0
13  LET z = 1
99
100 INPUT "A = "; a
200 INPUT "B = "; b
300 INPUT "C = "; c
400 INPUT "D = "; d
450
500 LET x1 = a * x + b * w
501 LET y1 = a * y + b * z
502 LET w1 = c * x + d * w
503 LET z1 = c * y + d * z
504
505 LET x = x1
506 LET y = y1
507 LET w = w1
508 LET z = z1
510
600 PRINT "X = "; x, "Y = "; y
601 PRINT "W = "; w, "Z = "; z
602
650 PRINT : PRINT
652 PRINT "Continuo ? (s/n)"
654
660 IF INKEY$="s" THEN CLS : GOTO 100
665 IF INKEY$="n" THEN GOTO 1000
667 GOTO 660
680
1000 CLS : PRINT "Recomeço ? (s/n)"
1003
1005 IF INKEY$ <> "" THEN GOTO 1005
1010 IF INKEY$ = "s" THEN RUN
1020 IF INKEY$ = "n" THEN GOTO 2000
1030 GOTO 1010
1050
2000 CLS : PRINT "*** Fim de execução ***"
```

Nota: os elementos de entrada são $\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$

e a multiplicação das matrizes é efectuada da direita para a esquerda.

união internacional de física pura e aplicada (IUPAP)

A SPF pode confirmar (cf. Gaz. Fís. 7, 78 (1984)) a admissão de Portugal como membro da IUPAP (XVIII Assembleia Geral, Trieste, Outubro 1984). Encontra-se em organização a *Liaison Committee* que passará a ser, em Portugal, o interlocutor da IUPAP.

Microcomputadores, Minicomputadores e Física Experimental

DINIS MAGALHÃES SANTOS

Departamento de Electrónica e Telecomunicações, Universidade de Aveiro

1. Uma perspectiva geral sobre a Electrónica

Uma análise das aplicações de micro e minicomputadores na Física Experimental é indissociável de dois pressupostos básicos: (i) ter em consideração a instrumentação para a Física que já existe e (ii) ter em atenção o facto de estarmos num país que é Portugal e não noutra qualquer.

A experimentação em Física, e mais especialmente em Física Atómica e Nuclear, conheceu após a 2.^a Guerra Mundial um desenvolvimento muito grande. Esse desenvolvimento não teria sido possível sem um recurso intensivo à instrumentação, e falar de instrumentação é falar de Electrónica e técnicas afins. Se é verdade, porém, que a Física Experimental (FE) beneficiou do desenvolvimento dos dispositivos e circuitos electrónicos, é igualmente verdade que a Electrónica também aproveitou dos desenvolvimentos na Física, não só porque a Electrónica é, no fundo, Física Aplicada, mas também e sobretudo porque as solicitações e problemas postos à Electrónica pela Física foram muitos e difíceis de resolver. Houve uma relação dialéctica entre os dois domínios, sendo certo até que, pelo menos até meados da década de 60, era a Física Nuclear Experimental quem colocava à Electrónica os problemas mais agudos, funcionando de certo modo como «motor» do desenvolvimento dela. Esse lugar motivante está hoje provavelmente ocupado pelas Telecomunicações, o que é de certo modo um regresso às origens, para a Electrónica.

De facto, a Electrónica Nuclear (EN) representa hoje, segundo dados recentes, apenas cerca de 1 % do total de equipamentos elec-

trónicos produzidos a nível mundial, e mesmo essa parcela está a diminuir a um ritmo de cerca de 2 % ao ano. Contudo, apesar deste pequeno volume de vendas, o domínio da EN continua a ser considerado (sobretudo pelos fabricantes de novos componentes) um domínio de ponta, e um campo de ensaios para novas técnicas e dispositivos, devido aos problemas cruciais que ainda coloca.

Neste contexto os microcomputadores aparecem como mais um passo num caminho já longo, e de facto, como mais uma técnica de resolução dos problemas postos pelo tratamento e aproveitamento dos dados das experiências, como o foi o aparecimento do transistor nos últimos anos da década de 40, embora obviamente uma técnica muito mais poderosa e complicada. É evidente que os novos projectos deverão ter em conta que esta técnica existe, pelo que o domínio das técnicas de projecto em micro e minicomputadores deve ser adquirido pelos experimentadores em Física, e a própria aquisição de novos equipamentos também deve reflectir este facto.

No entanto, os investimentos a realizar têm de ser condicionados por uma clara consciência de que estamos neste país e não noutra. Acontece que a investigação em FN é, dum modo geral, uma investigação cara, em que mesmo em países habitualmente considerados de largos recursos os investimentos são cuidadosamente ponderados. Por maioria de razão assim deve ser em Portugal.

Em particular, não é de esperar, nem a curto nem a médio prazo, que haja em Portugal equipamento para a experimentação na Física das Altas Energias. Por outro lado, trata-se de um domínio (o da FE no seu con-

junto) em que o investimento de origem privada é praticamente nulo, e o de origem estatal cada vez mais escasso (tem diminuído mesmo a preços constantes, o que significa uma diminuição anual de cerca de 40 %, provavelmente, em termos reais). Aqui, quando nos referimos ao equipamento para a FE, incluímos obviamente o equipamento electrónico.

Parece claro que este cenário aponta no sentido de se desenvolver e realizar localmente o máximo de equipamento possível. É evidente que há equipamento que não poderá deixar de ser comprado ao exterior, mas a decisão «fazer ou comprar» não poderá ser tomada em termos unicamente economicistas. Estes nem sempre são favoráveis à opção de compra, dados os preços altamente exorbitantes que o equipamento, mesmo standard, tem ultimamente atingido nos mercados internacionais; são instrumentos habitualmente produzidos em muito pequena série, o que não permite economias de escala, sendo esta afinal a mesma situação que enfrenta um laboratório razoavelmente equipado ao realizar o seu próprio equipamento.

Mas os custos não podem ser contabilizados de forma puramente económica, sobretudo pelos efeitos de rentabilização a longo prazo que tem o desenvolvimento local de electrónica, e ainda pelos efeitos potencializadores que pode vir a ter, e que já tem tido, sobre outras actividades.

No entanto, há aqui que fazer uma distinção fundamental: certos tipos de equipamento são razoavelmente standard, isto é, aplicáveis a um grande número de experiências; outros são projectados para uma experiência específica, e quase se pode dizer que este último caso é mais a regra que a excepção na Física Experimental. Em relação a estes últimos, parece evidente que têm de ser produzidos (ou uma modificação introduzida em equipamento standard) localmente. Em relação aos primeiros, a decisão não é tão linear, mas mediante certas condições de que falaremos a seguir, também pode em muitos casos ser vantajosa a sua realização, pelo menos em parte.

2. Electrónica associada à experimentação em Física; necessidades de investimento

A electrónica associada à experimentação em Física, muito grosseiramente, pode dizer-se abranger os seguintes domínios:

- a) Detectores;
- b) Electrónica analógica;
- c) Electrónica digital e interfaces;
- d) Equipamento de aquisição e processamento de dados:
 1. Analisador multicanais;
 2. Computadores pessoais (PC's);
 3. Microcomputadores e sistemas de desenvolvimento;
 4. Minicomputadores e «super» minicomputadores;
- e) Manutenção e apoio para os equipamentos acima.

As soluções são diferentes para os diferentes grupos de equipamento. Se em relação a a) e a d)4. não temos momentaneamente grande capacidade de intervenção (há algum trabalho realizado em aspectos pontuais dos detectores, no entanto) em relação a todos os outros pontos focados parece haver qualquer coisa a fazer. Há aliás experiência neste sentido.

2.1. Electrónica Analógica-Digital e Interfaces

Em relação à electrónica analógica e analógica-digital essa experiência começou em 1968 no LFEN, crê-se que com bastante sucesso. Esta experiência foi interrompida, mas foi prosseguida, tanto quanto sabemos, noutros locais. Vem a propósito dizer que o sistema NIM continua a apresentar sintomas de vitalidade, bem como o CAMAC que, além de ter sido utilizado em domínios alheios à EN, recentemente deu origem, por via duma colaboração EUA-Europa, ao desenvolvimento do mais rápido barramento de transmissão de dados actualmente existente: o FASTBUS, capaz de «throughputs» da ordem de 100 MHz. A experiência do domínio da Electrónica Analógica-Digital e Interfaces deve pois ser prosseguida e intensificada.

2.2. Equipamento para aquisição e processamento de dados

Em relação ao equipamento para aquisição e processamento de dados, há a considerar vários aspectos.

(i) *Analísadores multicanais*

No que se refere aos analisadores multicanais, domínio que parece feito expressamente para utilização de microprocessadores, há alguma experiência prévia, e há equipamento comercial que também os utiliza. O custo dum instrumento deste tipo anda sempre na casa dos mil contos. No entanto, e porque existe em Portugal a experiência necessária para dominar a tecnologia, parece que esta experiência deveria ser aproveitada de forma a termos um projecto próprio. Isto inclui o projecto das próprias ADC's, já que as ADC's habitualmente encontradas no mercado não satisfazem às exigências da EN.

(ii) *Personal computers*

Em relação aos PC's, as opções comerciais são muito vastas. Quer a opção seja comprar quer seja fazer, o aspecto fundamental a ter em conta é que este tipo de equipamento de processamento de dados se destina quase sempre a trabalhar *on-line*, ou pelo menos ao funcionamento misto *on-line/off-line*, pelo que são muito importantes as interfaces com o mundo real. São portanto de rejeitar soluções «aligeiradas» com interfaces paralelo extremamente lentas, ou muitas vezes apenas com um terminal de comunicação série. Digamos que uma gama equivalente ao Apple II, ou superior, já é em muitos casos adequada. Tudo leva a crer que vamos ter em produção um projecto português que, ao que parece, vai ser compatível com experiências de Física, estando anunciada para já uma ADC apropriada à conversão de sinais de detectores nucleares, pelo que esta é uma hipótese a considerar, obviamente, com alta prioridade.

Sem ter em conta os custos, parece que o *IBM personal computer* vai assumir nos próximos anos uma posição muito forte, concorrendo assim a IBM com a firma mais forte

no domínio do processamento de dados para a Física, nos últimos anos, que tem sido tradicionalmente a Digital Equipment Corp. (DEC). As previsões da IBM apontam para um aumento da sua produção de cerca de 300 % ao ano, nos próximos 3 anos.

Em qualquer caso, porém, estes sistemas terão sempre uma componente muito forte de apoio das instituições que os adquirirem, quer para partir de um «chip» ou de uma placa de circuito impresso para o produto final, quer para assegurar o funcionamento do sistema adquirido, ou mesmo para lhe introduzir alterações (a nível de hard ou software), como é quase sempre inevitável. É preciso, para isso, reunir à partida três condições:

a) *Disponibilidade de pessoal devidamente treinado*

Continua a notar-se, tal como há cerca de 15 anos, a ausência de investigadores capazes de fazer a ligação entre a Electrónica e a Física. Os físicos experimentais nem sempre têm a noção exacta do que se passa para além do painel frontal dos instrumentos que utilizam. E do mesmo modo é necessária uma aproximação à física dos problemas em jogo, por parte dos engenheiros da electrónica. Vários factores têm dificultado esta aproximação, e aqui é preciso acentuar que um factor importante é a questão do estatuto profissional dos electrónicos relativamente aos físicos experimentais. Os engenheiros electrónicos (ou electrotécnicos) têm de deixar de ser considerados uma espécie de investigadores de segunda classe, o que nem sempre tem sido entendido pelas pessoas que em Portugal têm funções de gestão da investigação. A experiência noutros países europeus tem demonstrado que os melhores resultados, quer para a Física quer para a Electrónica, têm sido obtidos quando se permite que os electrónicos façam a sua própria investigação (também). É que eles trabalham num domínio em evolução muito rápida, sobretudo por causa dos novos dispositivos que estão permanentemente a aparecer, e rapidamente podem desactualizar-se se não fizerem um esforço de desenvolvimento. Em

particular deve haver projectos que conduzam a mestrado e doutoramento para electrónicos, o que evidentemente se consegue mais facilmente se a instituição onde trabalham é uma universidade ou tem uma ligação a uma universidade. Isto deve acontecer quer se opte por uma solução centralizada para o departamento de Electrónica da instituição, quer se opte por uma solução descentralizada, isto é, que cada grupo de investigação tenha algumas pessoas com tarefas específicas no domínio da electrónica. A única instituição que em Portugal tem dimensão suficiente para a primeira solução é, ou foi, o LFEN, e de facto as duas experiências foram tentadas. Os resultados parecem indicar que a segunda solução é mais eficaz.

