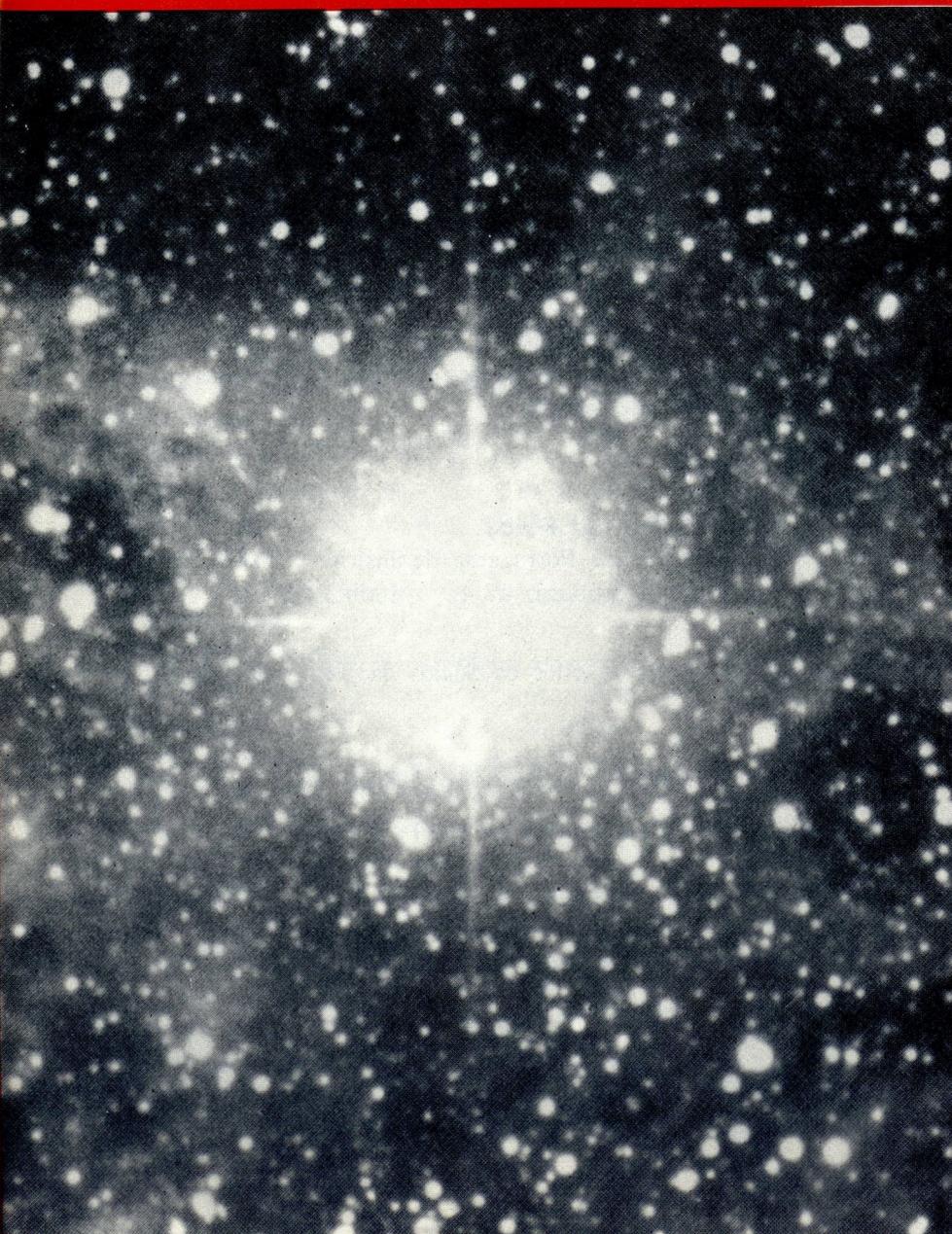


# GAZETA DE FISICA

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FISICA



VOL. 10, FASC. 2

Publicação Trimestral

Abril a Junho 1987

• Supernova 1987 A •  
Explosão de uma estrela  
de grande massa, na fase  
terminal da sua evolução  
(descoberta em 23-2-87)

# GAZETA DE FÍSICA

Fundada em 1946 por A. Gibert

Propriedade e Edição: Sociedade Portuguesa de Física

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

## *Comissão de Redacção e Administração*

Conselho Directivo da S.P.F.: H. Machado Jorge, F. Duarte Santos, J. Bessa Sousa, Ana M. Eiró, Carlos Matos Ferreira, F. Costa Parente, M. Fernanda Silva, J. Brochado Oliveira, J. Montêiro Moreira, N. Ayres Campos, C. Lopes Gil.

