

G A Z E T A D E

# FÍSICA

---



SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA

VOL. 16 • FASC. 4 • 1993 • PUBLICAÇÃO TRIMESTRAL • OUTUBRO / DEZEMBRO

**Gazeta de Física**

Propriedade da Sociedade Portuguesa de Física

Registo na DGCS n.º 107280 de 13/5/80

Depósito Legal n.º 51419/91

Publicação Trimestral

N.º 4 - 1993

**Redacção e Administração**

Avenida da República, 37 - 4.º - 1000 Lisboa

Telefone (01) 7973251

Fax (01) 7952349

**Directores**

João Bessa Sousa (FCUP)

Filipe Duarte Santos (FCUL)

Carlos Fiolhais (FCTUC)

**Comissão de Redacção e Administração**

Carlos Matos Ferreira (IST)

Margarida Telo da Gama (FCUL)

Ana Maria Eiró (FCUL)

Maria Margarida Cruz (FCUL)

**Preparação e Revisão de Texto**

Floribela Martins Teixeira

**Execução Gráfica**

Imprensa Portuguesa

Rua Formosa, 108-116, 4000 Porto

Telefone (02) 2002466

Fax (02) 2015105

Tiragem: 2500 exemplares

Preço avulso: 600\$00

Assinatura anual (quatro números):

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

35 US dólares (estrangeiro)

Distribuição gratuita aos sócios da SPF

Publicação subsidiada pela Fundação Calouste Gulbenkian  
e pela Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica

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

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



## SUMÁRIO

2

### RADIAÇÃO DE SINCRÓTRÃO

M. A. Carrondo, M. R. Costa, M. O. Figueiredo, M. T. Ramos

10

### PRÉMIO NOBEL DA FÍSICA 93

António A. Costa

11

### O PULSAR PSR 1913+16

N. Straumann

13

### O CONCEITO FÍSICO DE MASSA

Jorge Valadares

20

### MEDIDAS MAGNÉTICAS EM PROSPECÇÃO ARQUEOLÓGICA

M. J. Senos Matias

25

### O QUE HÁ DE NOVO?

E. Lage

30

### NOTÍCIAS SPF

# RADIAÇÃO DE SINCRÓTRÃO

## ESRF - European Synchrotron Radiation Facility

M. ARMÉNIA CARRONDO<sup>a</sup>, MARGARIDA R. COSTA<sup>b</sup>,  
M. ONDINA FIGUEIREDO<sup>c</sup>, M. TERESA RAMOS<sup>d</sup>

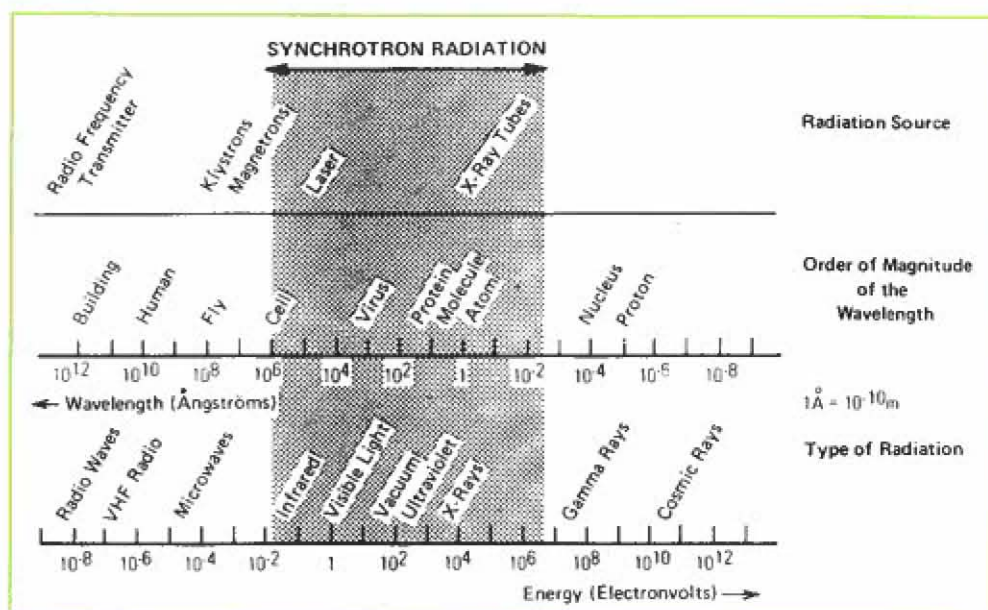
a) ITQB, Oeiras e IST, Lisboa; b) Dep. Física, Univ. Coimbra;  
c) C. Crist. Mineralogia, IICT, Lisboa; d) C. Fis. Atómica, Univ. de Lisboa

### 1. European Synchrotron Radiation Facility. Seus objectivos.

O ESRF, «European Synchrotron Radiation Facility», é um Instituto de investigação fundamental situado em Grenoble, França, que foi criado em 1988 com estatuto de empresa privada segundo a lei francesa. Este instituto é presentemente financiado por 12 países europeus: Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Itália, Holanda, Noruega, Espanha, Suécia, Suíça e Reino Unido. Foi projectado para produzir radiação de sincrotrão de alto brilho, a ser usado pela comunidade científica internacional em áreas no domínio das Ciências da Vida como a Bio-

física, Bioquímica, Biologia e Medicina, da Ciência dos Materiais, Física Atómica e Nuclear, Geociências e Tecnologias Avançadas. Nenhuma destas áreas tem primazia na utilização da radiação de sincrotrão; na realidade, os resultados e conceitos aplicados são de natureza interdisciplinar e internacional. Os fenómenos da interacção da radiação de sincrotrão com a matéria proporcionam informação sobre propriedades electrónicas bem como sobre a estrutura atómica e a caracterização de materiais, tanto por técnicas de difracção/dispersão como por técnicas espectroscópicas de absorção/emissão. Nos Quadros I e II apresentam-se dados ilustrativos deste conceito interactivo.

QUADRO I



QUADRO II

Comp. Onda (Å)	Energia do Fóton (eV)	Biologia/Medicina	Química	Física	Tecnologia
1000	0.1 — Infravermelho	Bioquímica	Reacções Catalíticas	Estrutura electrónica de sólidos	Novos métodos em Espectroscopia
	1 — Luz Visível	Biofísica			
	10 — Ultravioleta	Vácuo Ultravioleta e Microscopia Raios X	Foto-Química	Propriedades de superfícies e interfaces	Óptica de alta precisão
	100 — Vácuo Ultravioleta	Radiografia	Espectroscopia Electrónica para Análise Química	Física Atómica e Molecular	Calibração e Padrões de radiação
100					
10	1000 — Raios X «moles»	Determ. estrutura Biomolecular	Estudos de efeitos nocivos da radiação	Espectroscopia Foto-electrónica	Investigação sobre radiação de Wigglers e Undulators
1	10 000 — Raios X «duros»	Angiografia e Tomografia de Raios X	Determinação de estruturas de polímeros	Óptica de Raios X	Microscopia de Raios X
0.1	100 000 — Raios Gama		Análise de elementos residuais (vestígios)	Cristalografia por Difracção de Raios X	Litografia de Raios X
				Fluorescência de Raios X	Propriedades de materiais
				Topografia	
				Dispersão de Compton	

## 2. Estrutura do ESRF

### Linhas disponíveis para utilizadores

Quando o ESRF estiver concluído e em plena operação, em 1998, contará com 50 linhas para utilizadores externos. Presentemente, o ESRF está ainda em fase de construção, prevendo-se o início oficial de funcionamento para Setembro de 1994 com 12 linhas em operação. De entre estas, 4 serão geridas por «Grupos de Colaboração» — *CRG (Collaborative Research Groups)*, uma vez que foram directamente financiadas e construídas independentemente pelos grupos CRG respectivos.

Apresentam-se, nas secções seguintes, listas descritivas das Linhas projectadas e em construção no ESRF, nomeadamente as *Linhas de feixe para utilizadores externos* (secção 2.1.; vinte linhas), as *Linhas de feixe geridas por grupos* (secção 2.2.; quatro linhas) e as *Linhas especiais* (secção 2.3.; três linhas) não acessíveis a utilizadores externos).

Para facilidade de identificação, a Fig. 1 dá-nos um diagrama de localização das várias linhas na tangente ao

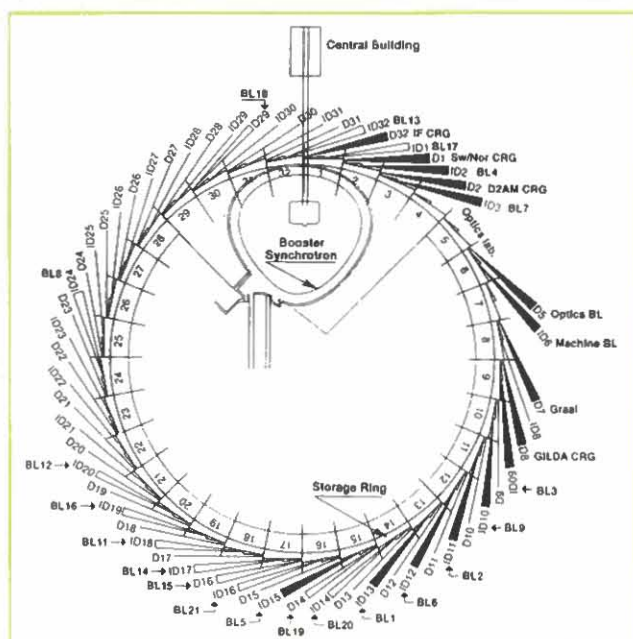


Fig. 1 — Diagrama das Linhas construídas e/ou projectadas no ESRF.

## 2.1. Linhas de feixe para utilizadores externos

Beamline (Source/Beamline)	Scientific goals	Source (Details)	Scientist in charge	Year
1. <i>Microfocus</i> (ID13/BL1)	Micro-diffraction, small angle scattering	Undulator, 0.8-3.0 Å	C. Riekel	Sep. 94
2. <i>Materials</i> (ID11/BL2)	Small molecule crystallography High pressure	Wiggler, 4-60 keV	Å. Kvik	Sep. 94
3. <i>White beam</i> (ID9/BL3)	Laue protein crystallography High pressure energy dispersive scattering. Monochromatic option	Wiggler, 4-60 keV	M. Wulff	Sep. 94
4. <i>High Brilliance</i> (ID2/BL4)	Real time small-angle scattering Monochromatic protein diffraction	Undulator $\lambda$ tunable around 1 Å	P. Bösecke	Sep. 94
5. <i>High Energy</i> (ID15/BL5)	Gamma-ray diffraction, small angle scattering. Compton scattering	Wavelength shifter	P. Suortti	Sep. 94
6. <i>Circular Polarization</i> (ID12/BL6)	Dichroism in EXAFS, SEXAFS Spin-dependent photoemission	Helical Undulator $E < 4$ keV	J. Goulon	Sep. 94
7. <i>Surface diffraction</i> (ID3/BL7)	Surface structural studies Phase transitions. Growth mechanisms	Undulator $K_{\max} = 1.85$	S. Ferrer	Sep. 94
8. <i>Dispersive EXAFS</i> (ID24/BL8)	Time-resolved structural studies	Tapered Undulator	M. Hagelstein	Sep. 95
9. <i>Troika or «Open» Beamline</i> (ID10/BL9)	Multiple experimental station for test experiments	Undulator	G. Grübel	April 94
10. <i>Mössbauer</i> (ID18/BL10)	Nuclear Bragg scattering	Undulator $\sim 14$ keV	R. Rüffer	Sep. 95
11. <i>Magnetic scattering</i> (ID20/BL11)	Magnetic scattering	Asymmetric Wiggler	C. Vettier	Mar. 95
12. <i>Surface Science</i> (ID32/BL12)	SEXAFS and Standing Waves techniques	Undulator	F. Comin	Mar. 95
13. <i>Medical Beamline</i> (ID17/BL13)	Shared facilities for Angiography and Computer Tomography	Wiggler	H. Moulin	Jan. 96
14. <i>Powder Diffraction</i> (ID16/BL14)	Powder diffraction for structure determination	Bending Magnet; later Undulator	A. Fitch	Sep. 95
15. <i>Topography</i> (ID19/BL15)	Topography, High resolution diffraction	Multipole Wiggler	J. Baruchel	Sep. 95
16. <i>Anomalous Scattering Beamline</i> (ID1/BL16)	Anomalous diffuse scattering in materials science	Wiggler	L. Lequien	Jan. 96
17. <i>Dispersive EXAFS</i> (ID29/BL17)	Materials science Mapping of heterogeneous samples	Bending Magnet	N. Brookes	Jan. 95
18. <i>MAD</i> (ID14/BL18)	Multiple Wavelength Anomalous Diffraction for phase determination	Bending Magnet	A. Thompson	Sep. 95
19. <i>Protein Crystallography</i> (ID14/BL19)	Macromolecular Crystallography (initially on BL 4)	Undulator	A. Kvik	Sep. 95
20. <i>X-ray Inelastic Scattering</i> (ID16/BL20)	High resolution (5-100 meV) inelastic scattering at 0-5 eV energy transfer	Undulator	F. Sette	Sep. 94

anel do sincrotrão, especificando as já construídas e/ou projectadas, e também as zonas ainda não atribuídas.

## 2.2. Linhas de feixe geridas por Grupos (CRG)

Beamline (Source / name)	Scientific goals	Spokesperson(s)	Year
D1/SW. NOR	General purpose beamline. Diffraction and absorption spectroscopy	H. P. Weber F. Mo	Sep. 94
D2/D2 AM	Diffuse scattering. Multiple wavelength and anomalous scattering	J. P. Simon M. Roth	Sep. 94
D8/GILDA	General purpose X-ray beamline for absorption spectroscopy and powder diffraction	S. Mobilio	Sep. 94
D32/IF	Interface studies	A. Bourret R. Baudoing-Savois	Sep. 94

## 2.3. Linhas especiais (não acessíveis a utilizadores externos)

D5 — Optics Test Beamline (A. Freund)  
ID6 — Machine Test Beamline (P. Elleaume)  
D7 — Gamma-ray Beamline (C. Schaefer)

## 3. Propriedades básicas da radiação de sincrotrão

A radiação de sincrotrão é obtida por aceleração de partículas carregadas, electrões ou positrões, a velocidades relativísticas. A aceleração radial destas partículas é conseguida pela acção de campos magnéticos (BM; *bending magnets*) inseridos no anel de acumulação. Tangencialmente à órbita circular gera-se radiação electromagnética, caracterizada por uma energia crítica,  $e_c$ , ou um comprimento de onda,  $\lambda_c$ , que corresponde ao valor médio do espectro assim produzido:

$$\lambda_c = 18.64 / (BE^2)$$

onde B é o campo magnético aplicado, em Tesla, e E é a energia de aceleração no anel, em GeV.

O enorme sucesso na crescente utilização da radiação de sincrotrão nos últimos 20 anos deve-se às suas características únicas, a saber:

- Gama contínua de comprimentos de onda, desde o infra-vermelho até aos raios X, com possibilidade de sintonização.
- Brilho extremamente elevado.
- Polarização muito bem definida, linear no plano da órbita e circular fora desse plano.

- Possibilidade de obtenção de radiação coerente na zona dos raios X.
- Natureza pulsada da radiação, com elevada estabilidade.
- Dispersão angular extremamente reduzida.

A potência emitida, função do comprimento de onda, é normalmente quantificada pelas seguintes grandezas:

**Fluxo** — Número de fótons emitidos por unidade de tempo (segundos) num intervalo de 0,1% de comprimento de onda e por unidade de ângulo sólido do feixe (mrad).

**Brilho** — Fluxo por unidade de secção eficaz da fonte (mm<sup>2</sup>) e por unidade de ângulo sólido do feixe (mrad).

O fluxo e/ou o brilho emitidos numa determinada linha podem ser aumentados variando o campo magnético aplicado, B, ou a energia de aceleração, E. Normalmente, para uma determinada instalação, mantém-se fixa a energia, e joga-se com o campo magnético através de, fundamentalmente, dois tipos de sistemas de inserção que introduzem modulações espaciais características, e ajustáveis, no campo magnético, designados por «wigglers» e «undulators». Conseguem-se assim características optimizadas para determinadas aplicações.

## 4. Características técnicas do ESRF

Não se pretende fazer aqui uma descrição pormenorizada de todas as características técnicas do ESRF, que podem ser encontrados no «ESRF Beam Line Handbook» de Agosto de 1993, mas somente realçar as características mais importantes e que distinguem esta de outras instalações de sincrotrão europeias.

A Fig. 4 representa uma comparação entre o fluxo previsto e já obtido no ESRF, relativamente a outras instalações de sincrotrão europeias.

A Fig. 5 mostra uma comparação mais detalhada entre o brilho obtido em vários sistemas de inserção no ESRF (*magnetos deflectores* BM, *wigglers* e *undulators*) e situações comparáveis noutras instalações europeias. Adicionalmente, o elevado perímetro do anel de acumulação, 844 metros, proporciona uma grande versatilidade às linhas de feixe nas estações experimentais, através da inserção de «undulators» já desenvolvidos localmente e que representam um grande avanço tecnológico.