b) *Equipamento de teste apropriado*

A não ser em casos de grande simplicidade, é preciso dispor de equipamento de teste relativamente sofisticado. Já que estamos a falar de micro e minicomputadores, isto significa dispor pelo menos de um sistema de desenvolvimento, quer de software quer de hardware.

O grau de complexidade e o custo deste equipamento depende obviamente dos sistemas a desenvolver e do tempo em que se quer desenvolvê-los. A solução mais barata é ter um *Assembler* instalado num personal computer, e este poderá ser até um factor a condicionar a escolha do PC: ele ser capaz de suportar um sistema de desenvolvimento para o microprocessador utilizado.

c) *O papel da normalização*

A normalização é também importante, nos seus vários aspectos. Faz falta que em Portugal não se tenha feito ainda a normalização de um sistema de BUS. O FASTBUS vai provavelmente ser adoptado como standard, e é verdade que ele é essencial na electrónica associada à Física das Altas Energias. Mas neste momento parece que o VME é o que reúne melhores condições, até porque é resultante duma colaboração EUA-Europa. Convém não esquecer, no entanto, que quer a Intel quer a DEC têm respectivamente o MULTIBUS e o UNIBUS, e que estes dois fabricantes têm um peso muito grande.

(iii) *Microcomputadores e sistemas de desenvolvimento*

Em relação aos microcomputadores, na gama dos 8 bits parece que a Intel conquistou o mercado, mas nos microcomputadores de 16 bits a situação já não é tão clara: a família iAPx tem sido instalada em alguns sistemas utilizados na Física, enquanto o 68 000 (Motorola) aparece como um concorrente muito forte, até porque o CERN já o adoptou praticamente como standard. Escusado será dizer que é de toda a conveniência que cada instituição tenha um microcomputador standard, e ainda mais conveniente seria adoptar-se um standard nacional.

Finalmente, é importante notar que a investigação em electrónica ou melhor, o desenvolvimento experimental nas aplicações da electrónica, já que em Portugal não se faz investigação de base (ao nível dos componentes), não deve esquecer tarefas fundamentais desse sector de electrónica e das quais depende crucialmente a Física Experimental. Referimo-nos especialmente à realização de pequenos protótipos, por vezes sem grande interesse técnico ou curricular, e a tarefa esquecida e desagradável para muitos, da manutenção do equipamento.

2.3. *Minicomputadores e «super» minicomputadores*

Em relação aos minis e superminis, é evidente que a opção neste momento é adquirir. A intervenção local vai estar ao nível das interfaces e da manutenção, factores frequentemente esquecidos aquando da aquisição do equipamento. Acredita-se que o vendedor providenciará a manutenção. A realidade dos factos é que essa manutenção ou não existe ou não é dada em tempo útil, ou ainda, devido à nossa conhecida escassez de recursos, é por vezes necessário manter em funcionamento máquinas que, do ponto de vista do fabricante, já estão obsoletas. Faz portanto sentido criar (e conservar) meios materiais e humanos capazes de manter as máquinas em funcionamento, ou de introduzir alterações e melhoramentos, quer na própria máquina, quer ao nível do input/output.

Quanto aos mini e superminicomputadores que vão ser utilizados em aplicações ligadas à

Física, há poucas dúvidas de que a predominância da DEC nos anos 60 e 70, através dos conhecidos PDP-8,15 e 11, se vai manter também na década de 80, mesmo a nível mundial, graças sobretudo, aos grandes investimentos realizados (inteligentemente) no software. A hegemonia da DEC nos superminis vai manter-se também através do VAX, e neste momento quase toda a gente está familiarizada com o sistema de operação VMS. Há portanto que criar competências também neste domínio.

3. Considerações finais

Relativamente aos investimentos que nestes últimos anos têm sido feitos em Portugal nesta área, é lamentável que não tenham sido devi-

damente rentabilizados. Talvez no passado se tenha investido demais em meios de cálculo e aquisição de dados, e de menos no equipamento experimental para produzir os próprios dados. Temos, apenas para dar um exemplo, só um acelerador de partículas em funcionamento, e equipamento informático sobredimensionado em termos relativos. A aquisição deste tipo de equipamento deve portanto ser criteriosa e prudente, sempre que possível suplementada ou substituída pelo desenvolvimento local em hardware e software, e muito principalmente acompanhar, e não liderar, os processos de implementação de outros equipamentos destinados à Física Experimental, o que aliás está de acordo com o conhecido carácter auxiliar da Electrónica em relação às outras ciências.

Utilização de Microcomputadores da gama mais baixa em Instrumentação

GASPAR P. FERREIRA (*)

Centro de Física Nuclear da Universidade de Lisboa

1. Os problemas da instrumentação electrónica

Os problemas da instrumentação electrónica têm vindo, no nosso país, a tornar-se cada vez mais complexos, por força da evolução tecnológica e do crescimento do parque instrumental. Tal facto torna desejável uma reflexão que é conveniente não adiar.

Podem dividir-se tais problemas em três grupos — manutenção, interfaciamento e projecto — que passaremos a analisar.

1.1. Manutenção

O parque instrumental electrónico acumulado pelos Centros do INIC, só no que respeita à Física, pode estimar-se em largas centenas de milhar de contos. O simples valor desta verba permite fazer o seguinte cálculo: se para todo o equipamento se recorrer aos serviços de manutenção dos fornecedores, e tendo em conta que o encargo anual dos

contratos de manutenção oscila entre os 10 e os 20 % do valor do equipamento assistido, tal encargo, a ser assumido, representaria uma verba superior a cem mil contos anuais. Para a maioria dos Centros de Física ela, só por si, superaria a dotação normal de investimento. Esta é, em parte, a razão porque mais de 95 % deste parque não está coberto por contratos de manutenção. Outra razão é que as casas comerciais que vendem equipamento científico no nosso país não estão em condições técnicas de assegurar este serviço (mesmo quando pretendem que o estão). Assim, aquando de uma avaria, os Centros só podem escolher entre as seguintes alternativas:

— Recurso à empresa que produziu o equipamento, quer reenviando-o para reparação, quer fazendo deslocar ao país um técnico. Tal

(*) Comunicação convidada, 4.^a Conferência Nacional de Física, FÍSICA 84, Évora (Abril 84).

reparação não é eficiente, leva à não utilização do equipamento por períodos que podem chegar a um ano, e por vezes é desaconselhável por ficar mais onerosa que o valor do equipamento.

— Recurso à reparação «em casa», muitas vezes impossível por os Centros não disporem dos meios humanos e técnicos necessários. Recorde-se que em Portugal não tem existido nenhuma licenciatura em Instrumentação.

— Substituição do equipamento avariado por novo equipamento e, neste caso, uma avaria grave significa a perda do equipamento.

1.2. Interfaciamento

Frequentemente a montagem de um qualquer sistema experimental envolve o interfaciamento de diversas unidades. Por critérios de lucro a indústria vem adoptando crescentemente a política de oferecer os sistemas centrais a preços relativamente baixos mas impondo para o seu interfaciamento, periferia e eventuais expansões preços proibitivos. Por via de regra a indústria interfacia os seus sistemas aos periféricos mais caros que encontra no mercado revendendo-os aos compradores dos seus sistemas. Tipicamente a indústria fornecerá uma unidade de impressão de dados nunca por menos de 400 contos quando o mesmo trabalho pode ser efectuado, frequentemente, sem nenhuma modificação da unidade central, por cerca de 50 contos.

Por outro lado, a autonomia na realização de interfaces permitiria a utilização partilhada de periféricos caros por vários sistemas centrais, bem como a utilização de equipamentos frequentemente já existentes nos laboratórios e eventualmente sem aplicação.

1.3. Projecto

Pode estimar-se como irrisório no nosso parque instrumental a fracção de equipamento electrónico projectado e desenvolvido no seio dos Centros de investigação para utilização dos próprios Centros. Obstaram a isto, no passado recente, os preços de investimento em instrumentação de desenvolvimento que tornavam proibitivos os custos finais dos projectos, bem como a carência de físicos preparados para a realização dos mesmos.

2. Algumas acções prioritárias

Por todas as razões que se apontaram parece-nos importante que a comunidade dos físicos experimentais em Portugal procure e encontre as formas adequadas para alcançar os seguintes objectivos:

a) Actualizar os físicos em termos da evolução recente da microelectrónica, particularmente da microelectrónica digital, de modo a:

— permitir-lhes manter o passo com a correspondente evolução da instrumentação e habilitá-los a uma escolha criteriosa do seu equipamento;

— acompanhar a tendência sistemática para a digitalização sempre maior dos sistemas e a substituição sempre crescente de técnicas instrumentais analógicas por técnicas instrumentais lógicas.

b) Preparar parte dos físicos para realizarem o interfaciamento dos seus próprios sistemas e eventualmente a sua expansão, nomeadamente dando-lhes informação sobre os sistemas de normalização mais correntes.

c) Alertar e preparar parte dos físicos para as possibilidades, até há pouco insuspeitadas, que a evolução no domínio dos microcomputadores e microprocessadores abre, de projecto e desenvolvimento dos seus próprios sistemas com reduções de custo que podem ir até uma ordem de grandeza em relação aos equipamentos oferecidos pela indústria. Recorde-se que o projecto local resolve automaticamente os problemas de manutenção e interfaciamento do equipamento desenvolvido.

d) Finalmente — objectivo central — contribuir para tornar cada Centro menos dependente de serviços externos caros, difíceis e morosos, e realizar uma poupança apreciável quer no volume de verbas investidas quer no dispêndio de divisas.

3. Microprocessadores e instrumentação

A partir da segunda metade da década de 70 os microprocessadores começaram a entrar de modo crescente na instrumentação electró-

nica em Física. A possibilidade de substituir circuitos complexos e de elevado número de componentes («random logic») por circuitos com pequeno número de componentes sob comando de programa executado por microprocessador («programmed logic») facilitou a tarefa dos projectistas, tornou os sistemas mais maleáveis, redefiníveis por simples mudança de programa, bem como permitiu a produção de equipamento electrónico capaz de operações muito complexas a preços relativamente baixos.

Todavia o projecto e desenvolvimento de equipamento baseado em microprocessadores, sendo embora conceptualmente simples, exigia, no virar da década de 70 para 80, um investimento relativamente pesado (sistemas de desenvolvimento, analisadores de estado lógico, etc.) fora do alcance dos pequenos laboratórios e impunha tempos de projecto e desenvolvimento relativamente longos.

A explosão que teve lugar no mercado dos microcomputadores de gama mais baixa no início da década de 80 veio abrir, neste domínio, perspectivas insuspeitadas. De facto, grande parte dos microcomputadores destinados ao grande público dos amadores de jogos programados são efectivamente unidades de computação completas (CPU, memória, visualização, sistema de operação, etc.) com preços muito baixos. Para alguns deles o mercado propõe mesmo uma vasta gama de «software» (compiladores de linguagens estruturadas, assembladores-desassembladores, etc.) bem como extensa literatura. Deste modo se torna possível, mesmo no âmbito de um pequeno laboratório ou centro de investigação, o desenvolvimento e a produção «home made» de instrumentação complexa até agora impensável e isto com custos tipicamente uma ordem de grandeza abaixo dos preços equivalentes do mercado profissional de instrumentação.

4. A experiência do CFNUL

O Centro de Física Nuclear da Universidade de Lisboa (CFNUL) dispõe de um considerável parque de instrumentação essencialmente constituído por electrónica nuclear de

norma NIM, analisadores multicanal, detectores de radiação α , β e γ e outro equipamento avulso.

Praticamente a totalidade deste material vem sendo assistido, há mais de 10 anos, no interior do Centro, que para tanto veio desenvolvendo um pequeno laboratório de electrónica. Tem sido igualmente política do CFNUL o desenvolvimento local de interfaces recorrendo, neste domínio, sempre menos às interfaces oferecidas pela indústria.

Nos últimos anos iniciou o projecto e desenvolvimento de equipamento próprio e admite vir a tornar-se progressivamente independente de equipamento adquirido no mercado externo, nomeadamente no que se refere a unidades electrónicas de dominante lógica, incluindo analisadores multicanal.

Neste contexto, a partir de 1980, com a entrada no laboratório dos primeiros equipamentos baseados em microprocessadores, estes têm merecido uma atenção crescente do CFNUL. Tem-se investigado a possibilidade de desenvolver equipamento complexo em torno de microcomputadores caseiros de baixo custo e os primeiros projectos já realizados têm sido altamente encorajadores. Um deles foi objecto de comunicação recente [1]. Estão igualmente em desenvolvimento projectos de analisadores multicanal, sendo um deles [2] destinado ao prosseguimento de trabalho que neste Centro se vem desenvolvendo em colaboração com o CERN, bem como analisadores multicanal para associar a espectrómetros de Mössbauer, que também vêm sendo projectados e montados no CFNUL.

Os primeiros sistemas por nós projectados basearam-se no microcomputador caseiro Sinclair Spectrum, por razões de preço, disponibilidade de informação, variedade e qualidade do software disponível, bem como por se basear num microprocessador (Z80) com razoável apoio no mercado de componentes nacional.

A filosofia geral adoptada para a abordagem de um projecto concreto tem sido sempre a de começar por configurar o microcomputador alvo como sistema de desenvolvimento que progressivamente vai sendo absor-

vido como componente integrada no sistema final. Deste modo, o CFNUL não realizou até agora qualquer dispêndio na aquisição de sistemas e instrumentos de desenvolvimento autónomos evitando, deste modo, um investimento de largos milhares de contos.

Esta filosofia parece-nos facilmente transferível para qualquer pequeno centro de investigação experimental, exigindo só que os centros disponham de, pelo menos, um físico vocacionado para a instrumentação e convenientemente preparado em electrónica lógica e microprocessadores.

O CFNUL considera neste momento a hipótese de mudar de microprocessador alvo para o 6809 da Motorola por vir a dispor, em tempo próximo (Setembro de 1984), de todo o software cruzado de desenvolvimento criado no CERN para este microprocessador e a instalar no computador VAX, existente no Complexo II do INIC. O mercado dispõe também de um microcomputador caseiro de baixo preço baseado neste microprocessador, que em alguns aspectos (mecânico, hardware, etc.) apresenta vantagens sobre o Sinclair Spectrum. Existe todavia o problema de o mercado de componentes nacional não oferecer apoio fácil a este microprocessador.

Finalmente, uma palavra sobre custos. Já se disse que os custos em equipamento sofisticado de desenvolvimento são nulos. O laboratório de apoio é, essencialmente o laboratório de electrónica com o equipamento habitual. O único investimento específico necessário é o da colecção de componentes. Quanto aos custos de desenvolvimento local dos projectos, temos constatado que estes confirmam a regra de serem uma ordem de grandeza abaixo dos do equipamento oferecido pela indústria.

REFERÊNCIAS

- [1] M. R. SILVA, G. FERREIRA, A. A. MELO — «Automatização de um goniómetro de dois eixos para experiências de canalização iónica», *FÍSICA 84, Comunicação 133*, Évora, 1984.
- [2] G. FERREIRA, J. M. GAGO, F. B. GIL, A. MAIO, M. PIMENTA, J. VARELA, P. SONDEREGGER, D. PERRIN — «Utilização de fibras ópticas cintilantes em calorimetria electromagnética», *FÍSICA 84, Comunicação 129*, Évora, 1984.

«Workshop» MICROPROCESSADORES E INSTRUMENTAÇÃO EM FÍSICA EXPERIMENTAL

Decorrerá em Lisboa, no Complexo II do INIC, de 15 de Abril a 11 de Maio de 1985, este importante curso, organizado pelo Centro Internacional de Física Teórica (ICTP, Trieste) e pelo Centro de Física Nuclear da Universidade de Lisboa.

A iniciativa é apoiada pelo Instituto Nacional de Investigação Científica, United Nations University (Tóquio, Japão), CERN (Genebra, Suíça), Università Degli Studi di Udine (Udine, Itália), Sociedade Portuguesa de Física, Departamento de Física do Instituto Superior Técnico e Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

As lições teóricas estarão a cargo de Rinus Verkerk, Wolfgang von Rüden, Alessandro Marchioro, Ian Barnett (todos do CERN), Flavio Waldner (Univ. Udine), José Casaca (INESC) e Gaspar P. Pereira (CFNUL, director do curso). O curso inclui numerosas sessões laboratoriais, utilizando equipamento do Complexo II bem como equipamento cedido pelo ICTP e pelo CERN. Foi decidido centrar todo o curso num só microprocessador (6809, Motorola).

A taxa de participação é 20.000\$00.

O PRÉMIO NOBEL DE FÍSICA - 1984

No passado dia 17 de Outubro de 1984, a Academia de Ciências Sueca decidiu atribuir o prémio Nobel - 1984 a Carlo Rubia e Simon van der Meer «pelas suas contribuições decisivas para o grande projecto que conduziu à descoberta das partículas W e Z, intermediárias da interacção fraca». Sem dúvida a atribuição do Nobel premeia, também, a vasta equipa do CERN, um exemplo invulgar de bem sucedida colaboração internacional. A *Gazeta de Física* publicará no próximo fascículo, um artigo de J. Mariano Gago sobre a «A descoberta do W e do Z».

P. A. M. DIRAC, 1902-1984

Com a morte de Dirac, ocorrida a 20 de Outubro de 1984, desaparece mais um dos grandes nomes da Física do século XX.

Licenciado em engenharia electrotécnica pela Universidade de Bristol, cidade onde nascera em 1902, Paul Adrien Maurice Dirac obtém depois um doutoramento em Física Teórica na Universidade de Cambridge (1926). Inicia, assim, uma actividade notável, que o leva à eleição como Fellow of the Royal Society (1930), a professor da Universidade de Cambridge (1932)



P. A. M. DIRAC, no início dos anos setenta.

e à cosagração do Prémio Nobel de Física partilhado com Schrödinger (1933).

O seu nome está ligado à equação de onda relativista, que «continha» o spin e momento magnético do electrão; ao conceito de anti-partícula, logo confirmado com a descoberta do positrão; à estatística de campos e partículas; a estudos de ondas de gravitação; à previsão de monopolos magnéticos; etc., etc. Sob outro aspecto, pode dizer-se que há décadas que a sua obra «Principles of Quantum Mechanics», publicada pela primeira vez em 1930, é leitura obrigatória de qualquer aspirante a físico teórico.

Os que conheceram de perto Dirac

não deixaram nunca de sublinhar, para além do rigor do seu raciocínio e argumentação, a sua modéstia e invulgares qualidades humanas, marcadas por uma grande simplicidade.

A Gazeta de Física presta uma homenagem singela à memória de Dirac, publicando a tradução () duma palestra proferida em 1971, por ocasião da entrega do prémio J. R. Oppenheimer.*

«Gostaria de vos falar, em termos gerais, do meu trabalho científico; penso que numa ocasião destas a minha exposição não deve ter carácter técnico. Orientarei a minha palestra de um modo diferente, procurando dar uma ideia do que sente um investigador quando se crê prestes a alcançar um resultado importante, que teria grande impacto no desenvolvimento da Física. Poder-se-ia imaginar que um bom investigador avaliaria a situação com toda a calma, numa atitude lógica, desenvolvendo dum modo totalmente racional as ideias que lhe ocorressem.

A verdade é bem diferente. O investigador não passa de um ser humano e se tem grandes

esperanças tem também grandes receios. Assim, o caminho que percorre é fortemente perturbado, não sendo capaz de evitar que a sua atenção se afaste da via logicamente correcta.

Falarei principalmente da minha experiência pessoal; mas trocas de impressões com outros físicos, alguns muito eminentes, convencem-me que o que vou dizer é uma regra geral, aplicável a todos os investigadores dos fundamentos das teorias físicas. Estes são influenciados pelos seus receios por vezes de um modo determinante.

(*) Solicitada autorização a Gordon and Breach, Science Publishers, Inc.

Presumo que receios semelhantes existiram em outros casos para os quais não existem provas directas. Como exemplo, gostaria de citar, em especial, o caso de Lorentz. Qualquer pessoa que tenha estudado relatividade ter-se-á interrogado por que razão, tendo Lorentz obtido todas as equações básicas necessárias ao estabelecimento da relatividade do espaço e tempo, não conseguiu dar o último passo, obtendo a teoria da relatividade. Realizou todo o trabalho — todos os resultados matemáticos necessários — mas não conseguiu ir mais além; porquê? Suponho que foi impedido pelos seus receios, por um certo tipo de inibição. Teve verdadeiro medo de se aventurar por um caminho inteiramente novo, pondo em causa ideias aceites desde há séculos. Preferiu conservar-se no terreno sólido da sua matemática. Enquanto o fizesse a sua posição seria inatacável; indo mais além não sabia que críticas despertaria.

Foram necessários vários anos e a audácia de Einstein para dar o necessário passo em frente, afirmando a ligação entre espaço e tempo. O que hoje nos parece um pequeno passo em frente era algo de muito difícil naqueles dias. O que acabo de dizer é apenas uma conjectura, mas parece-me que não se deve afastar da verdade. Não encontro qualquer outra explicação para, tendo chegado tão perto de uma grande descoberta, falhar no último passo.

Consideremos agora o desenvolvimento da Mecânica Quântica, iniciado com uma ideia brilhante de Heisenberg. A sua ideia era construir uma teoria à custa de grandezas fornecidas pela experiência em vez de a desenvolver, como até então, a partir de um modelo do átomo em que intervinham muitas grandezas não observáveis. Com esta ideia brilhante Heisenberg dava início, efectivamente, a uma nova «filosofia», segundo a qual a Física não deveria afastar-se dos dados experimentais, enveredando pelo uso de grandezas só muito remotamente associadas com a observação. Esta ideia foi maravilhosa e, ao considerar os diversos dados da experiência relativos a espectros atómicos, Heisenberg foi conduzido

a matrizes; foi assim levado a considerar que tais matrizes representavam grandezas físicas relativas ao átomo, tais como coordenadas ou quantidades de movimento. Em breve Heisenberg notou que as suas grandezas físicas não possuíam a propriedade comutativa da multiplicação, $A \times B \neq B \times A$.

Quando Heisenberg se deu conta ficou alarmado. Era uma situação estranha. Os físicos sempre tinham considerado que as variáveis por si usadas verificavam as leis habituais da álgebra. Era «inconcebível» que o resultado do produto de duas entidades físicas dependesse da ordem dos factores. Heisenberg ficou perturbado, receoso que houvesse algum erro de base na sua teoria: a bela ideia inicial teria de ser posta de parte.

Tendo recebido cópia do trabalho de Heisenberg um pouco antes da sua efectiva publicação e tendo-o estudado vi, ao cabo de uma ou duas semanas, que a não-comutatividade era, na realidade, o ponto essencial da nova teoria. Era, de facto, mais importante do que a ideia de construir a teoria à custa de grandezas estreitamente ligadas com os resultados experimentais. Fui assim levado a concentrar-me na ideia de não-comutatividade e a tentar ver como a dinâmica até então usada por todos nós teria de ser modificada para incorporar a não-comutatividade.

Nesta fase eu tinha uma vantagem sobre Heisenberg: não tinha os seus receios. Se a teoria de Heisenberg se desmoronasse isso não me afectaria na medida em que o atingiria a ele; não implicaria que *eu* teria de recomeçar desde o princípio.

Creio ser uma regra geral que o responsável por uma ideia nova não é a pessoa mais indicada para a desenvolver; os seus receios de que algo falhe são demasiado grandes, impedindo-o de abordar o assunto com a objectividade recomendável.

Eu tinha, assim, aquela vantagem sobre Heisenberg. Mas também tinha outras vantagens importantes. Na altura era um estudante pós-graduado, sem qualquer dever que não fosse fazer investigação. Tive a sorte de nascer na boa altura; alguns anos a mais ou a menos

e teria perdido a oportunidade. Mas tudo parecia jogar a meu favor.

Quanto ao problema de modificar a dinâmica clássica de modo a incorporar a não-comutatividade eu conhecia a teoria de Bohr-Sommerfeld — a teoria das órbitas atômicas — que se sabia ter uma ligação directa com uma formulação da Mecânica devida a Hamilton e conhecida havia perto de um século. Descobriu-se que a formulação de Hamilton era justamente a mais adequada para incorporar a não-comutatividade, não sendo difícil achar como conjugar estas duas ideias.