No encontro de utilizadores do ESRF que teve lugar em Grenoble em Setembro de 1993, foram referi-

das experiências já realizadas com a instalação em período experimental, tendo sido salientados valores que, nalguns casos, ultrapassaram mesmo os inicialmente projectados.

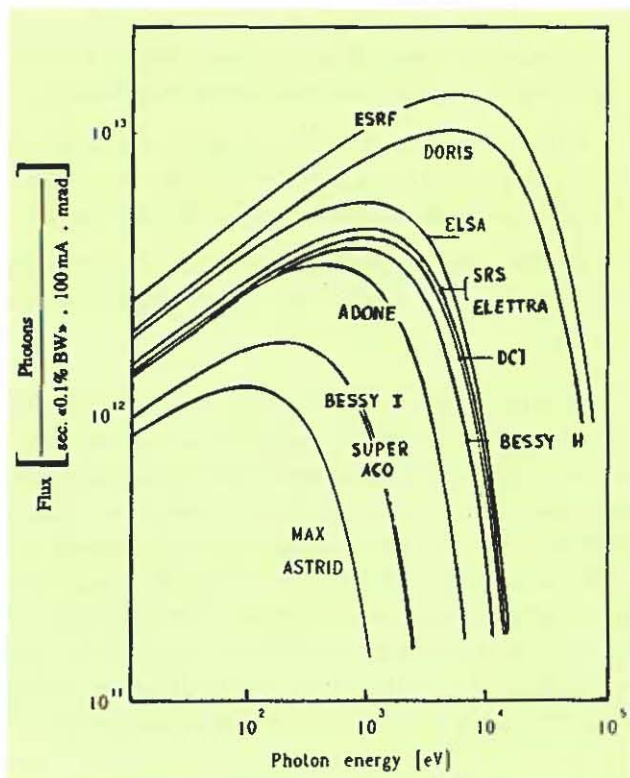


Fig. 4 — Curvas de fluxo de fótons, em função da energia dos fótons, conseguidas com magnetes de deflexão em vários centros europeus de Radiação Sincrotrónica.

Quando operado à energia de 6 GeV, conseguiu-se obter uma corrente no anel de 150 mA (a do projecto era 100 mA) um brilho de 10<sup>18</sup> a 10<sup>19</sup> fotões/seg.mm<sup>2</sup>.mrad<sup>2</sup>.0.1% BW, uma emitância horizontal de 8.4x10<sup>-9</sup> mrad (a do projecto era 6.2x10<sup>-9</sup> mrad), uma emitância vertical de 3.8x10<sup>-9</sup> mrad (a do projecto era menor que 6.2x10<sup>-10</sup> mrad) e um tempo de vida médio até 24 horas (para uma corrente no anel de 100 mA).

## 5. Características únicas do ESRF

1 — Possibilidade de obter radiação coerente na zona dos raios X. Esta característica abre novas perspectivas em numerosos domínios, podendo mesmo contribuir para o desenvolvimento de uma nova Física.

2 — Possibilidade de focar o feixe até uma secção eficaz de 1 μm<sup>2</sup> com 10<sup>9</sup> fotões/seg.100 mA. numa largura de 10<sup>-5</sup> (Δλ / λ). Esta característica permite

novas experiências a pressão elevada em amostras de pequeno volume e também a caracterização magnética de materiais.

3 — Estabilidade do feixe melhor que 2 μm durante várias horas. Esta característica permite experiências prolongadas sem alteração da posição do feixe, de brilho elevadíssimo, em áreas irradiadas de dimensões muito reduzidas.

## 6. Aplicações em Biologia, Bioquímica, Biofísica e Medicina

### Difracção

Cristalografia de macromoléculas: vírus, proteínas, ácidos nucleicos e complexos de macromoléculas. Difracção por fibras: Possíveis já em 1994, nas linhas BL9, BL4, BL3 e CRG's; no futuro nas linhas BL19, BL20.

Cristalografia de moléculas pequenas: BL2.

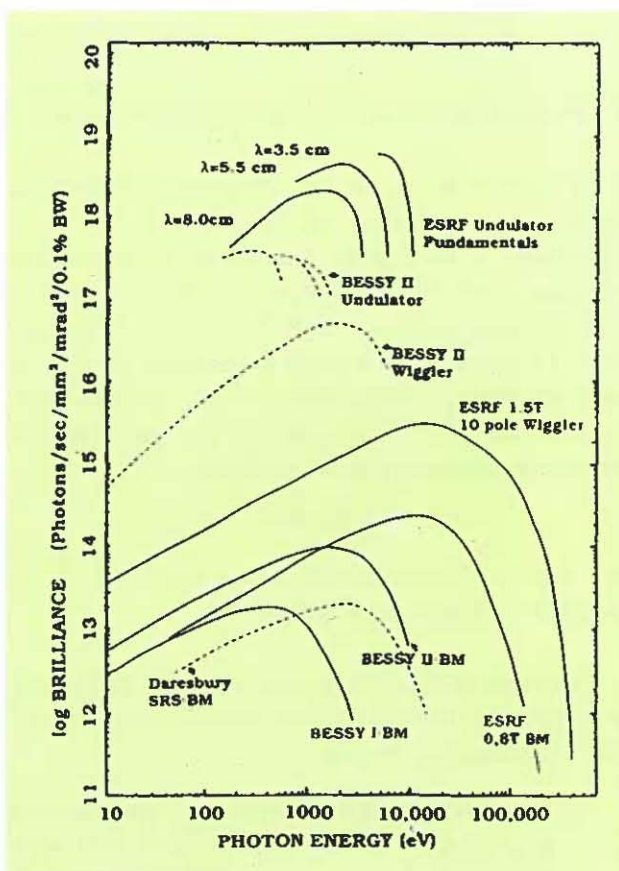


Fig. 5 — O brilho em função da energia dos fótons, obtido com magnetes de deflexão, wigglers e onduladores, em diversas instalações europeias de Radiação Sincrotrónicas.

### *Absorção*

EXAFS: Possíveis em 1995 nas linhas BL8 e BL18.

### *Técnicas de imagem*

Angiografia, Tomografia e Microscopia de raios X. Possíveis em 1995 na linha BL14, uma linha de Investigação médica não comercial, única na Europa, e futuramente na linha BL22.

Estão presentemente em curso projectos de investigadores portugueses em Cristalografia de proteínas, Cristalografia de moléculas pequenas e em estudos Biológicos de afinidade com desenvolvimento experimental no SRS (Daresbury), no DESY (Hamburgo) e no LURE (Orsay).

## **7. Aplicações em Ciências de Materiais**

### *Difracção*

Radiocristalografia de materiais policristalinos (XRD): Linhas BL21 e CRG's (D1 e D2)

Microdifracção: Linha BL1.

Difracção com alta resolução em tempo real: Linha BL16.

Difracção com alta pressão (mono e poli-cristais): equipamento de concepção ESRF instalável em várias linhas de feixe, permitindo recolha de espectros de difracção em condições extremas. Perspectiva-se, inclusivamente, a possibilidade de determinar a posição estrutural de átomos de hidrogénio em matrizes leves — por exemplo, no caso do gelo.

### *Difracção Magnética*

Estudos de ordenação magnética de materiais, tirando partido da elevada resolução; informação sobre sistemas magnéticos, em particular sobre as componentes orbital e de spin para a magnetização, fazendo uso das características de polarização da radiação de sincrotrão: Linhas BL12 e CRG (em projecto).

### *Difusão*

Difusão para ângulos pequenos (SAXS): Linhas BL1 CRG; com resolução temporal Linha BL4.

Difusão anómala (AS): Linhas CRG's (D2 e D8) e BL17.

Difusão inelástica: Linha BL5; com alta resolução, Linha BL21.

Estudo genérico de materiais: Linha BL2; dispondo de um «undulator», Linha BL9.

### *Absorção*

Análise de descontinuidades de absorção:

EXAFS: Linhas BL18, CRG e BL8.

EXAFS com resolução temporal: Linhas BL13.

EXAFS, estudos de superfícies: Linha D8 (GILDA); para estudos de polarização, Linha BL6.

### *Topografia*

Linhas BL16 e CRG

Estão presentemente em curso projectos de investigadores portugueses em vários dos temas descritos de Ciências de Materiais, nomeadamente difracção normal, difracção magnética, técnicas espectroscópicas de absorção e topografia. Referem-se ainda métodos de análise por técnicas espectroscópicas com desenvolvimento experimental no SRS (Daresbury), no HASYLAB (Hamburgo) e no LURE (Orsay).

## **8. Aplicações em Física Atómica e Molecular**

Medidas de difusão de Compton, secções eficazes de dispersão e fotoeléctrica; medidas de correlação angular perturbada de fluorescência nuclear: a partir de 1994 na Linha BL5.

Medidas de dispersão inelástica de muito alta resolução e dispersão de Raman: a partir de 1994 na Linha BL21.

Análise espectrométrica por fluorescência de raios X, com microfoco muito intenso: em projecto para a Linha BL24.

Estão em curso projectos de investigadores portugueses em determinação de parâmetros Auger, estudos de excitação em níveis internos, dinâmica de moléculas isoladas e análises espectrométricas por fluorescência de raios X no LURE (Orsay).

## Conclusão

O ESRF representa um «upgrading» das múltiplas instalações europeias no qual se conjugaram as capacidades e os esforços dos cientistas oriundos de diversos países, possuidores (ou não) de tais unidades. Esta unidade de excelência coloca a Europa na primeira linha de oportunidades instrumentais de pesquisa face aos Estados Unidos da América e Japão, pois conjuga características optimizadas de feixe e concentra múltiplas inovações técnicas, proporcionando mesmo condições para desenvolvimentos de índole teórica na área da Física.

## Bibliografia

- European Synchrotron Radiation Facility, ESRF Beamline Handbook, Grenoble, 1993.
- Daresbury Research Services, SERC Daresbury Laboratory, Warrington, 1990.
- Hamburg Synchrotron Radiation Laboratory, DESY-HASYLAB, Hamburg, 1988.
- Heliwell, J. R. «Macromolecular Crystallography with Synchrotron Radiation», Cambridge, Univ. Press, 1992.
- Neutron and Synchrotron Radiation for Condensed Matter Studies, vol. I», ed., J. Baruchel, J. L. Hodeau, M. S. Lehmann, J. R. Regnard, C. Shlenker.
- Margaritondo «Introduction to Synchrotron Radiation», Oxford University Press.
- «Synchrotron Radiation-Techniques and Applications», ed., C. Kunz, Springer-Verlag (Topics in Current Physics), 1979.
- «Synchrotron Radiation Research», H. Winick, S. Doniach eds., Plenum Press, 1980.
- «World Compendium of Synchrotron Radiation Facilities», I. H. Muroco, C. A. Boardman, J. C. Fuggle, E. S. R. S., 1991.

# UTILIZAÇÃO DE NEUTRÕES E RADIAÇÃO DE SINCROTRÃO EM MATÉRIA CONDENSADA

## Curso Europeu HERCULES 1994 • Grenoble, França - 13 de Fevereiro a 25 Março 1994

— HERCULES —  
Higher European Research Course  
for  
Users of Large Experimental Systems

Basic Training  
for  
Biologists, Chemists  
and  
Physicists

## PROGRAMME

### a) Lectures, Practicals and Tutorials

#### Common Part:

- Synchrotron radiation: Theory and Characteristics - Physics of storage rings - Beam lines;
- Neutrons: Sources, Detectors, Optics;
- Interaction of X-rays and single crystal diffraction, diffuse and small angle scattering - Magnetic scattering - Inelastic and quasielastic neutron scattering - X-ray absorption spectroscopy - X-ray and UV photoemission spectroscopies - Imaging techniques - Time resolved experiments.

#### Applications - Two parallel sessions on:

- *Solid State Physics and Chemistry*: Surfaces and Interfaces, Amorphous and quasicrystalline systems, Excitations and phase transitions, Stereochemistry.
- *Biological macromolecules*: Protein crystallography and dynamics, Membranes diffraction, Local structure in biological systems.
- *Soft condensed matter*: Structure and dynamics of Polymers, Micelles.
- *Experimental Training at*: ESRF, ILL, LLB, LURE, CENG, CNRS, EMBL, INPG, UJF.

### b) Optical 6 month training (if CEC - Human Capital and Mobility application accepted).

- **Information:** Secretariat HERCULES, Marie-Claude Simpson  
Maison des Magisteres - CNRS • BP 166 - F-38042 • Grenoble Cedex 9  
Tel: (33) 76 88 79 86 • Fax: (33) 76 88 79 81

# SOFTCIÊNCIAS

## Produção de Software Educativo

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

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



- |                             |                                  |
|-----------------------------|----------------------------------|
| 4. LE CHA.....              | Simulações em equilíbrio químico |
| 5. ÓPTICA.....              | Banco de óptica no computador    |
| 6. FQ-FOLHA DE CÁLCULO..... | Programas para «Excel»           |
| 7. ENERGIA.....             | Gestão da energia na Terra       |
| 8. FRACTAIS.....            | Um mundo de imagens matemáticas  |
| 9. MILLIKAN.....            | Meça a carga do electrão         |
| 10. MOVIMENTO RELATIVO..... | Relatividade para todos          |

*Solicite já os seus programas para:*

### SOFTCIÊNCIAS

SPF — Departamento de Física  
Universidade de Coimbra  
3000 COIMBRA

**Versões para IBM - PC**

Envie cheque no valor de 2500\$00 por cada programa com o respectivo manual (2000\$00 para sócios da SPF, SPQ ou SPM). O preço inclui os portes de correio.

**Podem ainda ser adquiridos os três primeiros programas:**

1. **Galileo** — Uma viagem espacial    2. **Jogos Químicos** — Jogo das substâncias e adivinhas    3. **Kepler** — Céu na nossa mão

Está disponível um vídeo (VHS, 15 min) sobre os programas **Galileo/Kepler** (2000\$00; 1500\$00 para sócios SPF; SPM; SPQ)

## Prémio Nobel da Física 93

Russel Hulse e Joseph Taylor

### — Investigação em Pulsares —

Um *pulsar* é uma estrela de neutrões em rotação rápida, com um período intrínseco ( $P_p$ ) que pode tomar valores característicos entre cerca de 1.5ms e 3s. Em 15 de Janeiro de 1975, a revista *Astrophysical Journal* publicava um artigo de Russel A. Hulse e Joseph H. Taylor dando conta da descoberta, em 1974, usando o radiotelescópio de Arecibo, do primeiro pulsar num sistema binário na Constelação da Águia. Taylor era então supervisor de Hulse, aluno de pós-graduação. O pulsar em causa, designado por PSR1913+16, tinha um período  $P_p = 59.03$  ms e o corpo próximo, de acordo com as observações feitas, tinha de ser ou uma estrela de neutrões ou um buraco negro, visto que a razão das duas massas era próxima da unidade.

No artigo citado, Hulse e Taylor previam que o sistema pudesse ser utilizado para medir o efeito Doppler, verificando certos aspectos da *Teoria da Relatividade Geral*. Observações posteriores permitiram verificar que não só a evolução do sistema permitia medir o efeito Doppler com o desvio (da frequência) para o vermelho gravitacional (\*), mas que existia também o previsto movimento do periastro, da ordem de  $4^\circ$  (a variação do periastro de Mercúrio é de  $43''$ ). Mas o mais importante de tudo foi a descoberta, feita posteriormente pelos dois cientistas, da aproximação das estrelas de neutrões, fenómeno esse perfeitamente compatível com a radiação de ondas gravitacionais, resultantes das variações da métrica do espaço-tempo devido à translação de corpos compactos.

Reconhecendo o valor destas descobertas, a Academia Sueca atribuiu o Prémio Nobel da Física aos dois físicos americanos, em 14 de Outubro de 1993. Refira-se que já havia sido anteriormente atribuído um Prémio Nobel da Física no domínio dos pulsares em 1974, a Anthony Hewish, eminente cientista da Universidade de Cambridge, Inglaterra.

A atribuição do Prémio Nobel da Física de 1993 a Russel Hulse e Joseph Taylor, que estão hoje na Universidade de Princeton, U.S.A., constitui o justo prémio para a capacidade e o talento de vislumbrar e materializar técnicas de observação que permitem detectar pequeníssimas variações da órbita de estrelas binárias. No pulsar em causa, o período de rotação orbital em torno do centro de massa é de  $p = 2.7 \times 10^4$  s e varia no tempo de  $dp/dt = -2.30 \times 10^{-12}$ , em acordo com a *Teoria da Relatividade Geral* respeitante à emissão de ondas gravitacionais.

Hulse e Taylor mostraram de maneira indirecta a existência das *ondas gravitacionais*, embora estas não tenham sido ainda directamente detectadas na Terra. Com este Prémio Nobel, estão de parabéns, não só os dois laureados como a comunidade dos astrofísicos, e em particular os observadores e estudiosos dos pulsares.

António A. Costa

---

(\*) Num corpo compacto, nomeadamente uma estrela *anã branca*, a luz emitida à superfície tem uma frequência maior do que a correspondente a elevadas distâncias da estrela. Este é o chamado desvio para o *vermelho gravitacional*.

# O PULSAR PSR 1913+16

## A Laboratory for Relativity (\*)

N. Straumann, *Inst. Theor. Physics, University of Zurich*

Almost 20 years ago, Joseph Taylor And Russell, Hulse from Princeton University discovered, in a systematic search for new pulsars using a large radiotelescope, the binary radio pulsar PSR 1913+16 that appears to have been exquisitely designed as a laboratory for general relativity<sup>(1)</sup>. In subsequent years, much effort has been put into measuring its pulse arrival times with increasing precision and comparing the results with general relativity.

Before entering into a brief description of the analysis and an appreciation of the importance of the results, we shall recall the gross features of the binary pulsar system. The nominal period of the pulsar is 59 msec. This short period was observed to be periodically shifted, which proved that the pulsar is a member of a binary system with an orbital period of 7.75 hours (precise numbers for various orbital parameters are given in the Table. Figures in parentheses represent uncertainties in the last quoted digit; those in square brackets represent expected values of unmeasured quantities, according to general relativity). With Kepler's third law and reasonable masses one concludes that orbit is not much larger than the Sun's diameter.

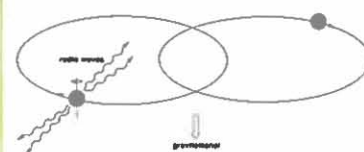
Correspondingly, the velocity of the pulsar is about  $10^{-3} c$  and it moves through a relatively strong gravitational field (about 100 times stronger than the gravitational field of the Sun near Mercury). These numbers show that several special and general relativistic effects should be observable - a goal that has been explored since 1974 with increasing accuracy. It turned out that PSR 1913+16 is one partner of a "clean" binary system of two neutron stars each having approximately 1.4 solar masses  $M$  (see Figure).

In addition, PSR 1913+16 behaved very well all the time, for it has not made any discontinuous jumps (glitches) nor generated noise since being discovered.

From the shape of the radial velocity curve which is derived from the periodically changing pulse arrival rate due to the Doppler shift, Hulse and Taylor noticed very soon that the orbit is highly eccentric (an aspect ratio  $e \approx 0.62$ ). One of the main reasons why the Hulse-Taylor pulsar has become an ideal testing ground for general relativity is that there are regions of very strong field in the two-body system: at the surface of the neutron star the characteristic measure for the field strength  $G \times \text{mass}/(c^2 \times \text{radius})$  becomes about 0.2 which is close to the maximum value of 0.5 at the horizon of a black hole, where  $G$  is the gravitational constant.

Pulsars represent natural clocks which are remarkably stable. Owing mainly to magnetic dipole radiation, the period of the rotation magnetized neutron star increases slowly, and hence the intrinsic pulsar frequency  $\nu$  decreases steadily with time. For PSR 1913+16 the first derivative with time is very small, but measurable:  $\dot{\nu} = -2.47583 (2) \times 10^{-15} \text{ sec}^{-2}$ . The pulsar is thus almost as stable as the best atomic clock. The sequence of arrival times on Earth of the electromagnetic pulses emitted by the orbiting pulsar is, however, slightly distorted by a number of effects. Besides the almost periodic Doppler modulation which is influenced by general relativistic effects of the orbital motion, the pulse originating from the vicinity of the pulsar (strongfield region) travels afterwards through the relatively weak-field region between the condensed objects, and finally through the weak field of the solar system.

### Binary Pulsar



A pulsar emits radio waves in two bunches which sweep across space at the same rate as the pulsar rotates. In a binary pulsar system such as PSR 1913+16, gravitational waves are also emitted.

Parameter	PSR B1534+12	PSR B1913+16
Keplerian parameters		
Orbital period, $P_b$ (s)	36351.70270(3)	27906.9807804(6)
Eccentricity, $e$	0.2736779(6)	0.6171308(4)
Projected semi-major axis, $x$ (s)	3.729468(9)	2.3417592(19)
Time of periastron, $T_0$ (MJD)	48262.8434966(2)	46443.99588319(3)
Longitude of periastron, $\omega$ ( $^\circ$ )	264.9721(16)	226.57528(6)
Post-Keplerian parameters		
Advance of periastron, $\dot{\omega}$ ( $^\circ \text{ yr}^{-1}$ )	1.7560(3)	4.226621(11)
Time dilation, $\gamma$ (ms)	2.05(11)	4.295(2)
Orbital period derivative, $\dot{P}_b$ ( $10^{-12}$ )	-0.1(6)	-2.422(6)
Range of Shapiro delay, $r$ ( $\mu\text{s}$ )	6.2(1.3)	[6.836]
Shape of Shapiro delay $s \equiv \sin i$	0.986(7)	[0.734]

(\*) De um artigo recente de N. Straumann, *A Laboratory for Relativity*, Europhysics News 24 191 (1993). Neste trabalho encontra-se ainda uma apreciação extensa dos aspectos científicos que estiveram na base da atribuição do Prémio Nobel da Física de 1993.

(1) R. A. Hulse and J. H. Taylor, *Astrophysics Journal* 195 L51 (1975).

## SYNCHROTRON RADIATION IN BIOLOGICAL AND MEDICAL SCIENCES

Porto, 4-7 May, 1994

*Sponsored by EC, Human Capital & Mobility Programme*

### Purpose of the Conference

The aim of this Euroconference is to establish the present status of Synchrotron Radiation research in three main areas: diffraction, spectroscopy and imaging. In addition, the lectures will cover a few related subjects, such as damage and facility development. The Scientific Programme involves plenary, invited talks and oral as well as poster sessions.

### Organization

*Scientific Committee:* EC Synchrotron Round Table

*Local Committee:* A. M. Damas (Porto),  
A. Quintanilha (Porto),  
M. A. Carrondo (Lisboa).

### Further information

Prof. A. M. Damas

Eur. Conf. "Synchrotron Radiation in Biological and  
Medical Sciences"

Inst. Ciências Biomédicas Abel Salazar — Univ. do Porto

Largo Prof. Abel Salazar, 2 — 4000 Porto - Portugal

Facsimile: 351 2 2001918

E-mail: amdamas @ ncc. up. pt.

-----  
**Application form** (the number of participants is limited  
to 100, including lecturers)

I plan to attend the meeting..... ☐

I plan to present an oral/poster communication..... ☐

Title of the contribution: .....

Surname: .....

First Name: .....

Position (student, postdoctoral, academic, staff, industry,  
etc.): .....

(Students must send two letters of recommendation)

Institution: .....

Address: .....

Telephone: ..... Facsimile: .....

## TOLEDO ENCOUNTERS ON FRONTIERS OF SCIENCE

International Workshop on  
Superconductivity and Particle Detection

Palacio de Bernacazón, Toledo, Espanha  
20-24 Abril 1994

### Format and purpose of the Workshop

The aim of this Workshop is to bring together specialists in the field to which the title refers and in the related topics in Solid State Physics in order to:

1. Examine, in light of the on-going activity, the potential of Superconductivity with regard to particle detection, signal acquisition and data treatment at low temperatures;
2. Analyze the basic issues involved in the interaction between particles and superconductors;
3. Explore new fields of application and new ideas for detection with superconductors.

### Dates Reminder

*Registration Forms* should reach the Technical Secretariat: **February 15, 1994.**

*Contributed Papers* to be sent to the Director of the Workshop: **February 15, 1994.**

Advanced Payment of the *Registration Fee* will be accepted: **until March 15, 1994.**

Payment for the *Hotel* first night must be settled for its acceptance: **March 15, 1994.**

### Director of the Workshop

Prof. G. Waysand, Groupe de Physique de Solides,  
Universités de Paris 7 et 6, Tour 23, 75251 Paris - Cedex,  
France

### Technical Secretariat

Ms. M. FATÁS, Instituto de Física Nuclear y Altas  
Energías, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza,  
50009 Zaragoza, España, Tel 34 - 76358321, Fax. 34-  
76568060, E-mail 16456; FATAS & fatas @ gae. unizar.es

### Further Information

Dr. T. A. GIRARD, Centro Física Nuclear, Universidade  
de Lisboa 1699, Lisboa, Codex (P), girard @ alf4.  
cc.fc.ul.pt.

# O CONCEITO FÍSICO DE MASSA

## II. ANÁLISE DO CONCEITO

JORGE VALADARES

Universidade Aberta, Palácio Seia, 1300 Lisboa

*O significado de um conceito é construído por cada ser humano com base nas interligações que são feitas com outros conceitos já existentes na sua estrutura cognitiva. O facto de o mesmo significado ser partilhado por muitos seres humanos significa apenas que são feitas entre esse conceito e os outros, e não que esse significado está certo ou errado. Com outro tipo de interligações, ou através de uma nova definição das interligações já existentes, chegar-se-á a um significado diferente do conceito. O presente artigo pretende «negociar» (Novak e Gowin, 1991, p. 20) um significado do conceito de massa (com quem, de entre os seus leitores, quiser ou necessitar de o fazer), em que é abolida a ligação massa-velocidade e repensada a ligação massa-energia. Se esse significado for aceite, tornar-se-á transparente a necessidade de eliminar «misconceptions» (\*) como a de que «a massa se converte em energia e a energia em massa».*

### 1. Massa relativista, massa em repouso e massa própria de uma partícula

Uma das leis físicas mais importantes que se verificam no Universo é a lei da conservação do momento linear. Essa lei está intimamente relacionada com a existência de uma determinada simetria no espaço físico, a simetria de translação nesse mesmo espaço. A validade dessa lei em todos os referenciais inerciais exige que o momento linear de uma partícula, definido na Mecânica newtoniana por  $p = mv$ , passe a ser definido, no contexto da teoria da relatividade restrita, por  $p = \gamma mv$ .

Nesta definição relativista do momento linear, à clássica massa inercial da partícula,  $m$ , definida conceptualmente por Newton e operacionalmente por Euler (conforme vimos na primeira parte deste trabalho, Gazeta de Física n.º 1, 16, p. 9 1993), e à velocidade da partícula,  $v$ , é acrescentado o factor adimensional de Lorentz,

$$\gamma = 1/\sqrt{1 - (v/c)^2}$$

Este factor  $\gamma$  pode, em princípio, ser associado à massa ou à velocidade.

Se pretendermos manter a definição newtoniana de momento, teremos de integrar o factor  $\gamma$  na massa. Temos, então

$$p = Mv \quad \text{com} \quad M = m/\sqrt{1 - (v/c)^2}$$

A grandeza  $M$ , que cresce com a velocidade da partícula, e tende para infinito quando essa velocidade se aproxima da da luz, designa-se vulgarmente por *massa relativista* da partícula.

Particularizando para um referencial inercial ligado à partícula (vulgarmente designado por referencial próprio) e em que, portanto, a partícula está em repouso ( $v = 0$ ), vem  $M = m$ .

À massa  $m$  costuma-se, portanto, chamar, *massa em repouso* da partícula. Independentemente do novo significado que com Einstein esta massa adquiriu, e de que trataremos a seguir, ela acaba por ser igual à massa clássica de Euler, traduzindo quantitativamente a inércia da partícula.

«It is not good to introduce the concept of mass  $M = m / \sqrt{1 - (v/c)^2}$  of a moving body for which no clear definition can be given. It is better to introduce no other mass concept than the «rest mass»  $m$ ...».

A. Einstein

(em carta dirigida a L. Barnett, 1948.)

(\*) Optou-se pela palavra inglesa, por não se conhecer uma designação portuguesa apropriada para traduzir o seu significado. No fundo, trata-se de uma afirmação conceptual inaceitável face a uma determinada estruturação do conhecimento.

Para a medirmos, basta aplicar uma força à partícula e determinar o quociente da intensidade da força pela aceleração "enquanto o movimento for lento" (Einstein, p. 81).

Uma outra lei fundamental da natureza é a *lei da conservação da energia*. Para que esta lei seja válida para todas as velocidades possíveis, a energia de uma partícula terá de ser definida por

$$E = \gamma mc^2 = mc^2 \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2}$$

Desenvolvendo em série a potência do último membro e considerando desprezáveis as parcelas de ordem igual ou superior à segunda em  $v/c$  vem

$$E = mc^2 + \frac{1}{2} mv^2$$

Estando a partícula em repouso ( $v=0$ ), vem

$$E_0 = mc^2$$

Esta equação traduz a equivalência massa-energia de Einstein, e permite-nos concluir que *a massa em repouso de uma partícula equivale à sua energia em repouso*. Como a velocidade da luz no vácuo,  $c$ , é uma constante universal, poderemos considerar sistemas de unidades em que a velocidade da luz é unidade fundamental,  $c=1$ , resultando a energia em repouso da partícula e a sua massa em repouso como grandezas iguais. No SI, e em todos os sistemas em que  $c \neq 1$ , a *massa em repouso* e a *energia em repouso* são diferentes, mas a sua diferença não é fundamental, sendo antes o resultado da existência de um factor de conversão de unidades diferente da unidade. A massa em repouso de uma partícula e a energia que ela contém podem considerar-se os dois aspectos, as duas manifestações de um atributo, uma mesma entidade referida à partícula, e que tem que ver com a sua natureza bem como com o nível energético interno em que se encontra. A essa entidade chama-se muitas vezes *massa energia* da partícula. Tanto se pode exprimir em unidades de massa como de energia. Quando esse atributo varia, variam concomitantemente a massa em repouso e o conteúdo de energia da partícula. São variações paralelas ou correlativas das duas manifestações quantitativas do mesmo atributo e *não se trata de conversão de uma noutra*.

A massa em repouso de uma partícula é uma propriedade intrínseca da partícula, fundamentalmente equivalente à sua energia medida no referencial próprio. Para uma partícula material qualquer com estrutura, a massa em repouso tem que ver com a natureza da partícula e com o nível energético interno em que se

encontra. No caso de um átomo no estado fundamental, por exemplo, a massa em repouso equivale à energia que possui pelo facto de se encontrar nesse estado. Se o átomo receber energia e passar a um estado excitado, a sua massa em repouso aumenta, pois a energia contida no átomo é agora maior. A energia em repouso do átomo, quando ele está no seu estado fundamental ou de menor energia, costuma designar-se por *energia própria* e a massa que lhe corresponde segundo a equação de equivalência é a *massa própria*.

A massa própria de uma partícula material com estrutura corresponde, pois, a um caso particular da sua massa em repouso: equivale à energia da partícula material, não só quando está em repouso, mas também quando se encontra no estado de energia mínima. Note-se, porém, que sendo a energia contida em qualquer corpo medida a menos de uma constante arbitrária, a sua massa própria, correspondente ao conteúdo mínimo de energia, também o será. Este facto retira validade prática ao conceito de massa própria, mas não lhe retira interesse teórico, mormente no domínio das partículas materiais. É a massa própria que verdadeiramente caracteriza uma partícula elementar, pois só ela tem que ver exclusivamente com a sua existência. A chamada massa relativista também tem que ver com o referencial em que a partícula é observada, e as outras massas em repouso, correspondentes aos diversos níveis de excitação, também dependem da energia que foi fornecida à partícula.

## 2. A massa relativista é um conceito confuso pelo que deve ser abolido

A associação que fizemos do factor de Lorentz à massa, e o conseqüente aparecimento da massa dependente da velocidade, ou massa relativista, ainda que historicamente tenha conduzido a estratégias simples para abordar alguns temas de relatividade, é actualmente posta em causa (Adler, 1987, p. 739). Muitos livros clássicos têm vindo a abandonar o conceito de massa relativista por várias razões, algumas das quais passamos a apresentar.

Em primeiro lugar, porque ao alargar-se a expressão newtoniana do momento ao domínio relativista, escrevendo  $p = Mv$ , pretende-se muitas vezes estender o significado físico da massa inercial clássica à massa relativista, considerando esta como uma propriedade característica da partícula que mede a sua inércia.

É vulgar, por exemplo, ver-se desenvolver um raciocínio deste tipo: «é cada vez mais difícil aumentar-se a velocidade de uma partícula, quando a sua velocidade se aproxima da da luz no vácuo, porque a inércia da

partícula, dada pela massa relativista,  $M = m/\sqrt{1 - (v/c)^2}$  é cada vez maior, pelo que ela resiste cada vez mais à acção das forças». Este tipo de raciocínio é falacioso, como vamos ver.

Quando aplicamos uma força a uma partícula, e a sua velocidade se mantém relativamente pequena, esta acelera sempre na direcção e sentido da força e de modo proporcional a esta. A sua velocidade apresenta, pois, uma taxa de variação que manifesta sempre as mesmas características: é proporcional à força e ocorre no sentido para onde a força aponta. Nestas condições é legítimo afirmarmos que existe uma propriedade, um atributo do corpo que mede a inércia. Essa propriedade é a *massa em repouso*, cujo valor coincide com o da *massa inercial*, definida operacionalmente por Euler com base na equação  $m = F/a$  (quanto maior for  $m$ , menos acelera a partícula sob a acção de uma força).