Trabalhava eu neste assunto de modo totalmente independente, após ter tido conhecimento da ideia inicial. Heisenberg colaborava com outras pessoas, em Göttingen, nomeadamente o seu Professor, Max Born, e um jovem estudante pós-graduado, Jordan; creio que estes o auxiliaram imenso a ultrapassar os seus receios. Como consequência, a escola de Göttingen também desenvolveu rapidamente as ideias básicas da Mecânica Quântica. Publicamos os nossos trabalhos de modo independente e quase simultaneamente. Examinando esses artigos iniciais notar-se-á uma apreciável diferença de estilo, pois no meu trabalho a ideia dominante era a não-comutatividade. Para a escola de Göttingen a ideia dominante era o uso de quantidades directamente relacionadas com os resultados experimentais, aparecendo a não-comutatividade como um resultado secundário. No entanto, apesar dos pontos de vista diferentes, não havia qualquer discrepância e obtinhamos, no essencial, os mesmos resultados.

Existia uma outra formulação da Mecânica Quântica, descoberta independentemente por Schrödinger. Este prosseguia segundo ideias diferentes, encontrando também as suas dificuldades. As suas ideias tinham como ponto de partida uma relação notável entre ondas e partículas, descoberta pouco tempo antes por de Broglie. A relação de de Broglie era de uma grande beleza matemática, estando de acordo com a teoria da relatividade. Era bem misteriosa; mas a sua beleza matemática levava a pensar que existiria uma relação essencial

entre as ondas e partículas do seu tratamento matemático.

A relação de de Broglie era aplicável apenas a electrões livres e Schrödinger encarou o problema de a modificar para a tornar aplicável a electrões num campo, nomeadamente aos electrões atômicos. Após algum trabalho, Schrödinger conseguiu obter uma equação, de grande simplicidade e beleza, que parecia correcta. No entanto era necessário aplicá-la para ver se, na prática, resultaria. Aplicou-a ao caso do electrão do átomo de hidrogénio e calculou o correspondente espectro; o resultado não concordava com os dados experimentais. Foi uma grande decepção para Schrödinger. Um investigador, prestes a alcançar algo, via concretizar-se os seus piores receios: uma teoria tão bela, tão promissora, mas que, na prática, não resultava!

O que fez Schrödinger? Ficou tristíssimo. Segundo me contou, abandonou o problema durante alguns meses. Depois, após ter recuperado um pouco da sua depressão, voltou ao trabalho e notou que se aplicasse as suas ideias com menor rigor, ignorando efeitos relativistas, a teoria passava a estar de acordo com a observação. Publicou então o seu estudo na forma menos rigorosa, conseguindo provar a sua concordância com a observação.

Estabeleceu, assim, uma formulação alternativa da Mecânica Quântica. Os investigadores interessados em breve descobriram a sua equivalência à formulação iniciada por Heisenberg. Tratava-se de dois aspectos da mesma teoria, a nossa actual Mecânica Quântica.

Na realidade foi um excesso de timidez que levou Schrödinger a abandonar a sua equação relativista, que não estava de acordo com as observações do espectro do hidrogénio. A equação foi redescoberta, pouco tempo depois, por Klein e Gordon, que a publicaram apesar do desacordo com a observação. O insucesso da equação inicial de Schrödinger resultava de não ter em consideração o *spin* do electrão, então desconhecido. Havia alguns indícios, ainda vagos, fornecidos pela experiência; provavelmente não eram conhecidos de Schrödinger.

Klein e Gordon publicaram a equação relativista que era, na realidade, a mesma

equação a que Schrödinger chegara anteriormente. A única contribuição de Klein e Gordon, sob este aspecto, foi terem a ousadia de não se deixarem perturbar pela falta de acordo com as observações. Assim a equação é conhecida como equação de Klein-Gordon, apesar de ter sido descoberta, um ou dois anos antes, por Schrödinger. A equação tem algum interesse na descrição de partículas sem *spin*, mas não é, de todo, aplicável ao electrão.

Assim começou a Mecânica Quântica. Possuíamos uma teoria matemática bem definida e as pessoas foram depois, gradualmente, levadas a encontrar a interpretação das equações. Tinha de ser uma interpretação estatística. Muita gente se lançou à tarefa; os problemas não eram, na realidade, muito difíceis, uma vez firmemente estabelecido o ponto de partida.

Só quando se considerava correcções de natureza relativista surgiam dificuldades sérias. Como afirmei, a equação de Schrödinger só era válida na aproximação não-relativista. Ao tentar usar a equação relativista de Klein e Gordon não só se obtinha desacordo com a experiência como se tinha, igualmente, desacordo com a interpretação lógica da equação. Aplicando as regras que tinham sido estabelecidas para a Mecânica Quântica parecia que a equação de Klein-Gordon conduzia a probabilidades negativas — um resultado obviamente absurdo.

Havia necessidade de modificar a equação de Klein-Gordon. Ponderei o problema durante algum tempo e acabei por imaginar outra equação que ultrapassava a dificuldade lógica das probabilidades negativas. Em breve vi que a nova equação continha correctamente o *spin* e o momento magnético do electrão; o que era excelente.

Surgiu então a pergunta, será que explica correctamente o espectro do hidrogénio? Fiz o correspondente cálculo, considerando as correcções relativistas apenas em primeira ordem, e obtive acordo com os resultados experimentais (no mesmo grau de aproximação). O que seria então natural fazer seria examinar ordens superiores e verificar se o

acordo com a experiência se mantinha. Mas não fiz tal; simplesmente porque tive medo. Receava que não houvesse acordo. Quiçá haveria que abandonar a ideia base se não houvesse acordo e eu simplesmente não conseguia enfrentar tal perspectiva. De modo que escrevi apressadamente um artigo contendo a aproximação de primeira ordem e mostrando que, pelo menos até essa ordem, havia acordo entre teoria e observação. Desse modo eu garantia um certo sucesso, embora limitado, algo independente do que o futuro pudesse trazer. Viria a ser Darwin quem preencheria a lacuna que eu deixara. É claro que Darwin podia abordar o assunto sem os meus receios. Realizados os cálculos e encontrado acordo, foi com grande alívio que recebi a notícia.

Se examinarem o meu primeiro artigo sobre este assunto (suponho que hoje em dia ninguém faz isso, salvo os que se dedicam à história da ciência) há algo que não deixarão de notar. Uma equação que escrevi contém a seguinte combinação de termos

$$w^2/c^2 + p_1^2 + p_2^2 + p_3^2$$

Qualquer pessoa minimamente informada dirá que algo está errado: deveria haver sinais menos nos vários *p*'s. Houve um erro de impressão, concluirão. Mas um erro tão evidente só uma pessoa muito descuidada o poderia deixar passar; e eu era muito cuidadoso com tais coisas, naqueles tempos.

A explicação é que não se trata de um erro de impressão; a forma da equação exprime, de novo, um receio. O trabalho foi feito nos anos vinte, quando as ideias da relatividade ainda eram recentes. Não tinham tido grande impacto no mundo científico até ao fim da primeira guerra mundial; nessa altura o impacto foi enorme. Toda a gente falava de relatividade, não apenas os cientistas mas também filósofos e jornalistas. Creio que nunca houve na história da ciência uma ocasião em que uma ideia tenha despertado o interesse do grande público como aconteceu com a relatividade naqueles tempos, marcados pelo alívio associado ao findar de uma guerra.

A ideia básica da relatividade era uma «simetria» entre espaço e tempo. Mas essa «simetria» não chega a ser uma simetria completa. Para a tornar perfeita é necessário mudar alguns sinais; isso pode conseguir-se introduzindo $i = \sqrt{-1}$ em certas grandezas físicas (sempre que se tem um quadrivector é necessário usar $\sqrt{-1}$ em algumas componentes). Quando se utiliza quantidades modificadas dessa maneira tem-se «simetria» completa entre espaço e tempo. Os primeiros relativistas estavam marcados por essa simetria entre espaço e tempo, que queriam manter patente a qualquer preço. Assim, usava-se frequentemente a notação envolvendo $\sqrt{-1}$ para obter «simetria» completa, resultando expressões como a referida. Era uma notação corrente; verifico, pelas minhas notas, que a usava constantemente. Era tão corrente que as pessoas não se davam ao trabalho de explicar; sempre que a usavam consideravam isso como subentendido. Podia ver-se, a partir dos sinais, se $\sqrt{-1}$ devia ou não ser associado às coordenadas, sem necessidade de gastar tempo a explicar. Assim o que hoje — quando não é sentida a necessidade de preservar a «simetria» do espaço e tempo — parece um erro de impressão, não era um erro mas uma consequência do modo como a relatividade se desenvolvera.

Como prosseguiu o desenvolvimento da teoria quântica? Dispunha-se de uma equação relativista que conduzia, no caso simples do átomo de hidrogénio, a um excelente acordo com a experiência. Mas não tardou muito que surgisse nova dificuldade: de acordo com a equação, o electrão teria estados de energia negativa. Claro está que isso se afigurava de todo impossível; e, por certo, nunca observado experimentalmente. Parecia que se resolvera uma dificuldade para cair noutra.

Acontece muitas vezes na evolução da ciência que, ao resolver uma dificuldade, se encontra de imediato nova dificuldade, a ponto de, à primeira vista, se poder pensar que não houve qualquer progresso. Mas houve, pois a nova dificuldade situa-se num plano mais recuado. Uma reflexão cuidadosa permite, em geral, ver

que a «nova» dificuldade sempre existira. Simplesmente estava, até então, encoberta por uma dificuldade mais grosseira; quando esta é resolvida, as pessoas passam a concentrar a atenção na «nova» dificuldade.

Quando surgiu a dificuldade dos estados de energia negativa tratava-se de um exemplo de dificuldade que não era verdadeiramente nova; sempre estivera presente. A dificuldade ocorre em qualquer teoria relativista, mesmo na teoria clássica de Lorentz. Porém isso não tinha qualquer importância pois um electrão não podia ter uma transição para um estado de energia negativa. Existia continuidade, que não permitia tais transições. Mas numa teoria quântica essas transições eram possíveis e a dificuldade não podia ser ignorada como anteriormente.

Descobri que não era, na verdade, muito difícil evitar a dificuldade. A solução foi sugerida pela teoria da valência em que é bem conhecida a ideia de electrões formarem «camadas» completas, sem qualquer contribuição para a valência. Tem-se contribuição de um electrão fora das camadas completas, bem como contribuição de uma camada incompleta ou seja uma lacuna numa camada completa.

Podia-se aplicar a mesma ideia aos estados de energia negativa, admitindo que todos esses estados estivessem normalmente ocupados, tal como as camadas completas de um átomo estão preenchidas. Assim, um electrão ordinário, de energia positiva, não poderia fazer uma transição para um estado de energia negativa. Contudo seria de esperar que, em certas condições, pudesse existir uma lacuna nos estados de energia negativa; sendo necessário achar uma interpretação para tais lacunas.

Vê-se imediatamente que uma tal lacuna se comportará como uma partícula, com carga e massa positiva. Quando me ocorreu esta ideia pareceu-me, desde o início, que existiria simetria entre lacunas e electrões, devendo as lacunas ter a mesma massa que os electrões. Como interpretar então as lacunas? Seriam partículas com carga positiva. As únicas partículas de carga positiva então conhecidas eram os prótons. Havia décadas que os físicos

vinham construindo a teoria da matéria à custa de electrões e protões, bastando-lhes duas e só duas partículas fundamentais. Os electrões tinham carga negativa, os protões carga positiva; era o suficiente. Rutherford avançara a conjectura que poderia existir uma terceira partícula, o neutrão. Mas era apenas uma conjectura, de que por vezes se falava mas que ninguém tomava muito a sério.

Nessa base — as únicas partículas na Natureza eram electrões e protões — parecia-me que as lacunas tinham de ser os protões. Mas isso era preocupante, pois os protões tem uma massa muito superior aos electrões. Como explicar tal diferença de massa?

Durante algum tempo esforcei-me por encontrar uma explicação. Esperava que talvez as forças de Coulomb entre os electrões pudessem conduzir a uma relação entre todos os electrões em estados de energia negativa, originando uma diferença de massa; se bem que não antevisse como isso podia acontecer. Mesmo assim, pensei que a ideia básica podia ter interesse, de modo que publiquei-a como uma teoria de electrões e protões, deixando por explicar como podiam os protões ter uma massa tão diferente dos electrões.