Passar-se-á o mesmo quando a partícula atinge altas velocidades?

A lei fundamental da dinâmica  $F = dp/dt$  mantém-se válida no domínio relativista desde que se adopte a definição de momento  $p = \gamma mv$ .

Substituindo esta expressão do momento na equação da lei fundamental e efectuando a derivação, obtém-se a seguinte relação

$$a = \frac{F - (F \cdot \beta) \beta}{\gamma m}$$

onde  $a$  representa a aceleração, dada por  $a = dv/dt$ , e  $\beta = v/c$ .

Esta expressão mostra que, em geral, a aceleração de uma partícula depende do ângulo que a força faz com a velocidade, e não tem a direcção e o sentido da força. A aceleração e a força são colineares apenas nos seguintes casos:

1.º — Quando a força  $F$  é transversal, isto é, actua perpendicularmente à velocidade.

Nesta situação particular, temos:

$$a = F/\gamma m \Leftrightarrow \gamma m = F/a$$

O produto  $\gamma m$  é a *massa transversal* e tem uma equação de definição igual à da massa inercial de Euler. Tal como esta, poderá de facto medir a inércia, mas apenas nesta situação em que a força é transversal, e em que só há, portanto, alteração da direcção da velocidade.

2.º — Quando a força  $F$  é longitudinal, ou seja quando actua na direcção da velocidade.

Neste caso, temos:

$$a = F/\gamma^3 m \Leftrightarrow \gamma^3 m = F/a$$

Agora é o produto  $\gamma^3 m$ , a chamada *massa longitudinal*, que é igual ao quociente da força pela aceleração e que, portanto, mede a inércia, mas apenas nesta situação em que a velocidade só varia em módulo.

Tal como vimos na primeira parte deste trabalho, estas massas transversal e longitudinal foram pela primeira vez introduzidas na Física antes de Einstein, no quadro conceptual da Física clássica (Gazeta de Física, n.º 1, 16, p. 9, 1993). Para tal, foi utilizado um modelo de electrão com estrutura. As propriedades decorrentes do modelo, e entre elas as dependências entre a massa e a velocidade, foram consideradas extensíveis a todos os outros corpos. No final do século passado, muitos físicos, tais como Abraham, Bucherer, Fermi, Kaufman, Langevin, von Laue, Lorentz, Planck, Poincaré, entre outros, envolveram-se apaixonadamente no problema da massa transversal e longitudinal (Adler, 1987, p. 741). Não admira, pois, que Einstein sentisse a necessidade de estabelecer, com base na Teoria da Relatividade Restrita, as expressões dessas massas, mas pouca ou nenhuma importância lhes atribuiu. E, acima de tudo, não considerou no seu trabalho original a massa relativista,  $M = m/\sqrt{1 - (v/c)^2}$  como uma medida da inércia da partícula. É fácil concluir por que motivo esta massa dependente da velocidade não se pode considerar uma propriedade da partícula capaz de medir a sua inércia.

Com efeito, para ser uma propriedade da partícula medidora da inércia, a massa deverá ser univocamente determinada, depender apenas da partícula e não de outras, e medir a inércia em todas as condições. Ora vimos que não há, afinal, uma só massa dependente da velocidade (isto é, no fundo há mais do que uma massa relativista...). Além disso, a chamada massa relativista,  $M = \gamma m$ , atrás referida, só é o quociente da intensidade da força pela aceleração quando a força actua transversalmente. Apenas nesse caso particular poderá servir como uma medida da inércia. No caso da força actuar longitudinalmente, já é outra a expressão da massa medidora da inércia.

Em suma: *só há uma propriedade* de uma partícula (dependente, portanto, apenas dela, e não do referencial ou do modo como a força actua) e *que pode medir a inércia* — ela é a *massa em repouso* da partícula e o seu valor coincide com o da sua massa newtoniana. (Alcaine, p. 60; Adler, p. 740).

O facto de se usar indevidamente (quanto a nós!) a massa relativista como uma medida da inércia é um

motivo razoável para ela ser abolida. Mas vamos ver outros motivos.

Como sabemos, um dos dois grandes pilares em que a Teoria da Relatividade Restrita assenta é o princípio da relatividade de Einstein: *as leis da Física são as mesmas em todos os referenciais de inércia*.

Este princípio impõe que as leis da Física sejam traduzidas por equações covariantes, isto é, que se transformam do mesmo modo ao passar de um referencial inercial para outro. Só assim as equações terão a mesma estrutura formal nos dois referenciais inerciais e, sendo válidas num, também o serão no outro. Ora é um facto que a equação  $p = Mv$  não é covariante, mas já o é a equação que corresponde a esta no espaço-tempo a quatro dimensões. Nessa equação, referente ao espaço-tempo de Minkowski, em lugar da massa relativista,  $M$ , aparece a massa em repouso,  $m$ , que é um duplo invariante de Lorentz: invariante no caso dos sistemas isolados, e invariante na passagem de um referencial inercial para outro.

Por outro lado, a massa relativista de uma partícula,  $M$ , dada por

$$M = \frac{E}{c^2}$$

acaba por ser fundamentalmente idêntica à sua energia total (pois é-lhe proporcional, sendo a constante de proporcionalidade universal). Por que não falar apenas na energia total da partícula e esquecer a massa relativista?

Finalmente, ainda podemos apresentar outro argumento. A massa relativista transporta consigo a conotação histórica que lhe foi atribuída pelos trabalhos de vários físicos anteriores a Einstein. Todos esses físicos procuravam ver na massa de uma partícula, quando a sua velocidade aumenta, uma variação produzida por uma alteração estrutural de qualquer tipo, uma modificação interna. Tem-se detectado, em investigações efectuadas na sala de aula, uma grande homogeneidade entre as concepções confusas e incorrectas em que a história da ciência é fértil, e as concepções reveladas por muitos alunos e professores, independentemente do lugar, da escola e do meio sócio-económico em que trabalham.

Ainda hoje muitos alunos e professores são induzidos a pensar que quando um corpo passa de uma baixa velocidade até uma velocidade próxima da que a luz apresenta no vácuo, alguma alteração se produziu na sua estrutura que fez com que a sua inércia aumentasse.

Suponhamos, por exemplo, um electrão em movimento lento. Se actuar neles uma força de  $9,1 \cdot 10^{-31}$  N, na direcção e sentido do seu movimento, ele leva 1 segundo para sofrer um aumento da sua velocidade de 1,00 m/s. Se ele se mover com uma velocidade de 99,5% da da luz, já vai levar quase 10 segundos para sofrer o

mesmo aumento de velocidade em idênticas condições. Será isto devido ao facto de a inércia do electrão ter aumentado 10 vezes? Não. O electrão é considerado hoje uma partícula sem estrutura, e não se aceita que a energia a ele fornecida, para o colocar àquela alta velocidade, tenha provocado qualquer tipo de alterações internas capazes de afectar a sua massa inercial. O facto do intervalo de tempo necessário para se verificar o acréscimo de 1m/s na velocidade do electrão ter aumentado dez vezes é meramente cinemático, e consequência da relatividade do tempo. A medição do intervalo de tempo está a ser feita no referencial de laboratório onde o electrão se move a alta velocidade. O intervalo de tempo de 1 segundo continua a ser sempre o mesmo no referencial do electrão. Só que é observado dilatado no referencial de laboratório, como consequência da mudança de referencial (dilatação temporal relativista).

Em suma: Quando um corpo aumenta a sua velocidade, aparenta alterar a sua estrutura de modo a aumentar a inércia, isto é, resistir mais à acção das forças. E dizemos que aparenta porque, de facto, a mesma força continua sempre a produzir a mesma alteração de velocidade no mesmo intervalo de tempo próprio (intervalo de tempo medido no referencial próprio, ou referencial em que o corpo está em repouso). Só que, no referencial de laboratório, quanto maior é a velocidade, maior é o intervalo de tempo correspondente a um dado intervalo de tempo próprio e durante o qual se processa um determinado aumento de velocidade sob a acção da força actuante. Observa-se, pois, que a força tem de actuar cada vez durante mais tempo para produzir o mesmo aumento de velocidade, não porque a massa inercial aumentou, mas porque o intervalo de tempo aumentou. Trata-se, portanto, de uma consequência da dilatação temporal e não de uma alteração da natureza ou da estrutura do corpo.

### 3. A massa como propriedade dos corpos

Ao não considerarmos a chamada massa relativista e todas as massas dependentes da velocidade, ficamos apenas com a massa em repouso (a massa própria é, como vimos, um caso particular da massa em repouso). Torna-se então possível e até recomendável deixar cair o qualificativo "em repouso", até porque essa massa, determinada para cada corpo, acaba por ser igual à sua massa newtoniana. De agora em diante *falaremos apenas em massa* com o significado da massa em repouso, por considerarmos que, como medida da inércia, «massa só há uma, a massa em repouso e mais nenhuma».

Os conceitos de massa relativista e massa em repouso resultaram, como vimos, de se ter associado o factor de Lorentz à massa newtoniana.

Mas, por que não associar o factor de Lorentz  $\gamma$  à velocidade, em vez de o ligar à massa? Não é um facto que este factor aparece na Teoria da Relatividade Restrita através de considerações cinemáticas baseadas nos conceitos relativos de espaço e tempo e nos dois postulados da teoria? Não será mais legítima a associação do factor de Lorentz à velocidade, grandeza cinemática directamente relacionada com o espaço e o tempo? Por tudo o que expusemos, entendemos que sim, e obtemos então para definição de momento linear

$$p = \gamma m \, dr / dt \Leftrightarrow p = m \, dr / dt / \gamma \Leftrightarrow p = m \, dr / d\tau$$

onde  $d\tau$  é o intervalo de tempo próprio,  $d\tau = dt/\gamma$ .

O momento é o produto da massa pela velocidade própria. Esta não é mais do que o quociente do deslocamento elementar no RL (referencial de laboratório) pelo tempo elementar próprio, portanto medido no referencial próprio.

A massa que aparece nesta expressão e nas demais expressões relativistas, ainda que tenha o mesmo valor que a massa newtoniana, adquiriu com Einstein um significado que não possuía na Física clássica. A massa de um corpo, para além de medir a inércia do corpo, passou a ser uma *grandeza fundamentalmente equivalente ao seu conteúdo de energia*. Toda a energia associada às moléculas e aos átomos, aos electrões e aos nucleões contidos no corpo, contribui para a sua massa. Se essa energia for alterada, altera-se a massa do corpo e, com ela a sua inércia. Diremos mesmo que *a inércia de um corpo é uma propriedade da energia que ele contém* (Baierlein, 1991, p. 174)

Sempre que um corpo livre é observado em movimento, a sua energia total é dada, como vimos em 1., por

$$E = mc^2 + E_c$$

e difere da sua massa. A massa do corpo continua a ser equivalente à energia nele contida, mas o corpo possui agora uma outra energia, a energia cinética inerente ao seu movimento global e que depende do referencial em que é observado esse movimento. Esta energia cinética, que não faz parte do conteúdo energético da partícula (é, por assim dizer, uma energia exterior), não contribui para a massa do corpo. A massa do corpo e a sua energia total passam agora a ser grandezas absolutamente distintas (Taylor e Wheeler, 1966, p. 137). Com efeito, enquanto que a massa é um invariante, a energia já depende do referencial em que o corpo é observado. Além disso, a

massa corresponde à grandeza do quadri-vector momento-energia <sup>(1)</sup> enquanto que a energia só corresponde uma componente desse quadri-vector ver, por exemplo, Taylor e Wheeler, 1992, p. 197).

Tendo em conta a expressão de energia total de uma partícula,  $E = \gamma mc^2$ , podemos obter a expressão da sua energia cinética:

$$E_c = (\gamma - 1) mc^2 = \left( \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} - 1 \right) mc^2$$

A energia cinética,  $E_c$ , torna-se infinitamente grande quando a velocidade  $v$  atinge a da luz,  $c$ . Tal como afirmou Einstein quando pela primeira vez estabeleceu a expressão anterior (Einstein, p. 84), velocidades superiores à da luz no vácuo,  $c$ , não têm, pois, possibilidade de existir.

Dividindo as expressões do momento e da energia temos:

$$p / E = \gamma m v / \gamma m c^2 = v / c^2 \quad (1)$$

Elevemos ao quadrado a expressão da energia para obter

$$E^2 (1 - v^2 / c^2) = m^2 c^4$$

Substituindo  $v$  tirado da expressão (1) e simplificando, obtemos finalmente

$$E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4$$

Esta relação fundamental mostra que as componentes do quadri-vector momento-energia se relacionam de modo a dar uma expressão invariante. Tal expressão permite-nos definir a massa  $m$  de uma partícula por meio da seguinte equação de definição:

$$m = \sqrt{E^2 - p^2 c^2} / c^2$$

A massa definida por esta expressão — *massa invariante de Lorentz* — é precisamente a raiz quadrada do quadri-vector momento-energia ao quadrado, dividido por  $c$  (corresponde, pois, à grandeza do quadri-vector momento-energia) e possui as seguintes características:

1.º — Coincide com a massa-energia (medida da inércia) que temos vindo a defender, pois temos no referencial em repouso ( $p = 0$ ):

$$m = \sqrt{E^2 - 0 \, c^2} / c^2 = E_0 / c^2 = \text{massa em repouso.}$$

(1) Generalização do vector momento do espaço euclídeano ao espaço-tempo de Minkowski, em que às três componentes do momento é acrescentada uma quarta componente que é a energia.

2.º — Prevê massa nula para aquelas partículas que não têm massa em repouso, isto é, para as quais nem é legítimo falar em referencial em repouso (caso dos fótons, por exemplo), pois temos

$$m = \sqrt{(pc)^2 - p^2 c^2} / c^2 = 0.$$

3.º — É invariante para as equações de transformação de Lorentz;

4.º — É ela que aparece em equações covariantes traduzindo as leis mecânicas no espaço-tempo a quatro dimensões.

"Quando trabalham em Física relativista, os físicos das partículas usam apenas o termo massa" (Okun, 1989, p. 31). Muitos outros físicos também já só trabalham com um conceito de massa. Infelizmente no ensino ainda se verifica muitas vezes a utilização da massa relativista e, o que é ainda pior, conotada com o conceito de inércia. Acreditamos que o ensino da Física ganhará em clareza se usarmos a espada de Occam<sup>(2)</sup> e considerarmos apenas uma só massa. Se pretendermos defini-la conceptualmente, consideramo-la como uma grandeza equivalente à energia contida no corpo, de que depende a sua inércia. Se pretendermos defini-la operacionalmente, recorremos à expressão  $m = \sqrt{E^2 - p^2 c^2} / c^2$  onde  $E$  é a energia do corpo e  $p$  a sua quantidade de movimento medidas no mesmo referencial. Dado o facto de esta expressão ser um invariante de Lorentz, a massa assim definida acaba por ser independente do estado de movimento e uma autêntica propriedade intrínseca da partícula.

Baierlein é de opinião de que *se não podemos substituir a palavra massa pela palavra inércia na frase de um autor, então este está a usar de modo confuso a palavra massa e a afirmação é profundamente suspeita*. (1991, p. 170). Ora tal não sucede, se usarmos sempre a palavra massa, aplicada a um corpo, com um significado conotado com o da energia em repouso do corpo, através da relação  $E_0 = mc^2$ . É esta a relação que traduz verdadeiramente a famosa equivalência massa-energia de Einstein (Okun, 1989, p. 31).

#### 4. Algumas «misconceptions» relacionadas com a massa

Numa transformação que ocorre num sistema isolado o conteúdo de energia deste mantém-se e, portanto, também se mantém a massa do sistema. Temos assim que a massa nos sistemas isolados é duplamente invariante: não varia ao longo do tempo, e também não varia de referencia de inércia para referencia de inércia. Daí o facto de Einstein ter afirmado que o princípio da conservação da massa se identifica com o da conservação da energia.

Vamos considerar uma situação concreta, uma reacção de desmaterialização ocorrida num sistema isolado. Imaginemos um electrão e um positrão movendo-se tão lentamente que se pode desprezar a energia cinética e o momento do sistema por eles formado. Tem-se, então, para o sistema electrão-positrão, ambos com a mesma massa  $m$ ,

$$p_i = 0$$

$$E_i = mc^2 + mc^2 = 2mc^2.$$

Vamos agora supor que em determinado momento o electrão e o positrão ficam a uma distância tal que são atraídos um para o outro acabando por colidir e originar dois fótons:

$$e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$$

É correcto falar-se em conversão de matéria e antimatéria em radiação, porque se trata de facto da transformação de «coisas» (o electrão e o positrão) que existem com determinadas propriedades numa outra «coisa» (a radiação) que existe com outras propriedades. Mas já não achamos correcto falar-se de conversão de matéria e antimatéria em energia. Como é que entidades tangíveis (o electrão e o positrão) se podem converter num atributo ou propriedade, um «construto» que caracteriza as «coisas» (a energia)? Será legítimo falar-se na conversão de água do mar em densidade?