A ideia foi aproveitada por Herman Weyl. Ousadamente, afirmou que as lacunas tinham que ter uma massa igual à dos electrões. Acontece que Weyl era um matemático, estando muito longe de ser um físico. Apenas o interessavam as consequências matemáticas de uma ideia, deduzindo o que podia ser obtido a partir das várias simetrias. Ora esta abordagem matemática conduzia directamente à conclusão que lacunas e electrões tinham a mesma massa. Weyl publicou a conclusão sem quaisquer comentários quanto às implicações do ponto de vista físico. Provavelmente isso não o interessava de todo; o seu objectivo era unicamente ter coerência do ponto de vista matemático.

Nesta altura teve lugar uma contribuição de Oppenheimer. Aceitou a conclusão de Weyl de que lacunas tinham de ter massa igual à dos electrões e encarou de frente o facto de que as lacunas não eram observadas na prática.

Oppenheimer afirmava que havia alguma razão, que não compreendíamos, impeditiva da observação das lacunas. Concordava que as lacunas nada tinham a ver com protões, devendo haver alguma razão «misteriosa» para a sua não ocorrência na Natureza.

Na realidade, com esta sua hipótese, Oppenheimer ficara bem perto da verdade. A razão por que as lacunas não eram observadas era simplesmente por os experimentadores não as procurarem no local certo ou por, tendo-o feito, não terem reconhecido o que viam.

Recordo-me de, nesses tempos recuados, mesmo antes da teoria de electrões e protões, conversar com colegas que, no Cavendish Laboratory, observavam «rastos» de partículas em campos magnéticos; diziam eles que, por vezes, observavam um electrão que «entrava» na fonte (radioactiva). Consideravam tais ocorrências como casualidades. Ninguém pensava que valeria a pena examiná-las com mais atenção. A ideia de existir uma nova partícula emitida pela fonte, em vez de um electrão ordinário «entrando» na fonte, não se harmonizava com as atitudes mentais de então. Creio que ninguém tinha a mais remota ideia que tal pudesse acontecer. Tinham à sua frente comprovação experimental da existência das novas partículas de carga positiva e massa igual à do electrão, mas não conseguiam interpretar o que viam.

Foram necessários alguns anos de progresso na experimentação para ser possível comprovar a existência dos positrões. Blackett foi o primeiro a obter evidência concreta da existência do positrão, mas teve receio de publicar. Queria uma confirmação; tendo sido, na realidade, cauteloso em excesso. Viria a ser Anderson o primeiro a publicar resultados e a ser reconhecido como o descobridor do positrão.

Quando se recorda aqueles tempos, chama a atenção a relutância das pessoas em postular a existência de uma nova partícula; tanto os teóricos como os experimentadores. Só perante evidência directa e irrefutável as pessoas eram forçadas, contra-vontade, a postular uma

nova partícula. O clima mudou totalmente desde esses dias. Presentemente novas partículas são propostas ou postuladas constantemente, em grande número. Há hoje cem ou mais. As pessoas apressam-se a publicar argumentos a favor de uma nova partícula, quer provenham da experiência quer de uma ideia teórica mal-acabada.

Aceitar o positrão foi um primeiro passo bem difícil. Foi seguido de perto pela descoberta do neutrão, confirmando a previsão de Rutherford, feita anos antes; mais tarde foram descobertos o neutrino e vários mesões.

Foi nesses tempos recuados que as bases da Mecânica Quântica foram estabelecidas. Iniciou-se a construção de uma teoria que se revelou excelente para explicar todos os fenómenos atómicos desde que não digam respeito a distâncias muito pequenas ou a energias demasiado altas. Quando se avança nessas direcções encontra-se novas dificuldades, presentindo-se que faltam ainda as ideias básicas que permitirão ultrapassar tais dificuldades.

O trabalho realizado desde o estabelecimento daquelas ideias básicas foi certamente importante, mas deixou de ter o mesmo carácter «fundamental». Foram deduzidas consequências das ideias iniciais e examinados os limites da sua aplicabilidade. As dificuldades resultam de a interacção entre partículas e campos ser demasiado intensa para permitir o desenvolvimento de uma teoria satisfatória. Há necessidade de recorrer a diversos tipos de artifícios para desenvolver os cálculos; as teorias tornam-se, em maior ou menor grau, «mantas-de-retalhos», carecidas de bases sólidas.

Presentemente subsistem dificuldades fundamentais. Para lhes escapar seria necessário alguém como um novo Heisenberg. Os experimentadores continuam a progredir, acumulando dados e desafiando os físicos teóricos a construir teorias que os expliquem.

A minha contribuição pessoal desde aqueles tempos recuados tem sido pouco importante e creio que não é necessário descrever pormenores salvo mencionar que, após a descoberta

do positrão, fui levado a pensar numa nova partícula, o monopolo magnético. Subjacente a um tal monopolo há um tratamento matemático de grande beleza e ficaríamos bem felizes se se viesse a provar que na Natureza existem, de facto, monopolos. Contudo não tenho receios se os monopolos não forem encontrados. Se aquele esquema matemático não for aplicável à Natureza isso não terá qualquer importância, pois é um trabalho autónomo, que pode ser posto de lado sem atingir as ideias principais da teoria quântica.

É ao desafiar as ideias fundamentais que se tem a grande expectativa e os grandes receios de que algo não resulte; uma situação desse tipo não voltou a repetir-se. Poder-se-á chamar aos anos que se seguiram a 1925 a Idade de Ouro da Física — em que as nossas ideias básicas se desenvolviam com grande rapidez e as tarefas chegavam para todos. As limitações das ideias estabelecidas nessa Idade de Ouro tornam-se agora claras e aguardamos com esperança uma nova Idade de Ouro, iniciada por alguma ideia drasticamente nova e conduzindo, mais uma vez, a um período de rápido desenvolvimento, pleno de grandes esperanças e de receios».

Ao leitor interessado pode recomendar-se: P. A. M. Dirac, Theory of electrons and positrons, Nobel Lecture, December 12, 1933 (incluída em Nobel Lectures, Physics, 1922-41, Elsevier Pub. Co., 1965); P. A. M. Dirac, The Evolution of the Physicist's Picture of Nature, Scientific American 208 (5), 45-53, 1963 (incluído em Readings in the Physical Sciences and Technology, vol. 3, 801-810, W. H. Freeman and Co.); P. A. M. Dirac, Methods in Theoretical Physics, Second evening lecture in the series «From a Life of Physics» at the International Symposium on Contemporary Physics, Trieste, 1968 (Special Supplement of IAEA Bulletin, Vienna, 1969); «Aspects of Quantum Theory», editado por A. Salam e E. P. Wigner e dedicado aos 70 anos de Dirac (Cambridge University Press, 1973).

(J. M. ARAÚJO)

As licenciaturas em Física e algumas licenciaturas afins

As Universidades portuguesas oferecem actualmente um número apreciável de licenciaturas em Física ou afins. Todas estas licenciaturas tem planos de estudo organizados no sistema de unidades de crédito e duração de 4 ou 5 anos. O quadro seguinte procura resumir a situação:

Universidade	Licenciatura	Ramo	N. clausus (84/85)	Classif. mínima (84/85)
Aveiro (a)	Física	Física dos Materiais	15	13,5
		Física da Atmosfera		
	Física-Química (Ensino)	—	20	13,5
Coimbra (b)	Física	Científico	60	13,3
		Educacional		
	Eng. ^a Física	Ciência dos Materiais	20	13,5
		Instrumentação		
Évora (c)	Física-Química (Ensino)	—	30	13,5
Lisboa (d)	Física	—	70	13,8
	Ciências Geofísicas	—		
	Física Tecnológica	—		
	Ensino da Física	—		
Minho (e)	Física-Química (Ensino)	—	25	13,5
Nova de Lisboa (f)	Eng. ^a Física e dos Materiais	Engenharia Física	30	14,0
		Engenharia dos Materiais		
Porto (g)	Física	Estado Sólido e Ciência dos Materiais	50	13,5
		Óptica e Electrónica		
		Educacional		
	Física/Mat. Aplicada	Astronomia	15	15,0
Técnica de Lisboa (h)	Eng. ^a Física Tecnológica	—	—	—

(a) Departamento de Física, U. Aveiro, 3800 AVEIRO (28341/2).

(b) Departamento de Física, Fac. Ciências e Tecnologia, 3000 COIMBRA (23675-23671-29252).

(c) Departamento de Física, Universidade de Évora, 7000 ÉVORA (25572).

(d) Departamento de Física, U. Lisboa, R. Ernesto Vasconcelos, Bloco C1, 1700 LISBOA (7583141).

(e) Laboratório de Física, Univ. do Minho, 4719 BRAGA Codex (27007/8/9).

(f) Departamento de Física, U. Nova de Lisboa, Quinta da Torre 2825 MONTE DA CAPARICA (2955564-2954987-2955299-2955643/4/5).

(g) Laboratório de Física, Fac. Ciências, Praça Gomes Teixeira, 4000 PORTO (310290-317717-317751).

(h) Departamento de Física, I.S.T., Av. Rovisco Pais, 1096 LISBOA Codex (800012).

Neste fascículo da Gazeta de Física procurou-se reunir informação dispersa por numerosas portarias e despachos, dado o seu potencial interesse para docentes e alunos dos anos terminais do secundário. Tentou-se evitar demasiados pormenores tais como escolaridades semanais, número de unidades de crédito, etc : as disciplinas são simplesmente classificadas como anuais (A) ou semestrais (S1 ou S2, de acordo com o semestre). Felizmente, vários Departamentos de Física tem promovido a edição de pequenos desdobráveis alusivos aos seus cursos; indica-se, em cada caso, um contacto para mais informações.

Por razões de espaço, os planos de estudo destinados especificamente à formação de professores serão apresentados no próximo fascículo da Gazeta de Física.

Universidade de Aveiro

Licenciatura em Física

1.º – Análise Matemática I e II (S1, S2)

Álg. Linear e Geom. Analítica (S1)

Introd. aos Conceitos da Física (S1)

Estrutura e Prop. da Matéria (S1)

Mecânica (S2)

Transformações da Matéria (S2)

Técnicas de Análise (S2)

Desenho Técnico (S2)

Inglês I e II/Francês I e II (S1, S2)

2.º – Análise Matemática III (S1)

Electromagnetismo (S1)

Termodin. e Física dos Fluidos (S1)

Introdução à Física Nuclear (S1)

Anál. Numérica e Programação (S2)

Ondas (S2)

Métodos Matemáticos da Física (S2)

Análise de Circuitos (S2)

2 Opções (S1, S2) ⁽¹⁾

3.º – (Ramo Física dos Materiais)

Mecânica Quântica (S1)

Física Estatística (S1)

Física dos Meios Contínuos (S1)

Electrónica I (S1)

Física Atómica e Molecular (S2)

Óptica e Espectroscopia (S2)

Acústica (S2)

Física do Estado Sólido (S2)

2 Opções (S1, S2) ⁽²⁾

4.º – (Ramo Física dos Materiais)

Física dos Semicondutores (S1)

Fís. dos Sólidos Não-Cristalinos (S1)

Análise de Estrutura de Sólidos (S2)

História da Física (S2)

Seminário (A)

2 Opções (S1, S2) ⁽³⁾

3.º – (Ramo Física da Atmosfera)

Física dos Meios Contínuos (S1)

Electrónica I (S1)

Termodinâmica da Atmosfera (S1)

Química da Atmosfera (S1)

Introdução à Física Moderna (S2)

Fundamentos de Hidrologia (S2)

Acústica (S2)

Meteorologia Dinâmica (S2)

Meteorologia Física (S2)

1 Opção (S1) ⁽⁴⁾

4.º – (Ramo Física da Atmosfera)

Oceanografia (S1)

Fís. dos Fenómenos Radiativos (S1)

Instr. e Métodos de Observação (S1)

Física Atómica e Molecular (S2)

Interação Atmosfera-Oceano (S2)

⁽¹⁾ Probabilidades e Estatística, Introdução à Física Estatística, Introdução à Física Moderna, Electroquímica e Química das Soluções (as duas primeiras são indicadas para o ramo Física da Atmosfera).

⁽²⁾ Introdução aos Sistemas de Controlo, Complementos sobre Circuitos e Sinais, Electrónica II, Cristalografia e Difracção, Aplicações da Teoria de Grupos, Complementos do Electromagnetismo.

⁽³⁾ Óptica Quântica, Complementos de Física do Estado Sólido, Ferroelectricidade e Ferroelasticidade, Transições de Fase; Defeitos em Cristais, Complementos de Física de Semicondutores, Complementos de Física dos Sólidos Não-Cristalinos, Magnetismo.