Mas, poder-se-á perguntar: sendo a massa e a energia duas propriedades de um sistema, já será correcta a afirmação vulgar de que «na reacção de desmaterialização do sistema isolado electrão-positrão há conversão de massa em energia»?

Vamos admitir a validade da lei da conservação da energia e da lei da conservação do momento.

A energia total dos dois fótons é igual à energia total do electrão e positrão:

$$E_f = 2h\nu = 2mc^2.$$

Pela lei da conservação do momento temos, para o sistema:

$$p_f = p_i = 0.$$

Se a energia foi sempre a mesma, como pode ter havido uma conversão de «algo» em energia? Mas ... e a massa do positrão e do electrão? Afinal o electrão e o positrão têm massa e os fótons, considerados como partículas isoladas, não têm massa mas têm energia. Não poderemos então falar numa conversão de massa (do electrão e do positrão) em energia (dos fótons)? Em nossa opinião, não! Estamos perante, não um fioão, mas um sistema de dois fótons com energia total não nula e

(2) O filósofo e teólogo do séc. XIII, Guilherme de Ockam, era adepto de que *as entidades não devem ser multiplicadas sem necessidade*, asserção esta que ficou conhecida como «a espada de Occam».

momento total nulo. Então tal sistema tem um conteúdo de energia no referencial em que o momento total é nulo, e portanto onde o respectivo CM (centro de massa) está em repouso. Assim sendo, tal sistema possui um conteúdo de energia em repouso, logo tem massa (Alcaine, 1989, p. 61; Baierlein, 1991, p. 174).

A equação da definição de massa permite-nos calcular a massa do sistema dos fótons que, como vimos, tem momento nulo:

$$\sqrt{E_f^2 - p_f^2 c^2} / c^2 = \sqrt{(2mc^2)^2 - 0} / c^2 = 2m.$$

Vemos assim que a massa do sistema de fótons não é nula mas é igual a  $2m$ , ou seja igual à massa antes da ocorrência do processo. Não houve, pois, conversão de massa em energia. Houve, sim, conservação da massa e outra coisa podia suceder, aliás, já que a massa corresponde à grandeza do quadrvetor momento-energia e o momento-energia conserva-se nos sistemas isolados. O que variou foi a manifestação da energia: deixou de estar associada ao electrão e ao positrão na forma de energia em repouso (e de energia cinética que desprezamos apenas por simplicidade); passou a manifestar-se apenas na forma cinética, após a produção dos fótons. Mas o conteúdo de energia e a massa e, portanto, a inércia do sistema não mudaram. Mas... sendo a massa do fóton isolado nula, como pode ser não nula a massa do conjunto dos dois fótons? A massa total do sistema de fótons não é a soma das massas dos fótons?! Tal como muito bem realçam Taylor e Wheeler (1992, p. 247), *o que é aditivo não é a massa, mas, sim, a energia e o momento*. Não só a energia em repouso, equivalente à massa, de cada partícula de um sistema, contribui para o conteúdo energético do sistema, logo para a massa deste. Toda a energia (cinética ou potencial) das partículas do sistema, como já afirmámos, contribui para a massa do sistema. Se, por exemplo, tivermos um sistema de  $n$  partículas livres, a massa do sistema excederá a soma das massas das suas partículas numa quantidade equivalente à soma das energias cinéticas dessas partículas (quando medidas no referencial próprio, isto é, onde o momento total é nulo). No caso dos dois fótons, a soma das massas das duas partículas é zero, mas a massa do sistema dos fótons não é nula, porque eles têm energia cinética que contribui para a energia em repouso do sistema<sup>(3)</sup>. E, afinal, não é este caso o único em que o todo é algo mais que a soma das partes...

## Resumo

Neste artigo defendemos a *abolição da massa relativista* ou massa dependente da velocidade, que consideramos uma «misconception» que a história da evolução das ideias relativistas, mais do que o próprio Einstein, ajudou a estabelecer. Uma partícula, para sofrer um dado

aumento de velocidade num certo intervalo de tempo, exige uma força cada vez maior, quando a sua velocidade se aproxima da velocidade da luz. Este facto induziu a ideia de que a estrutura da partícula, a sua energia própria e a sua massa, foram afectadas, quando, na realidade, isso é uma consequência da dilatação temporal relativista.

A massa e a energia de uma partícula são *grandezas* diferentes correspondendo a primeira à grandeza do quadrvetor momento-energia e a segunda a uma componente, apenas, desse quadrvetor. A massa não varia de referencial de inércia para referencial de inércia e a energia varia. Partículas há que possuem energia mas não possuem massa.

A massa de um sistema equivale à sua energia em repouso, isto é, à energia das suas partículas constituintes medida no referencial próprio (referencial em que o momento linear total é nulo), já que apenas quando o momento é nulo o quadrvetor momento-energia se reduz à componente energia. Uma parte, e só uma parte, desta energia em repouso equivale à soma das massas das partículas. Por conseguinte, a massa de um sistema excede a soma das massas das suas partículas numa quantidade igual à energia que essas partículas possuem no referencial próprio. Se a energia em repouso do sistema se mantém, mantém-se a massa. Se o sistema perde energia para o exterior, a massa diminui; se recebe energia do exterior a massa aumenta. Trata-se de variações concomitantes ou correlativas da massa e energia do sistema, e não de conversão de massa em energia ou de energia em massa.

## BIBLIOGRAFIA

### 1. Em português

- EINSTEIN, A., Sobre a Electrodinâmica dos corpos em movimento, in TEXTOS FUNDAMENTAIS DA FÍSICA MODERNA, I volume — O PRINCÍPIO DA RELATIVIDADE, Fundação Calouste Gulbenkian, 1972
- EINSTEIN, A., A inércia de um corpo será dependente do seu conteúdo energético?, in TEXTOS FUNDAMENTAIS DA FÍSICA MODERNA, I volume — O PRINCÍPIO DA RELATIVIDADE, Fundação Calouste Gulbenkian, 1972
- PAIS, A., Subtil é o Senhor, Edit. Gradiva, Lisboa, 1993

### 2. Em outras línguas

- ADLER, C., Does mass really depend on velocity, dad?, Am. J. Phys. 55 (8), August 1987
- ALCAINE, G., Sobre masa y energia, Revista Española de Física, 3, 1, 1989
- BAIERLEIN, R., Teaching  $E = mc^2$ , The Physics Teacher, March 1991
- EINSTEIN, A., Sobre la teoría de la relatividad especial y general, Alianza Editorial, Madrid, 1984
- EINSTEIN, A., Notas autobiográficas, Alianza Editorial, Madrid, 1984
- JAMMER, M., Concepts of mass, Harvard University Press, Cambridge — Massachusetts, 1961
- NOVAK, J.; GOWIN, D., Learning how to learn, Cambridge University Press, Cambridge, 1991
- OKUN, L., The concept of mass, Physics Today, June 1989
- RON, J., El origen y desarrollo de la relatividad, Alianza Universidad, Madrid, 1983
- STACHEL, J.; TORRETTI R., Einstein's first derivation of mass-energy equivalence, Am. J. Phys. 50(8), Aug 1982
- TAYLOR, E.; WHEELER, J., Spacetime Physics, Introduction to Special Relativity, WH Freeman & Company., 1992

<sup>(3)</sup> É legítimo falarmos em energia em repouso e, portanto, em massa do sistema dos dois fótons, porque existe para esse sistema um referencial próprio, no qual o momento total é nulo (ainda que o momento de cada fóton não o seja).

# MEDIDAS MAGNÉTICAS EM PROSPECÇÃO ARQUEOLÓGICA

MANUEL JOÃO SENOS MATIAS

Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 3800 Aveiro

*As medidas de campo magnético terrestre podem ser aplicadas à localização de vestígios arqueológicos, em particular os que sofreram aquecimento prolongado, como antigos fornos e peças de cerâmica cozida. Contudo o carácter bipolar do campo magnético, a inclinação do vector campo e a magnetização do corpo anómalo pode tornar complexas as anomalias registadas e mesmo deslocá-las da posição dos corpos que as originam. Para ultrapassar este problema recorre-se ao método da redução ao polo de medidas magnéticas obtidas em dois locais de interesse arqueológico.*

## 1. Introdução

O campo magnético terrestre é concerteza dos assuntos mais antigos da Geofísica, e variados estudos têm sido efectuados no sentido de determinar as suas origens e características.

À aplicação de estudo do campo magnético terrestre à procura de recursos minerais chama-se prospecção magnética e geralmente, neste âmbito, considera-se que o valor medido do campo magnético num ponto é o resultado de três factores [1]:

— *campo principal*, de origem interna, variando muito lentamente com o tempo e que constitui a principal contribuição para a medida;

— *campo externo*, que como o nome indica tem origem externa à Terra, variando rapidamente com o tempo, de um modo cíclico mas com flutuações aleatórias sobrepostas;

— *campo local variável*, normalmente bastante mais pequeno que o campo principal, e que é devido a anomalias magnéticas locais na parte superficial da crosta terrestre.

É claro que os objectivos da prospecção magnética são as *variações* locais do campo e a sua *localização*.

Nos anos sessenta constatou-se [2, 3], que estas variações também podem ser provocadas por ruínas arqueológicas, em particular as que sofreram aquecimento prolongado, como antigos fornos e peças de cerâmica cozida. De facto, o contraste entre a susceptibilidade magnética daqueles vestígios arqueológicos e do terreno circundante é apreciável, sendo atribuído à reorientação de domínios magnéticos dos minerais ferromagnéticos constituintes das argilas quando arrefecem na presença do campo magnético terrestre, após terem sido aquecidos a temperaturas superiores à sua temperatura de Curie. O tipo de magnetização resultante é muito estável e costuma chamar-se *magnetização termoremanescente* [4].

No presente trabalho apresentam-se dois exemplos da aplicação da prospecção magnética à Arqueologia, bem como uma técnica de processamento de dados, a chamada «Redução ao Pólo» que permite melhorar a interpretação e localização de anomalias magnéticas com interesse arqueológico.

Embora este artigo não aborde a teoria de campo de potencial e princípios matemáticos que fundamentam todo o trabalho, a bibliografia referenciada permite o aprofundamento das matérias



Linhas de força do campo magnético produzido por uma barra magnética.

expostas. Espera-se sim despertar a curiosidade e fomentar a aplicação destes métodos a trabalhos práticos aparentemente simples e com resultados fáceis de confirmar.

## 2. Princípios da prospecção magnética

Em qualquer local da Terra, uma agulha magnética orienta-se segundo a direcção do campo magnético terrestre  $F$ , Fig. 1. Normalmente, esta direcção fará um ângulo  $I$  com a sua componente vertical,  $Z$ , enquanto a sua projecção horizontal,  $H$  (Fig. 1) fará um ângulo  $D$  com a direcção Norte-Sul.

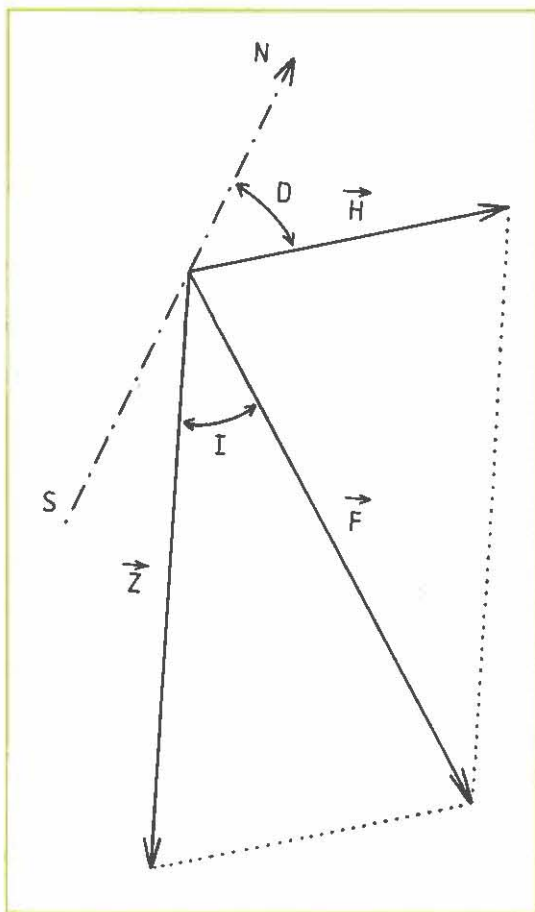


Fig. 1 — Componentes do Campo Magnético Terrestre  
 $F$  - vector campo;  $Z$  - componente vertical;  
 $H$  - componente horizontal;  $D$  - declinação;  $I$  - inclinação

Hoje em dia, na prospecção magnética medem-se as magnitudes do vector  $F$  (campo total) ou dos vectores  $H$  e  $Z$  (componentes horizontal e vertical). O desenvolvimento da electrónica permitiu construir aparelhos, chamados magnetómetros, leves, baratos, expeditos, fáceis de operar e com sensibilidade da ordem

do nanoTesla (nT), portanto convenientes para usar em prospecção arqueológica.

Em Arqueologia é comum fazer as medidas com o sensor junto ao solo de modo a aumentar a detectabilidade das ruínas, usando-se uma grelha de amostragem, normalmente quadrada, com lado variando de 0,5 m a 2 m.

Os resultados costumam ser apresentados sob a forma de um mapa de contorno, em nT, sobre o qual se faz a interpretação.

## 3. Dados de campo

No presente trabalho vão ser apresentados dados de campo magnético referentes a dois locais com interesse arqueológico: Ferrol e Alcochete.

### Ferrol

Nas proximidades de Ferrol, NW Espanha, realizou-se um trabalho de prospecção magnética, medindo o campo total, vector  $F$  na Fig. 1. As leituras foram executadas sobre uma malha quadrada de 2 m x 2 m, num local onde se suspeitava da existência de ruínas romanas [5].

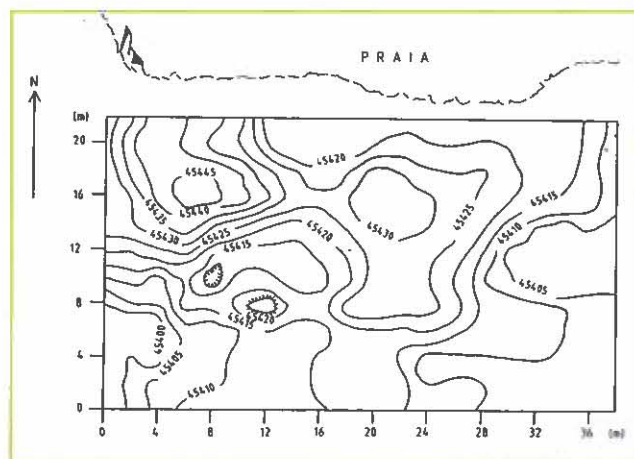


Fig. 2 — Mapa Magnético de Ferrol  
(contornos em nanoTesla)

O mapa magnético da Fig. 2, mostra alguns máximos locais situados no ponto (12,8) e na parte noroeste do mapa, que devem ter interesse arqueológico.

### Alcochete

Próximo da vila de Alcochete existem alguns fornos romanos, suspeitando-se da existência de outros ainda não localizados [6].

Assim, foi mapeada uma área sobre uma grelha 1,5 m x 1,5 m e desenhada a carta da Fig. 3. Neste caso foram executadas medidas de componente vertical do campo, vector **Z** da Fig. 1. Os contornos apresentados na Fig. 3 são de 10 em 10 nT, pois o magnetómetro utilizado tem sensibilidade inferior à do usado em Ferrol.

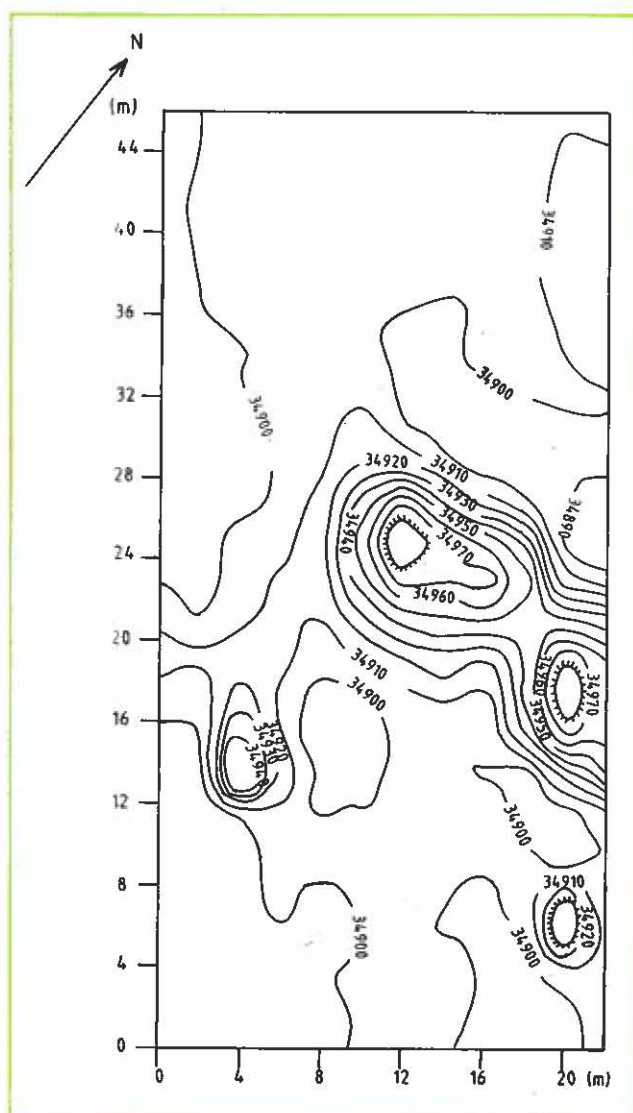


Fig. 3 — Mapa Magnético de Alcochete  
(contornos em nanoTesla)

O mapa da Fig. 3 mostra claramente duas anomalias situadas em pontos com as coordenadas (20,18) e (12,25), e outras de menor dimensão e amplitude na parte inferior da carta, ponto (4,14).

São estes os locais com maior interesse arqueológico.

#### 4. Redução ao Pólo

A interpretação de anomalias magnéticas oferece algumas dificuldades devido ao carácter bipolar do campo magnético, à inclinação dos vectores campo e à magnetização do corpo anómalo. Por isso, as anomalias registadas são muitas vezes complexas e estão deslocadas da posição dos corpos que as provocam. Em prospecção arqueológica este «desfasamento posicional» pode levar a escavações infrutíferas.

Para ultrapassar estes problemas têm surgido métodos numéricos de processamento de dados de entre os quais a «Redução ao Pólo» [7, 8]. Com esta técnica pretende-se corrigir a forma da anomalia de modo a apresentar um novo mapa de valores semelhante ao obtido se as medidas tivessem sido efectuadas no pólo magnético, isto é, se os vectores campo e de magnetização fossem verticais. Nestas circunstâncias, a localização das anomalias corresponderia à dos corpos que as provocam.

É sabido que o campo magnético terrestre pode ser representado matematicamente por uma série dupla de Fourier e, por isso, não é difícil calcular matematicamente o campo magnético reduzido ao pólo [9]. Será pois possível «corrigir» e «clarificar» a posição e os tipos de anomalias registadas [10].

Pretende-se agora reduzir ao pólo os dados de prospecção de Ferrol e Alcochete, usando para tal valores de inclinação e declinação magnética obtidos em Observatórios Magnéticos situados perto dos locais de trabalho.

A redução foi feita usando programas em Fortran 77 num PC386/87, que leva cerca de um minuto a processar uma grelha de 20 por 30 pontos.

##### 4.1. Dados de Ferrol

A Fig. 4 mostra o mapa de redução ao pólo das medidas magnéticas de Ferrol. Comparando este mapa com o da Fig. 2 nota-se que:

- as anomalias positivas registadas na Fig. 4, estão deslocadas de 2 a 4 m para norte em relação aos máximos registados na Fig. 2;

- na Fig. 4, desenvolve-se claramente uma anomalia polar em (20,18) que após escavações, Fig. 5, corresponde a um pátio interior das construções romanas, onde é normal a deposição de matéria orgânica que dá origem a um conhecido mineral magnético, a magnemite;

- o pólo identificado em (12,10) corresponde a uma grande lareira, como se pode verificar na Fig. 5;

— na parte noroeste da Fig. 4 desenvolve-se uma área de valores positivos e elevados que correspondem a um local onde, a cerca de 4 m de profundidade, foi encontrada grande quantidade de madeira queimada e carvão;

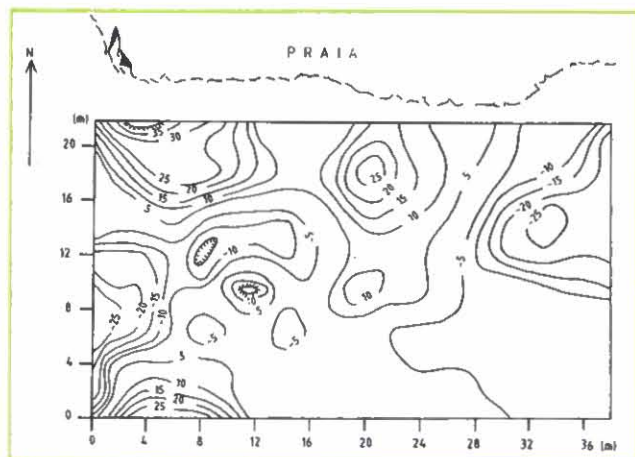


Fig. 4 — Mapa de redução ao pólo de Ferrol (contornos em nanoTesla)

— a zona anômala a SW na Fig. 4, que não tinha sido revelada na Fig. 2, é uma área de possível continuação dos vestígios romanos, conforme é sugerido pelo mapa das escavações, Fig. 5;

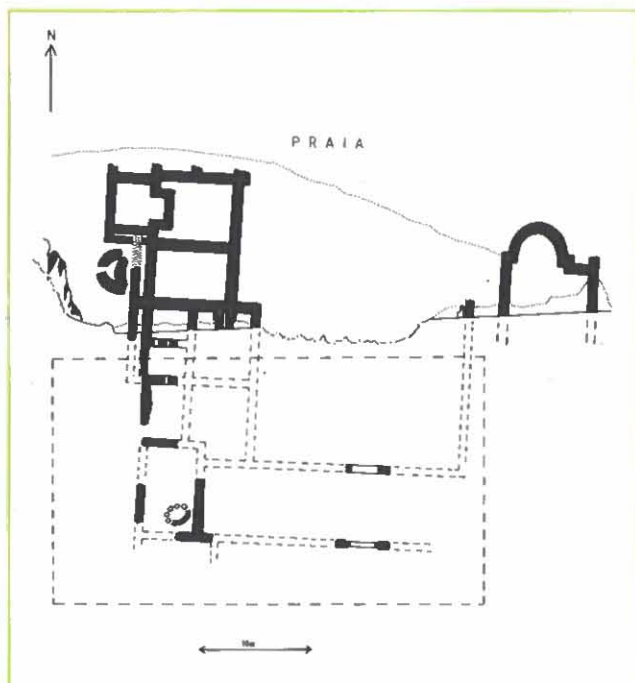


Fig. 5 — Escavações Arqueológicas em Ferrol

— a área de valores negativos, cerca de (2,8), corresponde à proximidade à superfície dos xistos que existem na região.

#### 4.2. Dados de Alcochete

No mapa da Fig. 6 encontra-se a redução ao pólo das medidas da Fig. 3. Comparando as duas Figs. conclui-se que:

- as anomalias positivas da Fig. 6 estão deslocadas 2 a 3 metros para NW em relação aos máximos da Fig. 3;
- a redução ao pólo proporcionou uma maior «agudização» das anomalias registradas, revelando-se elevados gradientes;
- são claramente visíveis três núcleos anômalos: um em (10,25), outro em (18,18) e um terceiro, de menores dimensões, em (3,14).

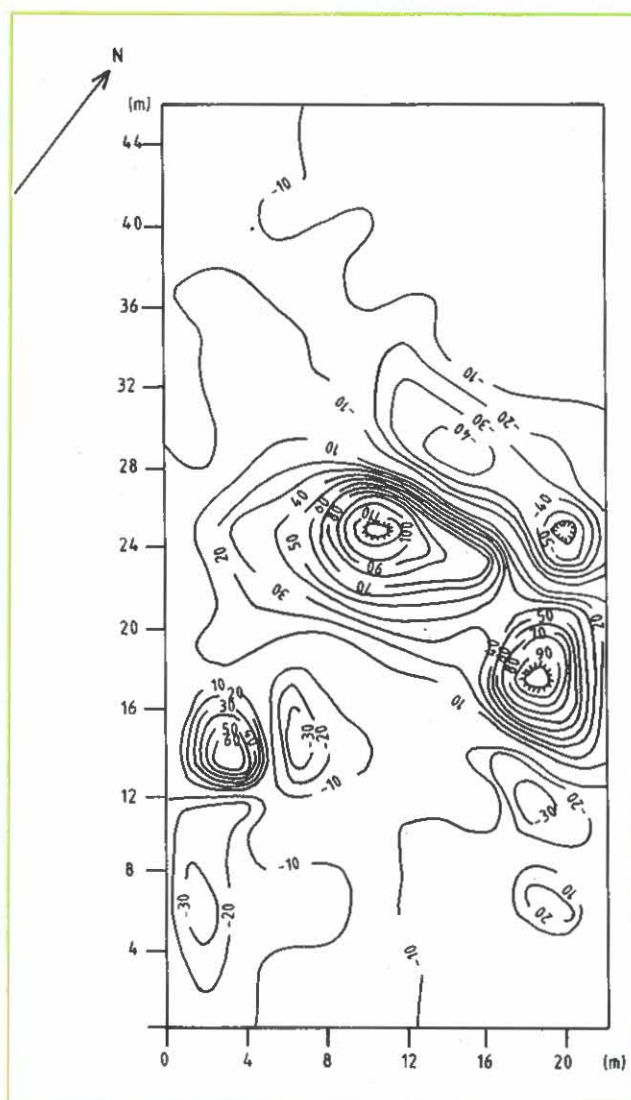


Fig. 6 — Mapa de redução ao pólo de Alcochete (contornos em nanoTesla)

Na Fig. 7, as localizações destes três núcleos foram projectados conjuntamente com a da ruínas já descobertas. É óbvio que o núcleo em (18,18), Fig. 6, e

A1 na Fig. 7, corresponde à parte ainda soterrada de um forno já descoberto. Contudo, o núcleo a (10,25), Fig. 6, e A na Fig. 7, deve constituir outra área de enorme interesse, tanto mais que está alinhado com A1 e o outro forno já completamente descoberto, Fig. 7.

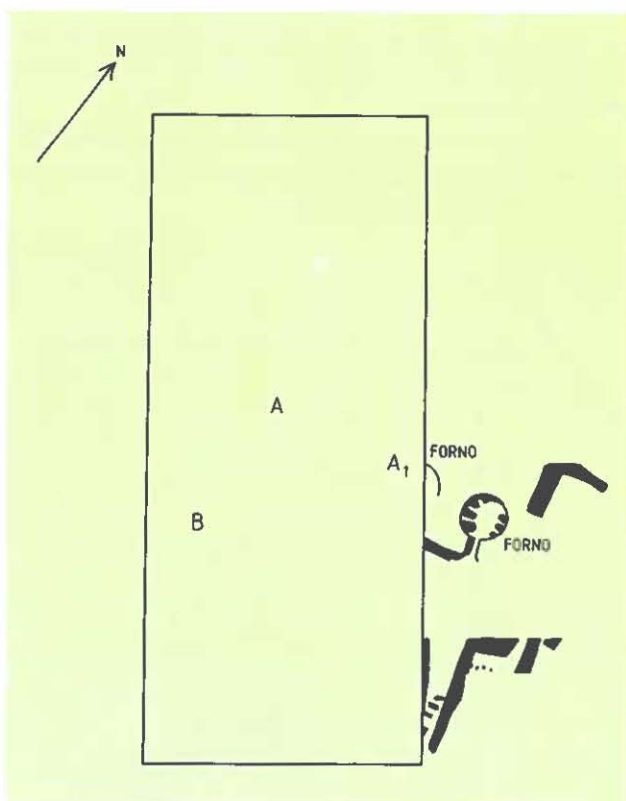


Fig. 7 — Escavações Arqueológicas em Alcochete

Quanto a (3,14), Fig. 6, ou seja B na Fig. 7, ele define outro ponto de interesse arqueológico, que pode estar na continuação de vestígios já descobertos, representados na parte inferior direita da Fig. 7.

## 5. Conclusões

As medidas de campo magnético terrestre são um meio expedito de obter informação relevante para perspetivar escavações arqueológicas, em particular, na presença de estruturas que sofreram aquecimento, tais como fornos, lareiras, cerâmica, etc.

Contudo, a inclinação dos vectores campo e magnetização pode «deslocar» as anomalias do local dos corpos que as provocam.

A redução ao pólo de dados de campo magnético terrestre permite «agudizar» as anomalias registadas, tornando-as mais claras e salientes do fundo magnético

regional e «focalizar» as anomalias, conferindo-lhes um aspecto mais simples de interpretar além de as centrar sobre os corpos que as provocam.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] TELFORD, W., GELDHART, L., SHERIFF, R., KEYS, D. — Applied Geophysics, Cambridge University Press, London (1979).
- [2] AITKEN, J. C. — Physics and Archaeology, Interscience, London (1961).
- [3] TITE, M. S. and ALFRED, J. C. — Aplicação dos métodos científicos de prospecção em estações arqueológicas portuguesas, (trad. por Alarcão), Trabalhos de Antropologia e Etnologia, Porto, vol. XX, fasc. 1-2, 147-160 (1965/66).
- [4] BREINER, S. — Applications manual for portable magnetometers, Geometrics, Sunnyvale, USA (1973).
- [5] SENOS MATIAS, M. J. e ALMEIDA, F. — A geophysical survey on the Archaeological site of Mugardos (NW Iberian Peninsula), Journal of Applied Geophysics, vol. 29, 119-124 (1992).
- [6] SENOS MATIAS, M. J. — Prospecção Magnética em Porto de Cacos, Almaden, II serie, n.º 1, 13-14 (1992).
- [7] BARANOV, V. — A new method for interpreting of aeromagnetic maps: pseudo-gravimetric anomalies, Geophysics, vol. 22, 359-383 (1957).
- [8] BARANOV, V. — Potential Fields and their transformations in Applied Geophysics, Geopublications Associates, monograph no. 6, Gebrueder Borntraeger, Berlin (1975).
- [9] BHATTACHARYA, B. — Two dimensional harmonic analysis as a tool for magnetic interpretation, Geophysics, vol. 30, 829-857 (1965).
- [10] CASAS, A., PINTO, V., GENT, J., RIERA, S. e BURES, L. — Application de la Prospeccion Magnetica en la localizacion de hornos de ceramica romana de Naves (Llerida), Revista da Universidade de Aveiro — Geociências, vol. 5, 113-122 (1990).

## 1<sup>st</sup> European Conference on Synchrotron Radiation in Materials Science

3 - 8 July 1994

Chester, England

— Daresbury Laboratory —

## O que há de novo?

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

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

Para esta cobertura contamos desde já com a colaboração de *Eduardo Lage, Matos Ferreira, Carlos Fiolhais, Ana Noronha, J. Lopes dos Santos, Margarida Telo Gama, Marília Thomaz, António Moreira Gonçalves, Anabela Martins*. Agradecem-se outras colaborações para esta secção.

### Statistical Physics and Biology



PROF. GIORGIO PARISI,  
da Universidade de Roma.  
Galardoado com o Prémio  
Boltzmann em 1992 atribuído  
pela IUPAP, a mais elevada  
distinção a nível mundial no  
domínio da Física Estatística.

O autor deste texto, Giorgio Parisi, é um dos mais brilhantes físicos teóricos da actualidade. Aliando uma invulgar intuição física com um raro domínio de técnicas e truques matemáticos, Parisi segue na tradição de Dirac ou Landau, tendo em 1992 recebido a medalha Boltzmann, o mais alto galardão internacional atribuído na área de Física Estatística. Com inúmeros trabalhos de grande originalidade em múltiplas áreas da Física Teórica, é dele que têm saído, nos últimos 15 anos, soluções tão inovadoras quanto inesperadas para problemas que, embora oriundos do estudo dos sistemas desordenados, interessam a largos domínios da física, biologia, teoria da informação ou economia. Se me alongo um pouco na apresentação deste autor é porque me parece necessário, por um lado, realçar que Parisi é o físico mais bem colocado para escrever este artigo e, por outro lado, para justificar que a sua leitura, não sendo fácil, é imprescindível para uma compreensão atenta de resultados que se julgariam sair da ficção científica. Há

problemas de Física que começam a ficar tão perto de nós, seres humanos, que não nos podemos alhear das imagens que, de nós mesmos, esta Ciência vai construindo — a origem da vida, a natureza da memória, os mecanismos da aprendizagem, a interpretação da consciência e do pensamento, estão a ser discutidos e modelizados na Física, embora de forma ainda muito incipiente, mas com avanços seguros e que permitem equacionar com precisão questões que, até há pouco, ocupavam, apenas, estudiosos da filosofia.