⁽⁴⁾ Introdução aos Sistemas de Controlo, Complementos de Circuitos e Sinais, Introdução à Óptica da Atmosfera, Química das Águas, Química Orgânica, Química Biorgânica, Física do Solo.

Climatologia Geral (S2)
Seminário (A)
2 Opções (S1, S2) ⁽⁶⁾

Universidade de Coimbra

Licenciatura em Física

- 1.º – Análise Matemática I (A)
Física Geral (A)
Álg. Linear e Geomet. Analítica (S1)
Química Geral I e II (S1, S2)
Química Laboratorial (S1)
Física Laboratorial I (S2)
Fundamentos de Física Moderna (S2)
- 2.º – Análise Matemática II (A)
Mecânica Física (S1)
Electromagnetismo I (S1)
Física Laboratorial II (S1)
Computadores e Programação (S1)
Óptica e Fenóm. Ondulatórios (S2)
Term. e Elem. de Mec. Estat. (S2).
Mecânica Quântica I (S2)
Análise de Dados (S2)
- 3.º – Física Atómica e Molecular (S1)
Electrónica (S1)
Electromagnetismo II (S1)
Física Laboratorial III e IV (S1, S2)
Mecânica Quântica II e III (S1, S2)
Física Subatómica (S2)
Física do Estado Sólido (S2)
Mecânica dos Meios Contínuos (S2)
- 4.º – Comp. de Fís. do Estado Sólido (S1)
Comp. de Fís. Atóm. e Molecular (S1)
Comp. de Física Nuclear (S2)
Comp. de Mecânica Quântica
ou Fís. Aplic. e Computação (S2)
3 disciplinas de opção (S1, S1, S2)

Universidade de Coimbra

Licenciatura em Engenharia Física

- 1.º – Idêntico ao da Lic. em Física, mais
Desenho e Métodos Gráficos (A)
- 2.º – Idêntico ao da Lic. em Física, mais
Elementos de Química Orgânica (S1)
- 3.º – (Ramo Ciência dos Materiais)
Electromagnetismo II (S1)
Electrónica (S1)
Física Atómica e Molecular (S1)

Física do Estado Sólido (S2)
Física Subatómica (S2)
Mecânica dos Meios Contínuos (S2)
Metalurgia Geral I e II (S1, S2)
Termodinâmica Aplicada (S1)
Materiais Poliméricos (S2)

- 4.º – (Ramo Ciência dos Materiais)
Ciência dos Materiais I e II (S1, S2)
Técnicas de Laborat. I e II (S1, S2)
Electrónica Aplicada (S1)
Transmissão de Calor I (S1)
Tecnologia Mecânica I (S1)
Física Aplicada e Computação (S2)
Óptica Aplicada (S2)
2 Opções (S1, S2) ⁽⁶⁾
- 5.º – (Ramo Ciência dos Materiais)
Ciência dos Mater. III e IV (S1, S2)
Economia I e II (S1, S2)
Projecto (A)
Materiais Cerâmicos e Vidros (S1)
Fiabilidade e Cont. de Qualidade (S2)
Seleção de Materiais (S2)
1 Opção (S1) ⁽⁷⁾
- 3.º – (Ramo Instrumentação)
Física Atómica e Molecular (S1)
Electrónica (S1)
Electromagnetismo II (S1)
Física do Estado Sólido (S2)
Física Subatómica (S2)
Física Laboratorial III e IV (S1, S2)
Óptica Aplicada (S2)
2 Opções (S1, S2) ⁽⁶⁾
- 4.º – (Ramo Instrumentação)
Ciência dos Materiais I e II (S1, S2)

⁽⁵⁾ Poluição Atmosférica, Óptica e Espectroscopia, Complementos de Oceanografia, Fundamentos de Geofísica, Detecção Remota e Fotogeologia, Aquisição e Processamento de Dados Atmosféricos, Química da Baixa Atmosfera, Hidrometeorologia, Energia Solar e Eólica, Física da Alta Atmosfera.

⁽⁶⁾ Cerâmica Industrial I, Mineralogia e Petrologia Gerais, Complementos de Electrónica; Cerâmica Industrial, Geologia Geral, Materiais Eléctricos, Tecnologia Mecânica.

⁽⁷⁾ Tecnologia Mecânica III, Física e Tecnologia do Vazio, Física dos Plasmas, Técnicas Nucleares.

⁽⁸⁾ Métodos Numéricos, Termodinâmica Aplicada, Mecânica dos Fluidos I; Métodos Estatísticos, Métodos Instrumentais de Análise.

- Técnicas de Laborat. I e II (S1, S2)
- Electrónica Aplicada (S1)
- Física Aplicada e Computação (S2)
- Complementos de Electrónica (S1)
- Electrónica Digital (S2)
- 2 Opções (S1, S2) ⁽⁹⁾
- 5.º — (Ramo Instrumentação)
- Economia I e II (S1, S2)
- Projecto (A)
- 5 Opções (3 × S1 + 2 × S2) ⁽¹⁰⁾

Universidade de Lisboa

Licenciatura em Física

- 1.º — História das Ideias em Física (A)
- Cálculo Infinitesimal I e II (S1, S2)
- Álgebra Linear (S1)
- Introdução às Prob. e Estatística (S1)
- Introdução à Fís. Experimental (S1)
- Física Geral I (S2)
- Física Laboratorial I (S2)
- 2.º — Cálculo Infinitesimal III (S1)
- Introdução à Ciência dos Comp. (S1)
- Física Geral II e III (S1, S2)
- Física Laboratorial II e III (S1, S2)
- Mecânica (S2)
- Electrónica (S2)
- 3.º — Métodos Mat. da Física I e II (S1, S2)
- Campo Electromagnético (S1)
- Física Computacional (S2)
- Mecânica Quântica I e II (S1, S2)
- Química para Físicos I e II (S1, S2)
- Instrumentação (S1)
- Física Estatística (S2)
- 4.º — Física Atómica
- Física Nuclear I e II (S1, S2)
- Física do Estado Sólido I e II (S1, S2)
- Relatividade e Cosmologia (S1)
- Física Molecular (S2)
- 3 Opções (S1, S2, S2) ⁽¹¹⁾

Universidade de Lisboa

Licenciatura em Ciências Geofísicas

- 1.º — Idêntico ao da Licenciatura em Física
- 2.º — Idêntico ao da Licenciatura em Física
- 3.º — Métodos Mat. da Física I e II (S1, S2)
- Campo Electromagnético (S1)
- Física Computacional (S2)

- Análise Matemática (S1)
- Termodinâmica e Mecânica Est. (S1)
- Intr. à Fís. dos Amb. I e II (S1, S2)
- Mecânica dos Meios Contínuos (S2)
- Geologia Geral (S2)

- 4.º — Meteorologia I e II (S1, S2)
- Oceanografia I e II (S1, S2)
- Geofísica I e II (S1, S2)
- Hidrologia (S1)
- 3 Opções (S1, S2, S2) ⁽¹²⁾
- 5.º — Estágio profissionalizante e seminário

Universidade de Lisboa

Licenciatura em Física Tecnológica

- 1.º — Idêntico ao da Licenciatura em Física
- 2.º — Idêntico ao da Licenciatura em Física
- 3.º — Técnicas Matemáticas da Física (S1)
- Campo Electromagnético (S1)
- Sistemas Quânticos (S1)
- Instrumentação (S1)
- Química para Físicos I e II (S1, S2)
- Técnicas Espectroscópicas (S2)
- Física Nuclear Aplicada (S2)
- Ciência dos Materiais I (S2)
- Tecnologias do Frio e do Vácuo (S2)
- 4.º — Projecto (A)
- Técnicas Nucleares (S1)
- Ciência dos Materiais II (S1)
- Prep. de Amost. e Cont. de Qual. (S1)
- Óptica Aplicada I e II (S1, S2)

⁽⁹⁾ Complementos de Física Atómica e Molecular, Mineralogia e Petrologia Gerais, Química Física I; Complementos de Física, Geologia Geral, Química Física II.

⁽¹⁰⁾ Física dos Plasmas (S1), Instrumentação Nuclear (S1), Física e Tecnologia do Vazio (S1) Microelectrónica (S1), Organização e Gestão de Empresas (S1), Técnicas Nucleares (S2), Instrumentação Médica (S2), Transdutores (S2), Electrónica Nuclear (S2), Microcomputadores (A), Teoria do Processamento de Sinais (A), Automação e Controlo Industrial (A).

⁽¹¹⁾ Química para Físicos III, Química Teórica; Simetrias e Partículas Elementares, Física Atómica Complementar, Sistemas Dinâmicos, Metrologia.

⁽¹²⁾ Geomagnetismo e Aeronomia, Química para Geofísicos; Climatologia, Prospecção Geofísica, Geodesia para Geofísicos, Interação Oceano-Atmosfera.

- Automatização (S2)
- Acústica Aplicada (S2)
- Energética (S2)
- Técnicas Comp. e da Automat. (S2)
- 5.º — Estágio profissionalizante e seminário

Universidade Nova de Lisboa

Licenciatura em Engenharia Física e dos Materiais

- 1.º — Matemática I e II (S1, S2)
 - Álg. Linear e Geomet. Analítica (S1)
 - Química I e II (S1, S2)
 - Desenho Geral (S1)
 - Int. aos Comp. e Program. (S1 ou 2)
 - Trabalhos Oficiais (S2 ou 1)
 - Física I (S2)
 - Inglês I e II (S1, S2)
- 2.º — Matemática III e IV (S1, S2)
 - Física II e III (S1, S2)
 - Probabilidades e Estatística (S1)
 - Cálculo Numérico (S2)
 - Desenho de Máquinas (S1)
 - Vibrações e Ondas (S2)
 - Int. ao Pens. Contemp. I e II (S1, S2)
 - 2 Opções (S1, S2) ⁽¹³⁾.
- 3.º — (Ramo Engenharia Física)
 - Complementos de Física (S1)
 - Métodos Mat. da Física I e II (S1, S2)
 - Elasticidade e Res. de Materiais (S1)
 - Transmissão do Calor (S1)
 - Desenho Complementar (S1)
 - Física Atómica e Molecular (S2)
 - Física do Estado Sólido I (S2)
 - Electrotecnia Industrial (S2)
 - Termodinâmica Aplicada (S2)
 - Macro-economia e leg. do trab. (S2)
- 4.º — (Ramo Engenharia Física)
 - Física do Estado Sólido II (S1)
 - Física Nuclear (S1)
 - Óptica Aplicada (S1)
 - Teoria dos Sistemas (S1)
 - Electrónica (S1)
 - Economia da Empresa (S1)
 - Tecnologia e Mét. Exp. da Fís. (S2)
 - Fís. do Estado Sólido Aplicada (S2)
 - Automação I (S2)
 - Análise Operacional (S2)
 - Gestão Industrial (S2)

- 5.º — (Ramo Engenharia Física)
 - Instrumentação (S1)
 - Projecto de Equipamento (S1)
 - Automação II (S1)
 - Sociologia Industrial (S1)
 - Estágio e Seminário (S2)
 - Informação e Documentação (S2)
 - Anál. e Ensaio de Mat. e Equip. (S2)
 - 2 Opções (S1, S2) ⁽¹⁴⁾
- 3.º — (Ramo Engenharia de Materiais)
 - Electrões em Cristais (S1)
 - Metalurgia Física e Metalografia (S1)
 - Técnicas Laboratoriais (S1)
 - Mecânica dos Meios Contínuos (S1)
 - Química-Física de Processos (S1)
 - Cristais Líquidos (S2)
 - Materiais Semicondutores (S2)
 - Materiais Cerâmicos e Vidros (S2)
 - Tratam. Térmicos e Mecânicos ((S2)
 - Comp. Mecânico dos Materiais (S2)
- 4.º — (Ramo Engenharia de Materiais)
 - Física dos Polímeros (S1)
 - Micro-electrónica (S1)
 - Metrologia e Normalização (S1)
 - Tecnol. de Cerâmicas e Vidros (S1)
 - Resistência de Materiais (S1)
 - Materiais Poliméricos (S2)
 - Conversão de Energia (S2)
 - Gestão da Qualidade (S2)
 - Degradação e Prot. de Superf. (S2)
 - Prop. Eléct. e Mag. dos Mater. (S2)
- 5.º — (Ramo Engenharia de Materiais)
 - Seminário I e II (S1, S2)
 - Controlo Estatíst. da Qualidade (S1)
 - Macro-economia e Recur. Nat. (S1)
 - Materiais Compósitos (S1)
 - Análise de Valor e Fiabilidade (S2)
 - Soc. do Trab. e Gestão de Emp. (S2)
 - Materiais Diversos (S2)
 - 2 Opções de especialidade (S1, S2)

⁽¹³⁾ Recomendadas para o ramo de Engenharia Física: Mecânica Aplicada, Dinâmica dos Fluidos; idem para o ramo de Engenharia dos Materiais: Cristalografia e Defeitos Cristalinos, Química Física de Sólidos e Superfícies.