O que está por detrás destes resultados é o progresso ocorrido na evolução dos computadores e nas técnicas de Física Estatística. Esta última ocupa-se da interpretação do comportamento de sistemas macroscópicos (com muito grau de liberdade) a partir da modelização dos elementos que os constituem e das suas interações. Uma conclusão fundamental, obtida do estudo de sistemas apresentando transições de fase, é a independência do comportamento macroscópico relativamente a muitos detalhes microscópicos, o que permitiu unificar, em grandes domínios de universalidade, sistemas físicos tão diversos quanto são, por exemplo, líquidos, magnetos, ferroelétricos, supercondutores, superfluidos, cristais líquidos, polímeros... Contudo, a maioria destes sistemas é «simples», no sentido em que exibem uma ou outra fase termodinâmica, tal como acontece na fusão do gelo ou na condensação da água. Esta simplicidade resulta menos de uma falta de imaginação da natureza que da nossa incapacidade para resolver problemas analiticamente mais complicados, obstáculo só recentemente ultrapassado com a introdução do computador na simulação de sistemas complexos. A associação da Física Estatística com os poderosos processadores veio revelar uma riqueza e variedade de comportamentos absolutamente inesperada.

Um primeiro exemplo, pelo menos historicamente, de sistema «complexo» é o vidro de spin, liga metálica (Cu, Au) onde se diluíram alguns íons magnéticos (Mn, Fe). Parecendo «simples», estes sistemas exibem estranhos fenómenos de irreversibilidade e não ergodicidade, atribuídos aos muitos mínimos locais que a energia livre apresenta no espaço de fase. E, contudo, a nível atómico trata-se, apenas, de spins, cada um dos quais tentando ordenar-se no campo criado pelos outros e contribuindo, por sua vez, para esse campo, num processo dinâmico de «feed-back» que as técnicas de Monte Carlo tão eficazmente permitem simular num computador. São estes os ingredientes essenciais para construir um sistema «complexo» — cooperação de muitos elementos idênticos para definição de fases macroscópicas relativamente estáveis, interacções contraditórias ou competitivas entre esses elementos determinando uma dinâmica individual, evolução no espaço de configurações através de processos estocásticos. Tais sistemas revelam estruturas ultramétricas na classificação dos mínimos da energia, onde mínimos próximos se obtêm, um do outro, por alteração de uma fracção finita de elementos. Se a cada mínimo ficar associado um padrão (codificado em linguagem binária, no caso dos sistemas de spins), compreenderemos que esse padrão pode ser «recordado» por um estado inicial («input») relativamente próximo. É fácil perceber, aqui, um modelo para a memória (o modelo de Hopfield), o qual originou uma enorme área de investigação com imensas possibilidades tecnológicas, algumas já implementadas na indústria (reconhecimento de padrões, memórias neuronais, autómatos que aprendem, etc.).

A estrutura ultramétrica assenta num conceito de distância diferente do habitual na geometria, mas bem conhecida dos biólogos; espécies com «antepassados-pais» comuns estão mais próximos entre si que de outras espécies com quem partilham «antepassados-avós» comuns. A variedade das espécies resulta da evolução, por selecção natural, de organismos que cooperam na reprodução e competem pela sobrevivência em diferentes tipos de ambientes. Mas estes são, precisamente, os ingredientes fundamentais dos sistemas «complexos» da Física Estatística. O comportamento colectivo de tais sistemas não pode ser compreendido se estudarmos um indivíduo isoladamente ou se nos concentrarmos apenas nas interacções — é essencial considerar os muitos mínimos (padrões de memória, espécie biológicas) do espaço de fase e a evolução dinâmica do sistema, parcialmente determinada pelas interacções, mas com elementos de aleatoriedade (transições entre estados) essenciais para permitir a exploração de todos os estados microscópicos do sistema. O acaso e a necessidade, que J.

Monod considerou as forças básicas na biologia, são, afinal, os princípios fundamentais, também, dos sistemas «complexos» de que se ocupa a moderna Física Estatística. Talvez comece a estar ao nosso alcance modelizar uma bactéria como um sistema formado por milhares de proteínas em interacção entre si e com um ADN central onde se localizam os genes que codificam os caracteres. Talvez comecemos a vislumbrar como mil milhões de neurónios, cada um ligado sinápticamente a milhares de outros, se organizam num cérebro que pensa.

*Physics World*, September 93, p. 42-47

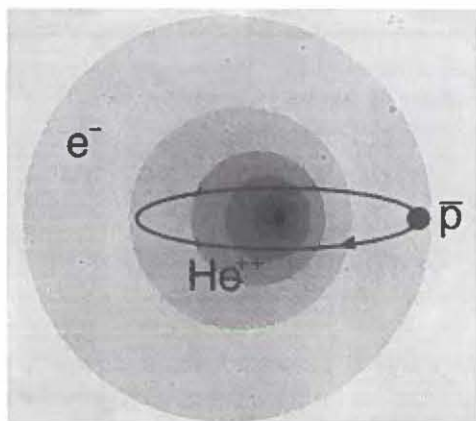
E. L.

## A matter of anti-matter

A antimatéria foi «inventada» por Dirac, em 1930, como solução para o problema das energias negativas que a sua equação (criada, em 1928, para férmions de spin  $1/2$ , como electrões ou prótons) previa. Dirac postulou que quase todos esses estados se encontravam ocupados, interpretando um estado não ocupado (ou vazio) de energia negativa como um estado ocupado pela antipartícula correspondente de energia positiva. Ninguém acreditou nos «buracos» de Dirac — conta-se que Pauli logo ironizou que, se tal substância existisse, então haveria um anti-Dirac que imediatamente destruiria Dirac, evitando ouvir-se tais dislates! Mas, apesar deste «2.º princípio da exclusão», o facto é que, em 1932, C. Anderson observava positrões (ou antieletrões) justificando plenamente que Dirac recebesse o Nobel da Física de 1933 (o mesmo acontecendo a Anderson em 1936). Duas décadas mais tarde, descobria-se o antipróton e, a seguir, o antineutrão.

Hoje, ninguém mais duvida da existência desta simetria fundamental que, a cada partícula, faz associar uma outra, com a mesma massa e spin, mas cargas e momentos magnéticos opostos. Nos grandes aceleradores é já possível criar antipartículas (a partir da conversão da energia cinética de partículas altamente aceleradas) em quantidades apreciáveis, embora com eficiências bastante reduzidas. A grande dificuldade (subjacente à ironia de Pauli) é como guardar antimatéria — por exemplo, um antipróton e um próton encontrando-se, desaparecem instantaneamente, com abundante produção de raios  $\gamma$  (e outras partículas) criadas a partir da energia total (no mínimo, cerca de 2000 MeV, para cada par). O problema da conservação da antimatéria tem, porém, vindo a ser resolvido com crescente sucesso — as «ratoeiras» (traps)

de Pennig e de Paul (ver *Scientific American*, Julho 93, p. 46-53) usam campos eléctricos e magnéticos que mantêm as antipartículas afastadas do contacto com a matéria, tendo-se já obtido um «engarrafamento» de centenas de milhares de antiprótons, durante dois meses, sem perdas (\*). Assim guardadas, as antipartículas podem ser utilizadas com mais facilidade na realização de diversas experiências de física fundamental — por exemplo, matéria e antimatéria comportar-se-ão do mesmo modo num campo gravítico? Os níveis de energia do anti-hidrogénio (antipróton com positrão) serão iguais aos do hidrogénio? Por que parece ser toda a substância do Universo feita de matéria, sem sobras apreciáveis de antimatéria?



Um estranho átomo de Hélio — um dos electrões foi substituído por um antipróton que, por ter massa muito maior, se move mais lentamente, arrastando o outro electrão, de forma semelhante ao sistema Sol-Terra-Lua.

Mas são, também, já possíveis diversas aplicações médicas — por exemplo, na detecção muito precisa e precoce de tumores (ou outras alterações da densidade celular) e mesmo na sua destruição, dada a imensa energia libertada na aniquilação próton-antipróton. Por último, o autor (R. L. Forward) deste interessante artigo considera uma antevisão de um futuro já exequível — com miligramas de antimatéria, libertando imensa energia numa aniquilação controlada, podemos aquecer muito mais eficazmente gases (hidrogénio) que, expelidos em jactos fortes, impulsionarão naves espaciais na conquista das estrelas vizinhas... A imaginação humana só é ultrapassada pela da Natureza!

*1994 Yearbook of Science and the Future*, p. 28-45

E. L.

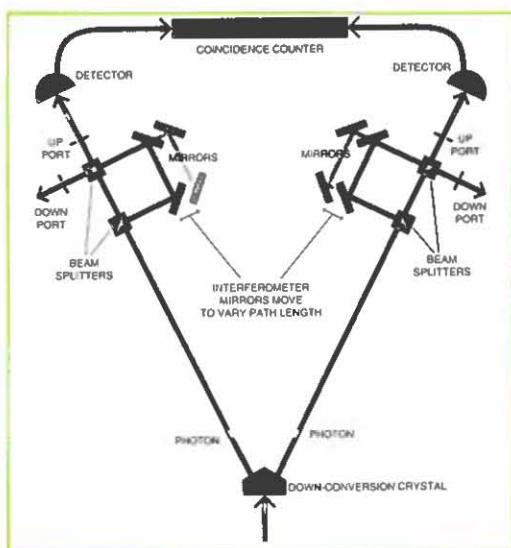
(\*) Ver «How long do antiprotons last?», de J. Eades, *Europhysics News* 24 172 (1993).

## Faster than light?

Este título poderá levar o leitor a julgar que se trata de um artigo sobre a teoria da relatividade. Não é — o artigo aborda diversas experiências da moderna óptica quântica, área de que os seus autores (R. Y. Chiao, P. G. Kwiat e A. M. Steinberg) são investigadores de reconhecido mérito. As técnicas mais recentes de óptica e electrónica permitem, hoje, realizar aquelas experiências ideais que se discutem, por vezes de forma tão esquemática, nos cursos introdutórios de mecânica quântica. Se o leitor passou por um desses cursos, talvez tenha ficado com a ideia que a física quântica, enquanto teoria, é estranha e esotérica, mas as suas interpretações não serão para levar muito a sério, pois que as experiências que as confirmam parecem inteligivelmente próximas do que nos é familiar. Por exemplo, o «microscópio de Heisenberg», tão usado para discutir as relações de incerteza, só pode ser um aparelho usado por físico teórico... Já a experiência de Sten-Gerlach, reveladora da existência de estados atómicos estacionários, não parece constituir qualquer desafio ao senso comum. Ora, é na fusão do que a teoria tem de mais surpreendente com o que a experiência tem de mais simples que vemos surgirem, de vários laboratórios de óptica, os estranhos resultados aqui apresentados. Essencialmente, as experiências são feitas com dois fótons, idênticos, gerados no mesmo instante e propagando-se segundo dois braços iguais de um interferómetro, sendo detectados, em coincidência, por métodos de electrónica ultra-rápida. Os resultados, bem interpretados pela teoria quântica, desafiam o senso comum e parecem fazer intervir acções instantâneas à distância (interacções não locais, como são conhecidas) que violariam a relatividade (daí o título!) e o princípio da causalidade (as causas precedem os efeitos!). Usarei, aqui, uma analogia para descrever a 3.<sup>a</sup> experiência de não localidade apresentada neste artigo.

Imagine o leitor que tem dois filhos gémeos que saem, no mesmo instante, da casa paterna e se dirigem, cada qual por seu caminho, para casa dos avós, onde são recebidos. Os dois caminhos são iguais, mas independentes, e cada um apresenta, em paralelo, dois atalhos, um curto e outro comprido (e de comprimento variável). Além disso, cada caminho tem, também, a juzante dos atalhos, duas saídas, só uma delas levando a casa dos avós. Verifica-se que, em 50% dos casos, cada um dos filhos escolhe a saída para os avós, mas, surpreendentemente, também se verifica que os filhos tendem a escolher, simultaneamente, as mesmas saídas — isto é, os avós não são visitados ao mesmo tempo pelos dois netos em 25% dos casos. Como é isto possível, estando os filhos tão afastados no momento das decisões, que estas parecem independentes? Terão combinado, ao

sair da casa paterna, qual a saída que mais tarde tomam? Mas os avós constatarem que a frequência da chegada simultânea dos dois netos depende do comprimento do atalho maior — variando o comprimento deste, alteram, continuamente, aquela frequência para cima e para baixo dos 25% referidos. Ora, como é possível aos gémeos, quando saem da casa paterna, saber antecipadamente o comprimento de um dos atalhos? E como é possível, a um dos filhos informar, instantaneamente, o seu irmão gémeo, da sua escolha de atalho, influenciando-o na opção das saídas? Segundo a teoria quântica, cada gémeo segue simultaneamente os dois caminhos e, em cada caminho, os dois atalhos — o resultado final é consequência desta interferência das vias alternativas possíveis (que, na teoria clássica, seriam mutuamente exclusivas). Veja o leitor que, como os gémeos percorrem atalhos de comprimentos diferentes, chegando aos avós ao mesmo tempo, então cada gémeo terá de ter partido, da casa paterna, em dois instantes diferentes!



A experiência de Franson, mostrando a correlação não local entre dois fótons enviados ao longo de dois interferómetros idênticos mas separados. Cada fóton pode escolher (no primeiro «beam splitter») um caminho maior ou menor e (no segundo «beam splitter») uma ou outra saída. A chegada simultânea de pares de fótons é registada no contador de concordâncias.

É evidente que nada do que nos é familiar se comporta deste modo — o senso comum (defendido por Einstein) não pode aceitar tais «disparates» — mas é assim a Natureza, ao nível mais profundo e elementar (como nos mostrou Bohr). Na interpretação quântica, a existência dos fótons como entidades discretas só é observada na detecção — até lá, o seu comportamento deve ser descrito por ondas de (amplitude de) probabilidade. Não é possível considerar os fótons simultaneamente como partículas e ondas — são aspectos complementares, mas

mutuamente exclusivos, da sua natureza. Que as experiências, descritas neste artigo, exibam claramente a vitória da teoria quântica é, no mínimo, perturbador.

Mas, perguntará o leitor, é afinal violado o princípio da relatividade? Estes efeitos não locais, instantâneos (associados com o colapso da função de onda) poderão ser aproveitados para transmitir informação a velocidades superiores à da luz? Curiosamente, a resposta é negativa — cada fóton escolhe aleatoriamente a sua saída, sendo impossível prever qual. As correlações destas «decisões» só se tornam patentes quando se comparam os resultados de muitas experiências — mas, para isso, é necessário trazer essa informação ao mesmo local, utilizando meios que, necessariamente, se propagam com velocidades inferiores à da luz. Salva-se a relatividade e a causalidade, mas fica-se com a sensação que algo se perdeu para sempre.

*Scientific American*, Agosto 93, p. 38-46

E. L.

## Gravitational microlensing

Não é difícil perceber que um campo gravítico desvie um raio de luz — o próprio Newton, criador da teoria da gravitação universal e autor da natureza corpuscular da luz, fez um primeiro cálculo do desvio que um raio de luz sofreria ao passar junto a um corpo de grande massa. Mais tarde (em 1783), o reverendo John Mitchell concluiu que um corpo suficientemente denso não deixaria escapar a luz da sua superfície, conclusão a que também chegou Laplace (em 1795) e que o terá levado a suspeitar que o céu estaria cheio de objectos invisíveis. Mas, com o advento da teoria ondulatória da luz, estas ideias caíram no esquecimento — é difícil ver como uma onda electromagnética possa ser influenciada por um campo gravítico.

Em 1915, Einstein formulou a versão definitiva da teoria da relatividade geral, levando-nos a abandonar a ideia de um campo gravítico como uma região do espaço onde existem forças gravíticas, e propondo a imagem de um espaço-tempo deformável pela presença das massas. Assim, a luz, que se propaga entre dois pontos de modo a minimizar o tempo de percurso (princípio de Fermat), sofrerá, ao atravessar um campo gravítico, desvios não porque seja atraída pelas massas mas porque a geometria onde se move não é plana, mas curva. O desvio experimentado por luz rasante ao bordo do Sol ( $1.75''$ ), previsto por Einstein, é o dobro do valor fornecido pela teoria newtoniana (esta dá o mesmo que a fórmula de

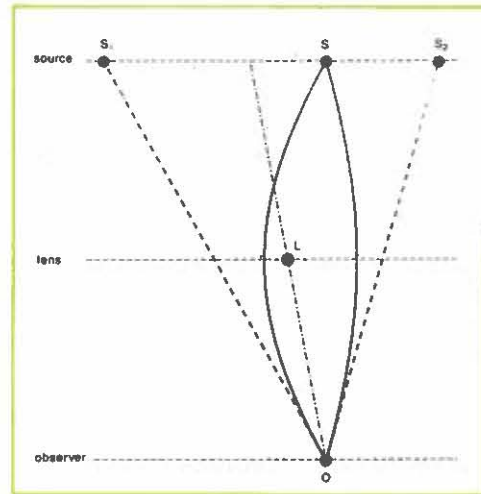
dispersão de Rutherford, se substituirmos campos eléctricos por gravíticos). A famosa confirmação experimental, fará 75 anos em 1994, foi efectuada por Eddington, com observações cruciais efectuadas na ilha do Príncipe, então possessão portuguesa (o leitor interessado encontrará o relato destas aventuras científicas no livro «Eddington e Einstein», recentemente publicado pela Gradiva).

Entre as inúmeras consequências trazidas pela teoria da relatividade geral, sobretudo para a Astrofísica e Cosmologia, está, pois, esta ideia simples: um campo gravítico actua sobre a luz como um meio refringente, desviando-se o raio tanto mais quanto mais intenso for esse campo. Mas os desvios são pequenos, da ordem de 1'' ou menos (lembra-se que 1'' de arco é o tamanho aparente de uma torre de 20 m na Lua ou do diâmetro da órbita da Terra observado a cerca de 3.2 anos-luz, distância por isso mesmo conhecida por parsec). Contudo, as técnicas experimentais progrediram imenso, sobretudo com a invenção da interferometria em grande escala. Nesta técnica é feita a soma coerente dos sinais recebidos por radiotelescópios separados por centenas ou milhares de quilómetros, criando-se um olho gigante (mas sensível, apenas, às ondas de rádio) com um poder separador da ordem do milésimo de segundo de arco, ou mesmo menos. E que vêm tais olhos?

Imagine o leitor que entre nós e uma fonte longínqua de luz (um quasar, por exemplo) se interpõe uma grande massa, frequentemente bastante escura (uma galáxia ou enxame de galáxias). O campo gravítico criado por esta massa vai actuar como lente gigante que encurvará os raios luminosos da fonte, originando imagens duplas ou quádruplas (se a lente for astigmática, isto é, se a distribuição de massas não tiver simetria esférica), ou arcos luminosos gigantescos ou mesmo anéis (os anéis de Einstein!), conforme o alinhamento relativo da fonte, lente e observador.

Estes fenómenos são hoje observados sem grandes dificuldades técnicas, não sendo fácil, apenas, encontrar candidatos nas condições geométricas óptimas. Porém, o mesmo não se passa com a observação destas «miragens» cósmicas quando as lentes são mais fracas, como as que estão associadas com buracos negros, estrelas de neutrões ou ordinárias, anãs castanhas (estrelas incipientes) ou mesmo planetas — as massas não são suficientemente fortes para originar duas ou mais imagens bem separadas, pelo menos para os «olhos» presentemente abertos. Contudo, é possível detectar o efeito destas microlentes através de um processo dinâmico. Como? Se fonte e lente se deslocarem, uma em relação à outra, o brilho da imagem da fonte altera-se, porque as duas imagens que a lente fornece, sobrepõem-se em maior ou menor grau. E o intervalo de tempo durante o qual o brilho flutua, informa-nos sobre a extensão da lente — de alguns dias para as anãs castanhas, até um ano para um buraco negro.

Assim, se pudermos garantir que a alteração do brilho não é intrínseca (isto é, não deve ser atribuída à fonte), temos ao nosso dispor uma extraordinária técnica que nos



A geometria de uma lente gravitacional: entre a fonte (S) de luz (quasar distante) e o observador (O), na Terra, interpõe-se uma massa (L) enorme, em geral uma galáxia, que desvia os raios luminosos, criando duas (ou mais) imagens (S1, S2) do mesmo objecto.

informa sobre a estrutura da fonte ou da lente, permitindo-nos, por exemplo, detectar matéria escura, cuja existência é teoricamente prevista mas cuja observação experimental dificilmente se poderá fazer por outros processos. Assim, se a massa intermédia for uma galáxia, obteremos, de um quasar distante, considerado fonte pontual, duas ou mais imagens (a galáxia, no seu todo, actua como macrolente), cada uma das quais resulta dos efeitos acumulados dos desvios dos raios luminosos pelos biliões de microlentes que são as estrelas da galáxia. Conforme o alinhamento, poderemos observar grandes flutuações de brilho da fonte — e, como a galáxia se move em relação ao quasar, a imagem cintilará, o que nos permite separar distâncias da ordem do dia-luz, em galáxias a 450 milhões de anos-luz. Isto é: o olho vê 1 parte em  $10^{10}$ . E se a fonte não for pontual? Detectaremos as suas diferentes partes quando, cada uma, se alinhar nas direcções de máximo brilho — isto é, conseguiremos, pela 1.ª vez observar a estrutura de um quasar!

Há, sem dúvida, muita coisa para aprender e nos maravilhar com estas extraordinárias perspectivas que a técnica coloca ao nosso alcance. Mas o princípio básico é simples e o rev. Mitchell não sentiria grandes dificuldades na leitura deste artigo da autoria de B. Paczynski e J. Wambsganns, professores de Astrofísica em Cornell (USA) e no Max-Planck Institute (Alemanha), respectivamente.

*Physics World*, Maio de 1993

E. L.

## Delegação Regional do Centro

### Acções de divulgação

Realizaram-se as seguintes acções de divulgação destinadas a alunos e professores do ensino secundário:

- **A cor na natureza** — pela Prof. Doutora Maria Salette Leite, na *Escola Secundária de Ovar*, em 3-5-93;
- **Radiação solar: Alguns efeitos biológicos** — pela Prof. Doutora Maria Salette Leite, na *Escola C+S da Sertã*, em 17-5-93; e na *Escola Secundária n.º 1, Aveiro*, em 18-5-93;
- **Campo electromagnético: Origem e efeitos** — pela Prof. Doutora Lucília Brito, na *Escola Secundária de Rio Maior*, em 26-5-93;
- **Física da cor** — pelo Prof. Doutor Luiz Alte da Veiga, na *Escola Secundária Bernardino Machado, Figueira da Foz*, em 17-12-93;
- **Física de partículas elementares** — pelo Prof. Doutor Manuel Fiolhais, na *Escola Secundária do Fundão*, em 24-3-93; e na *Escola Secundária Raúl Proença, Caldas da Rainha*, em 31-3-93;
- **Física e desporto** — pela Prof. Doutora Maria Margarida Ramalho, na *Escola Secundária de Mortágua* em 18-3-93; na *Escola Sec. Domingos Sequeira, Leiria*, em 22-4-93; na *Escola Secundária Alves Martins, Viseu* em 29-4-93; e na *Escola Secundária de Pombal*, em 18-5-93;
- **Lasers e holografia** — pelo Prof. Doutor João Lemos Pinto, na *Escola Secundária Adolfo Portela, Águeda*, em 17-3-93; na *Escola Secundária Dr. Manuel Fernandes, Abrantes*, em 19-5-93;
- **Movimentos na água e o levantar dos aviões** — pela Prof. Doutora Maria José Almeida, na *Escola Secundária n.º 1 de Aveiro* em 18-3-93; na *Escola C+S do Pedrógão Grande*, em 22-4-93; no *Colégio Liceal de Sta. Maria de Lamas, Feira*, em 4-5-93; e na *Escola Secundária de Tondela*, em 17-5-93;
- **O mar, as ondas, o som e a luz** — pela Prof. Doutora Maria José Almeida, na *Escola Secundária n.º 1 de*

*Ovar*, em 2-2-93; no *Instituto D. João V do Lourical*, em 8-2-93; na *Escola Secundária de Seia*, em 25-3-93; na *Escola Secundária D. Duarte, Coimbra*, em 30-4-93; e na *Escola Sec. Eng. Calazans Duarte, Marinha Grande*, em 7-5-93;

- **O núcleo atómico: estabilidade e desintegração** — pelo Prof. Doutor Adriano Pedroso de Lima, na *Escola Secundária de Figueiró dos Vinhos*, em 13-5-93; e na *Escola Secundária Rodrigues Lobo, Leiria*, em 26-5-93;

- **Origem e evolução do Universo** — pelo Prof. Doutor Manuel Fiolhais, na *Escola Secundária de Vagos*, em 29-1-93; na *Escola Secundária Avelar Brotero, Coimbra*, em 3-3-93; nas *Escolas C+S da Sertã e Secundária de Nuno Álvares, Castelo Branco*, em 4-3-93; na *Escola Secundária Infanta D. Maria, Coimbra*, em 8-3-93; nas *Escolas Secundárias n.º 1 e Homem Cristo de Aveiro*, em 16-3-93; na *Escola Secundária do Fundão*, em 24-3-93; no *Instituto Educativo do Juncal*, em 31-3-93; na *Escola C+S Dr.ª Maria Alice Gouveia, Coimbra*, em 27-4-93; na *Escola Secundária de Sta. Comba Dão*, em 28-4-93; nas *Escolas C+S de Oliveira de Frades e Secundária José Estêvão de Aveiro*, em 5-5-93; e nas *Escolas C+S de Silvares e de Pedrógão Grande*, em 26-5-93;

- **Os electrões e as propriedades dos materiais** — pela Prof. Doutora Maria José Almeida, na *Escola Secundária de Vieira de Leiria*, em 11-5-93;

- **Peso, massa e gravitação na vida quotidiana** — pelo Prof. Doutor João da Providência, na *Escola Secundária de Figueiró dos Vinhos*, em 27-1-93;

- **Teoria da relatividade para os mais novos** — pela Prof. Doutora Maria Helena Caldeira, na *Escola C+S de Canas de Senhorim*, em 2-3-93; e na *Escola Secundária D. Dinis, Coimbra*, em 23-4-93;

- **Física Divertida** — pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais na *Escola Secundária D. Dinis, Coimbra*, em 23-4-93.

\*

### Cursos de Formação de Professores da SPF

A Delegação Regional do Centro da SPF organizou, durante o ano lectivo 1992/93, os seguintes Cursos de Formação para Professores do ensino secundário:

- **Termodinâmica**, pela Doutora Maria Helena Caldeira, na *Escola Secundária Alves Martins, Viseu* em 01/03/93;

- **Introdução à Física Nuclear**, pelo Prof. Doutor Adriano Pedroso de Lima, na *Escola Secundária de Vale de Cambra*, em 19/05/93;

- **Princípios e conceitos em Física**, pelo Prof. Doutor Luiz Alte da Veiga, na *Escola Secundária Domingos Sequeira, Leiria*, nos dias 01 e 02/07/93.

## FÍSICA 94 - 9.ª Conferência Nacional de Física

Conforme foi anunciado, a 9.ª Conferência Nacional de Física, cuja organização é da responsabilidade da Delegação Regional do Centro, realizar-se-á na Universidade da Beira Interior, Covilhã, de 19 a 23 de Setembro de 1994. Simultaneamente decorrerá o 4.º Encontro Ibérico para o Ensino da Física, numa organização conjunta da Sociedade Portuguesa de Física (SPF) e da Real Sociedad Española de Física (RSEF).

Foi enviada aos sócios da SPF e Escolas do Ensino Secundário a 1.ª Circular da Física 94, com uma ficha de pré-inscrição para a referida Conferência, tendo já, até ao momento, sido recebido um número significativo de respostas. Em Março será distribuído o cartaz da Conferência bem como a 2.ª Circular a todos quantos tenham manifestado intenção de participar, através do envio da pré-inscrição.

## 2nd EPS School/Workshop on «Lasers and Applications»

Crete, May 9-27, 1994

The 2nd EPS Southern European School Physics, this time devoted to «Lasers and Applications» will be held during May 9-20, 1994 Crete. The School will be followed by a *Satellite-Workshop* on «Industrial and Medical Applications of Lasers» during May 23-27, 1994. Both events are supported as «Euroconferences» by the Human Capital and Mobility Programme of the European Community.

### Objectives

To provide high level, supplementary training for talented graduate students and post doctoral scientists in Physics, Chemistry and Engineering.

To promote North-South and South-South research collaboration within Europe.

### General Outline

Tutorials and Seminars will cover in depth specific applications and the young scientists will have the opportunity to attend on-going research activities at the Ultraviolet Laser Facility which is in operation at FORTH-IESL with the support of the Large Installations Plan of the European Community.

### EPS School (Tutorials or Seminars)

- Laser Physics and Quantum Optics;
- Laser Technology;
- Laser Spectroscopy, Diagnostics and Interactions;
- Ultrafast Phenomena and Strong Field effects.

### Workshop (Tutorials and Round Tables)

- Laser-tissue interactions;
- Photodynamic detection and therapy;
- Optical Tomography;
- Fiber optics and industrial applications;
- Laser material processing and diagnostics.

### Participants

Participation in the school and/or workshop will be limited to 40 graduate students and post doctoral fellows interested in the Physics and scientific and technological applications of lasers.

The Programme Committee will select candidates, from European countries, primarily from Southern Europe, on the basis of their scientific qualifications and field of research.

The registration fees for the school will be 250 ECU and for the Workshop 150 ECU and half board accommodation in double occupancy rooms will be available for 50 ECU per day.

However, a number of grants which may cover registration fees, traveling costs up to 300 ECU and half board accommodation expenses for deserving students will be available. Additional support has been requested from the EEC and other sponsors towards the support of young scientists from Central and Eastern Europe.

Interested candidates for the EPS School and the satellite Workshop should confirm their application before the 31st January, 1994 to the address below:

Dr. T. Papazoglou  
FORTH - IESL, PO. BOX 1527  
711 10 Heraklion, Crete, Greece  
Tel. + 3081-210035; Fax. + 3081-239735, 210647;  
Telex. 262860 RCC GR  
e-mail: ted@iesl.forth.gr (preferably)

After this date, the evaluation procedure will be initiated and no additional applications will be accepted.

### Application Form

#### 2nd EPS School/Workshop Lasers and Application

Name .....

.....

Address.....

.....

Phone ..... Fax .....

Student grant: Yes ☐ No ☐

☐ I want to attend the 2nd EPS School «Lasers and Applications»

☐ I want to attend the Workshop on «Medical and Industrial Applications of Lasers»

(You can chose just one or both meetings)

## ÍNDICE DO VOLUME 16

### Vol. 16 — Fasc. 1 (Janeiro a Março 1993)

Uma Conversa com Rómulo de Carvalho/António Gedeão (Entrevista por C. Aurretta e A. M. N. Santos) .....	2
O Conceito Físico de Massa (Jorge Valadares) .....	9
Laboratório Assistido por Computador (António Moreira Gonçalves) .....	15
O que há de Novo? .....	22
Relatório do Conselho Directivo da S. P. F. relativo ao triénio 1990-1992 .....	25
Órgãos Nacionais e Regionais da S. P. F. (1993-1995) .....	31
Anúncios de Encontros Científicos .....	32

### Vol. 16 — Fasc. 2 (Abril a Junho 1993)

Fullerenos: Uma Nova Família de Compostos de Carbono (José Luís Martins) .....	2
Fusão Termonuclear Controlada (H. Bruhns) .....	9
A Terra, O Cosmos e a Entropia (António Heitor) .....	16
Uso de Microcomputadores no Ensino de Física (W. MacDonald, E. Redish e J. Wilson) .....	19
O que há de Novo? .....	25
Olimpíadas de Física .....	26
Ciência Através da Europa .....	31
Programa Europeu de Mobilidade para Estudantes de Física .....	32

### Vol. 16 — Fasc. 3 (Julho a Setembro 1993)

A Física e o Ambiente: Uma Visão Actual (José Pinto Peixoto) .....	2
Jubilação do Professor José Pinto Peixoto (Filipe Duarte Santos) .....	15
Fusão Termonuclear Controlada (H. Bruhns) .....	16
O que há de Novo? .....	21
Livros .....	29
Olimpíadas de Física .....	31

### Vol. 16 — Fasc. 4 (Outubro a Dezembro 1993)

Radiação de Sincrotrão (M. A. Carrondo, M. R. Costa, M. O. Figueiredo, M. T. Ramos) .....	2
Prémio Nobel da Física 93 (António A. Costa) .....	10
O Pulsar PSR 1913+16 (N. Straumann) .....	11
O Conceito Físico de Massa (Jorge Valadares) .....	13
Medidas Magnéticas em Prospeccção Arqueológica (M. J. Senos Matias) .....	20
O que há de Novo? (E. Lage) .....	25
Notícias SPF .....	30



**i magine a estação gráfica  
mais rápida do mundo.  
Pode ser sua hoje!**

Mike Hewitt, Action-Plus Photographic

*QUANDO O PROBLEMA É A  
RELAÇÃO PREÇO/DESEMPENHO, E É  
PRECISO OPTAR POR UMA ESTAÇÃO  
GRÁFICA UNIX, DESCOBRE-SE QUE A  
NOVA E EXTRAORDINÁRIA GAMA  
DE ESTAÇÕES ALPHA AXP ESTÁ  
UMA GERAÇÃO À FRENTE DA  
CONCORRÊNCIA.*

Agora, a potência e a rapidez  
dos Alpha AXP aceleram a execução  
de aplicações tão exigentes como  
CAD/CAM, engenharia, modelos financeiros,



desenvolvimento de software, análise e  
simulações. Os Alpha AXP não apenas  
oferecem a maior gama de estações gráficas  
disponível, mas também lhe proporcionam

liberdade de escolha, total  
capacidade de upgrade, uma  
integração mais fácil e um  
desempenho surpreendente  
(400 MIPS, 161 SPECmark). Toda a  
potência necessária para manter a liderança  
do seu negócio!

Contacte-nos pelo telefone 0 500 1 500

**digital**

**i m a g i n a ç ã o      a      t r a b a l h a r**

NO PRÓXIMO NÚMERO

G A Z E T A D E

**FÍSICA**

EDIÇÃO ESPECIAL

OLIMPIADAS DE FÍSICA