⁽¹⁴⁾ Sistemas Microinformáticos, Electro-Acústica, Órgãos de Máquinas, Microelectrónica, Conversão de Energia.

Universidade do Porto

Licenciatura em Física

- 1.º – Cálculo Infinitesimal (A)
Álg. Linear e Geomet. Analítica (A)
Física Experimental (A)
Introdução à Química (A)
- 2.º – Análise Infinitesimal (A)
Electromagnetismo (A)
Mecânica e Fís. dos Meios Cont. (A)
Termodinâmica (S1)
Física Atómica (S2)
- 3.º – Mecânica Quântica (A)
Física Estatística (S1)
Electrónica (S1)
Física das Ondas (S1)
Física do Núcleo e Partículas (S2)
Física do Estado Sólido (S2)
1 Opção (S2) ⁽¹⁵⁾
- 4.º – (Ramo Est. Sól. e Ciência dos Mat.)
Prop. Mec. e Eléct. dos Materiais (A)
Estágio (teórico ou laboratorial) (A)
2 Opções (S1) ⁽¹⁶⁾
Magnetismo (S2)
- 4.º – (Ramo Óptica e Electrónica)
Técnicas de Medida e Instrum. (A)
Lasers e Electrónica Quântica (A)
Complementos de Electrónica (S1)
Seminário (S2)
1 Opção (A) ⁽¹⁷⁾

Universidade do Porto

Lic. interd. Física/Mat. Aplic. (Astronomia)

- 1.º – Cálculo Infinitesimal (A)
Álg. Linear e Geom. Analítica (A)
Física Experimental (A)
Cálculo Automático (S1)
Introdução à Astronomia (S2)
- 2.º – Análise Infinitesimal (A)
Elementos de Anál. Numérica I (S1)
Mecânica (S1)
Termodinâmica (S1)
Probabilidades e Estatística (S2)
Electromagnetismo I (S2)
Física Atómica (S2)
- 3.º – Astronomia I e II (S1, S2)
Mecânica Quântica I (S1)

- Física Estatística (S1)
Electrónica (S1)
Complementos de Matemática (S2)
Electromagnetismo II (S2)
Física do Núcleo e Partículas (S2)
- 4.º – 6 Opções de Ast. (3×S1, 3×S2) ⁽¹⁸⁾
2 Opções de outras áreas (S1, S2)

Universidade Técnica de Lisboa

Licenciatura em Engenharia Física Tecnológica

- 1.º e 2.º – Os dois primeiros anos de qual-
quer das restantes licenciaturas
em Engenharia do I.S.T. (ou
equivalente)
- 3.º – Mecânica Analítica (S1)
Técnicas Mat. da Fís. I e II (S1, S2)
Electrónica I e II (S1, S2)
Física Experimental I e II (S1, S2)
Complementos de Electromag. (S1)
Mecânica Quântica I (S2)
Física Estat. e Termodinâmica (S2)
- 4.º – Mecânica Quântica II (S1)
Física Experimental III e IV (S1, S2)
Electrónica III (S1)
Partículas Elementares (S1)
Física do Estado Sólido (S2)
Ecossistemas e Física da Energia (S2)
Física e Engenharia Nuclear (S2)
2 Opções (S1, S2) ⁽¹⁹⁾
- 5.º – Economia (S1)
Projecto (S1, S2)
4 Opções (2×S1, 2×S2) ⁽²⁰⁾

⁽¹⁵⁾ Computação Aplicada à Física, Métodos Matemáticos da Física, Geofísica.

⁽¹⁶⁾ Metalurgia Física, Propriedades Ópticas dos Materiais, Complementos de Mecânica Quântica, Complementos de Física Estatística.

⁽¹⁷⁾ Circuitos Digitais, Processamento Óptico e Holografia.

⁽¹⁸⁾ Astrometria, Astronomia Extragaláctica e Cosmologia, Estrutura Estelar, Instrumentação Astronómica, Astronomia Dinâmica, Abundâncias e Composição, Astrofísica de Altas Energias, Formação e Evolução Estelar.

⁽¹⁹⁾ Recomendadas Óptica e Espectroscopia (S1), Introdução à Física dos Plasmas (S2).

⁽²⁰⁾ Cf. despacho 4/SA/84, de 15 de Novembro.

Novas Energias, a Escola e a Comunidade

A Universidade do Minho, a Delegação Regional do Norte da SPF e a Sociedade Portuguesa de Energia Solar (Região Norte) organizam, em 21 e 22 de Fevereiro de 1985, um Curso sobre «Novas Energias, a Escola e a Comunidade», que terá lugar em Braga, no Complexo Pedagógico da Universidade do Minho (R. D. Pedro V).

Este curso destina-se especialmente a professores e pessoas ligadas à formação de jovens, sendo os temas apresentados por especialistas. Serão abordados os vários tipos de novas energias—solar, bioenergia, eólica, hídrica—bem como aspectos institucionais da sua utilização. Aspectos científicos e de divulgação das novas energias serão tratados tendo em conta a especificidade do trabalho dos participantes a quem o curso se destina em primeiro lugar.

A SPF passará credenciais de presença aos professores e outros funcionários que o solicitem. A Comissão Organizadora providenciará para que os textos do curso sejam fornecidos aos participantes, podendo também dar apoio logístico, quanto a hospedagem e marcações de hotéis. Proximamente, os sócios da SPF (ZN) e da SPES (RN) serão informados de mais detalhes deste curso, recebendo também os boletins de inscrição.

Informações: Prof. M. Isabel Calado Ferreira, Laboratório de Física, Univ. Minho, 4719 Braga Codex.

Inscrições: 1.200\$00 (800\$00 sócios SPF ou SPES).

Olimpíadas de Física 85/86

Por iniciativa da Delegação Regional de Lisboa, posteriormente convertida em realização de âmbito nacional da SPF, vão ter lugar as primeiras Olimpíadas de Física, com o objectivo de incentivar e desenvolver o gosto pela Física dos alunos do Ensino Secundário. Como consequência dessa realização antevê-se frutuoso contactos entre os professores de Física das várias escolas secundárias.

1. Tipos de provas

Para os alunos do 9.º ano: uma prova teórico-experimental.

Para os alunos do 11.º ano: uma prova teórico-experimental.

Os alunos do 9.º e 11.º ano podem ainda inscrever-se noutra tipo de provas, que constem da apresentação de um trabalho *original* versando um tema de Física. Por exemplo: Elaboração de um programa de computador; peça teatral; apresentação de dispositivos experimentais; painéis; produção de audiovisuais; trabalho escrito.

2. Etapas

As provas realizar-se-ão em três etapas, (de âmbito Local, Regional e Nacional), de acordo com o quadro seguinte.

A responsabilidade financeira da deslocação e estadia é das Escolas Secundárias participantes nas etapas de âmbito Local e Regional, e da Sociedade de Física na etapa de âmbito Nacional.

3. Equipas

Cada equipa participante será constituída por 3 elementos.

Etapas	Local de realização	Data	Planeamento e Orientação
Local	Escolas secundárias participantes	Concluídas até 30 Abril 1985 31 Junho 85	Escola Secundária Participante
Regional	Porto, Lisboa, Coimbra (Escolas a indicar)	2.ª quinzena de Maio 1985 31 Março 86	Delegação Regional da SPF
Nacional	Braga (5.ª Conferência Nacional de Física), FÍSICA 86)	30 Setembro a 3 Outubro 1986	Sociedade Portuguesa de Física

Regulamento das Divisões Técnicas da Sociedade Portuguesa de Física ()**

Na etapa local cada escola participante seleccionará uma equipa para cada tipo de prova em que queira participar.

Para qualquer um dos tipos de provas cada escola pode concorrer à prova regional respectiva com as equipas seleccionadas.

A escolha das equipas para a etapa regional faz-se durante as provas locais e é da inteira responsabilidade da escola secundária participante. Cada equipa pode ser acompanhada de um professor tanto à prova regional como à nacional.

4. Inscrições

Até 30 de Dezembro (*) cada escola deve indicar, para a Delegação Regional da Sociedade Portuguesa de Física, a que tipo de provas concorre a nível regional.

5. Prémios

Todos os elementos das equipas presentes na prova regional recebem um prémio de presença. Todas as escolas representadas na prova regional das Olimpíadas recebem um prémio.

Cada membro de equipa vencedora da etapa regional: (i) Ganha um prémio (ii) Tem a possibilidade de participar na prova nacional, com deslocação e alojamento a cargo da Sociedade Portuguesa de Física (iii) Pode assistir à próxima Conferência Nacional de Física, a realizar em Braga.

6. Classificação das provas

Os três tipos de provas, na etapa regional e nacional, serão classificadas por júris constituídas por, pelo menos, três professores escolhidos pela Sociedade Portuguesa de Física.

7. Pontos omissos

Qualquer questão resultante de omissões ou dúvidas de interpretação do presente regulamento será resolvida pela organização, após consulta, sempre que possível, aos participantes.

1. Nos termos do art.º 46 dos Estatutos da SPF podem ser criadas Divisões Técnicas com o objectivo de agrupar os sócios com interesses científicos afins, independentemente da sua distribuição geográfica.

§ A proposta de criação de Divisões Técnicas competirá ao Conselho Directivo da Sociedade, tendo de ser ratificada na primeira assembleia geral da Sociedade posterior à data da criação da Divisão.

2. Qualquer sócio da SPF poderá ser membro de uma ou mais Divisões Técnicas sem acréscimo de quotização.

3. A coordenação das actividades das Divisões Técnicas compete a um membro designado pelo Conselho Directivo da Sociedade de entre os sócios inscritos na Divisão.

§ A actividade do Coordenador será coadjuvada por dois vogais permanentes podendo o seu número ser alargado de acordo com o programa de actividades previsto.

4. O Conselho Directivo nomeará para o lugar de Coordenador da Divisão Técnica um sócio escolhido de entre os 3 mais votados pelos sócios inscritos nessa Divisão.

§ 1. Os vogais de cada Divisão são nomeados pelo Conselho Directivo sob proposta do respectivo Coordenador. Esta proposta deverá dar entrada no Conselho Directivo da SPF até 2 meses após a nomeação do Coordenador.

§ 2. As nomeações referidas em 4 devem ter lugar no período de Janeiro a Fevereiro.

5. Os Coordenadores e Vogais são nomeados pelo prazo de 3 anos.

(*) No ano presente, de lançamento das Olimpíadas, aceitar-se-ão inscrições até 15 de Fevereiro.

(**) Aprovado pelo Conselho Directivo da Sociedade Portuguesa de Física, em 6-7-83 e 12-11-84.

6. O Coordenador da Divisão Técnica só poderá ser exonerado por maioria dos sócios inscritos na Divisão.
7. As Direcções das Divisões Técnicas apresentarão anualmente ao Conselho Directivo da Sociedade, durante o mês de Janeiro, o relatório e contas do ano transacto, e o plano de actividades para o ano em curso.
8. As Divisões Técnicas reger-se-ão pelo princípio do equilíbrio financeiro entre receitas e despesas, devendo procurar fontes de financiamento próprias para o respectivo programa de iniciativas.
9. A actividade das Divisões Técnicas será assegurada a partir de verbas postas à disposição anualmente pelo Conselho Directivo da Sociedade.
 - § 1. Estas verbas não poderão ser inferiores a 1/3 do saldo do exercício resultante da actividade da Divisão Técnica no ano anterior.
 - § 2. No decurso do seu exercício anual poderá a Divisão Técnica solicitar subsídios ou donativos a outras entidades, dando pronto conhecimento ao Secretariado da Sociedade, e prestando anualmente contas ao Conselho Directivo, para o efeito do cômputo referido no § 1. deste artigo.
10. Os fundos referidos em 9. serão depositados numa conta com a designação «Sociedade Portuguesa de Física-Divisão Técnica de...», aberta para o efeito pelo órgão competente da Sociedade.
 - §. A movimentação da conta obrigará sempre a duas assinaturas, uma delas necessariamente do Coordenador da Divisão.
11. Cada Divisão Técnica terá a sua contabilidade própria, sob a responsabilidade do respectivo Coordenador. Essa contabilidade necessita de aprovação anual do Conselho Fiscal da SPF.
12. Os Coordenadores das Divisões Técnicas poderão participar, com direito a voto, em reuniões do Conselho Directivo da SPF, quando para tal convidados por este órgão da Sociedade.
13. O Secretário-Geral ou qualquer membro do Conselho Directivo para esse efeito designado por este órgão poderá participar nas reuniões de qualquer Divisão Técnica da SPF, sem direito a voto.
14. Às Divisões compete a representação nacional e internacional em organizações especializadas no domínio das actividades correspondentes, quando tal tenha sido determinado pelo Conselho Directivo da SPF ou por outra entidade com o aval desse Conselho Directivo.

Tecnologia avançada para investigação

LAMMA: *Laser Microprobe Mass Analysis*

No anfiteatro do Complexo II do INIC teve lugar no dia 26 de Novembro de 1984 uma conferência proferida pelo Dr. H. J. Heinen, que apresentou uma máquina desenvolvida em colaboração com diferentes universidades da República Federal da Alemanha. A máquina baseia-se numa ideia perfeitamente elementar que consiste em volatilizar e ionizar

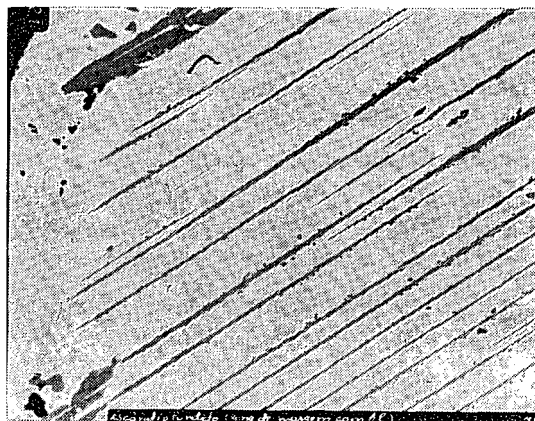


Fig. 1

uma pequeníssima quantidade de material e em seguida analisar os iões resultantes de modo a obter não só informação qualitativa da sua composição mas, principalmente, informação quantitativa. Na realização desta ideia a associação de um laser pulsado com um espectrómetro especial de tempo de voo e um pequeno microprocessador combinam-se de uma forma engenhosa e simples, tornando o equipamento flexível para aplicações a domínios tão variados como a química, a microanálise celular, a

análise de superfícies metálicas implantadas com diferentes espécies iónicas e a análise de elementos minoritários presentes em rochas.

Como exemplo, apresenta-se a fotografia de uma microestrutura obtida pela fusão de um

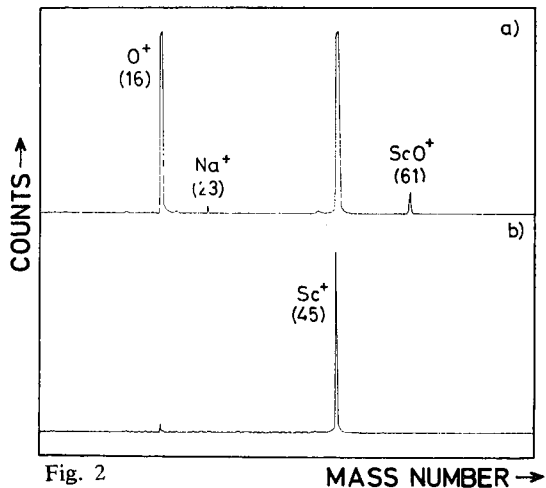


Fig. 2

monocristal de escândio (Fig. 1). A parte branca é facilmente caracterizável com microscopia electrónica. A formação das riscas pretas é

enigmática. A microscopia electrónica apenas conseguiu identificar essas riscas como sendo de escândio puro sem o mínimo vestígio de qualquer impureza presente. Na Fig. 2 apresentam-se espectros obtidos com a técnica de LAMMA. Um impulso do laser de cerca de 4 μJ e de cerca de 10 ns produziu uma pequena cratera de cerca de 100 nm de profundidade e de 2 μm de diâmetro em cada uma das zonas. A zona branca apresenta escândio puro com ligeiros vestígios de oxigénio adsorvido na superfície (Fig. 2b). A zona preta apresenta a composição predominante de óxido de escândio (Fig. 2a). Variando a potência do laser foi possível detectar iões moleculares de Sc_2O^+ e Sc_2O_2^+ como se vê na Fig. 3.

A utilização desta máquina em domínios que vão da bioquímica à ciência dos materiais passando pela medicina, física, química e geologia constitui um desafio a cientistas e industriais no sentido da formulação de um projecto interdisciplinar apropriado que justifique um investimento considerável.

(J. C. SOARES)

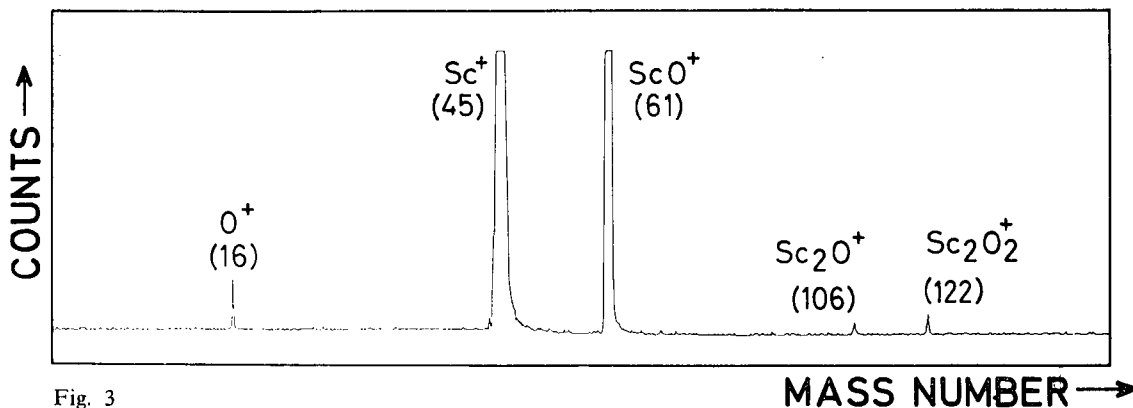


Fig. 3

2.º curso de mestrado em física do estado sólido e ciência dos materiais

Está em preparação o funcionamento, pela segunda vez, do Curso de Mestrado em Física do Estado Sólido e Ciência dos Materiais (portaria n.º 192/82, de 15 Fev.), com início previsto para 15 de Outubro de 1985. A parte lectiva, de 2 semestres, visará uma formação aprofundada em Física do Estado Sólido e Ciência dos Materiais, Técnicas Experimentais e Aplicações, e inclui tópicos especializados. A dissertação final visa a prática activa da investigação e a afirmação de capacidade de trabalho autónomo. Prevê-se possibilidade de fazer funcionar (de Março a Julho 85) um curso de homogenização de conhecimentos destinado aos candidatos cujo curriculum indique a conveniência de um complemento de formação. Espera-se poder atribuir um número limitado de bolsas de estudo através de candidaturas justificadas.

Os potenciais interessados devem contactar, até 28 de Fevereiro de 1985, com o Laboratório de Física, Faculdade de Ciências, Praça Gomes Teixeira, 4000 Porto; telef. 310290, 317751, 317717. Poderão ser desde já fornecidas indicações detalhadas sobre as cadeiras e estrutura do curso.



Adere à

SOCIEDADE EUROPEIA DE FÍSICA

fundada em 1968

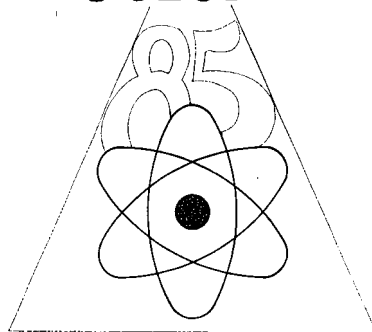
Divisões:

- Astronomia e Astrofísica
- Física Atómica e Molecular
- Física Matéria Condensada
- Física Altas Energias e Partículas
- Física Nuclear
- Óptica
- Física Plasmas
- Electrónica Quântica

Quota anual 40 Fr. suíços

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA

OLIMPIADAS DE FÍSICA



INFORMA-TE JUNTO DO TEU PROF. DE FÍSICA!

LIVRARIA ESCOLAR EDITORA

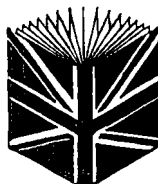


A Livraria Técnico-Científica do País
Serviço rápido de assinaturas
de revistas científicas

LIVRARIA — R. da Escola Politécnica, 80-A
Telefs. 664040 - 672581
Telex 18570 ESCOLI P - PORTUGAL
1200 LISBOA

FILIAL NO PORTO

LIVRARIA BRITÂNICA



THE ENGLISH BOOKSHOP
Para todos os seus livros
de inglês

Rua S. Marçal, 168-A Telef. 328472 1200 LISBOA
Rua da Boa-Hora, 43 Telef. 382786 4000 PORTO

GAZETA DE FÍSICA Publicidade

Tiragem actual — 2200

Periodicidade — trimestral

Leitores: professores e estudantes de Física
(ensinos secundário e superior),
investigadores, técnicos industriais

Preços:*

Fracção de página	1/8	1/4	1/2	1/1
Preto e branco	4	6	10	20
Com cor adicional	5	7	12	24

* em contos

Contactos telefónicos: Lisboa 773325-774297 (Prof. J. Carvalho Soares)
Coimbra 23675-29252 (Prof. M. Margarida Costa)
Porto 310290-21653 (Prof. J. Bessa Sousa)

... People who need vacuum could benefit by having access to a satellite where they could establish a vacuum by opening a valve connecting their chamber to space. A «space» pump would remove gases from the initial chamber pressure down to the ultra high vacuum region.

A CRYOPUMP ... has many of the characteristics of space. It operates over a wide range of pressure and it captures gases by freezing them out. Thus it does not return unwanted gases to the vacuum system.

CRYOPUMPS are available today from



with housing sizes from 6" to 22" with ASA, CONFLAT and ISO flanges.

- *The ultimate in clean vacuum; contaminant-free pumping.*
- *Pumps all gases to a pressure less than 10^{-10} Torr.*
- *No liquid nitrogen required.*
- *Low maintenance schedule: 10,000 hr intervals.*
- *Field maintainability.*

ESCA • SPUTTERING • THIN FILM PROD. • EVAPORATE COATERS • MOL. BEAM CHAMBERS • ION IMPLANTATION • HIGH FREQUENCY CRYSTAL CALIBRATION

CAIOLAB

EQUIPAMENTO CRIOGENICO

Praça D. Afonso V, 120
4100 Porto • Tel. 682028

E DE LABORATÓRIO, LDA.



M. T. BRANDÃO, LDA.

Praça Pedro Nunes, 94 - Sala 3 4000 PORTO

Telefones 691116 - 699144 — Telex 26250 NSCP

- Equipamento de medidas eléctricas de alta precisão
- Resistências e pilhas padrão
- Termopares com e sem calibração
- Termómetros de platina
- Equipamento didáctico para física

The logo for Tinsley, featuring a stylized 'T' inside a circle, followed by the word 'Tinsley' in a serif font.



VOL. 8 • FASC. 1 • JANEIRO 1985

SUMÁRIO

O Cometa de Halley ao longo da história	1
<i>M. F. Thomaz</i>	
Cálculo matricial em óptica	13
<i>Paulo A. R. Oliveira Lopes</i>	
Microcomputadores, Minicomputadores e Física Experimental . .	17
<i>Dinis Magalhães Santos</i>	
Utilização de Microcomputadores da gama mais baixa em Instru- mentação	21
<i>Gaspar P. Ferreira</i>	
P. A. M. Dirac, 1902-1984	25
As licenciaturas em Física e algumas licenciaturas afins	32
Noticiário da Sociedade Portuguesa de Física	38