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

---

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

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

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

Toda a correspondência deverá ser enviada para

## **Gazeta de Física**

Sociedade Portuguesa de Física

Av. República, 37-4.º – 1000 LISBOA

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

**Preço de assinatura : país 1000\$00 ; estrangeiro US\$20.**

**Preço do fascículo avulso (sede e delegações da SPF) : 200\$00.**

---

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

Tiragem: 2200 exemplares

# Ordem, desordem, frustração, materiais incomensuráveis e quase-cristais

MARIA JOSÉ B. M. DE ALMEIDA

Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

## 1. NOÇÃO DE SÓLIDO

Em qualquer livro que se folheie e que trate da Física dos Sólidos, se indica que estes se podem apresentar sob dois aspectos: num estado cristalino caracterizado por uma ordem perfeita dos átomos que o constituem (ordem que existe em porções do sólido de pelo menos algumas centenas de Angstrom e que se traduz por uma correcta simetria de translação) ou num estado amorfo em que, além de um arranjo molecular traduzindo uma ordem a pequena distância, não existe outra simetria na distribuição das moléculas.

A Fig. 1 ilustra estes dois estados de ordenação da matéria: em 1-a) uma representação a três dimensões, de um estado cristalino, em 1-b) um estado amorfo da sílica, que por tratamento térmico pode passar ao estado cristalino representado em 1-c).

Quase desde o princípio do século se utilizam experiências de difracção de raios X para verificar o estado de ordem ou desordem de um sólido. Em 1912 Max Von Laue provou que um cristal exposto à radiação X funcionava como uma rede de difracção para essa radiação; esta, depois de o atravessar, ia produzir uma figura característica (alterância de máximos e mínimos de intensidade) numa chapa fotográfica. Este seu trabalho foi galardoado com o prémio Nobel da Física em 1914.

Em 1915 foi este mesmo prémio atribuído a W. L. Bragg e W. L. Bragg (pai e filho) que, de um modo simples, relacionaram através da lei de Bragg as características da rede cristalina com as figuras de difracção produzidas.

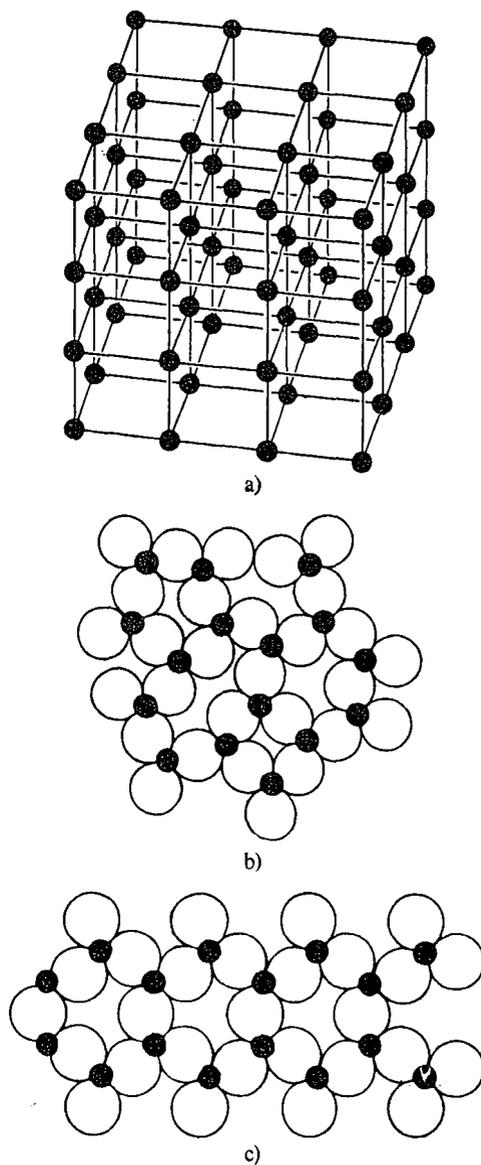


Fig. 1 — a) Disposição de átomos num estado cristalino; b) Sílica amorfa; c) Sílica cristalina.

Na Fig. 2 pode ver-se uma fotografia de raios X de um cristal simples de quartzo quando atravessado por um feixe incidente segundo uma direcção paralela ao eixo hexagonal. Tal figura aparece devido à sobreposição em fase dos feixes difractados pelas várias unidades equivalentes por simetria de translação, a que se chamam «células unitárias».

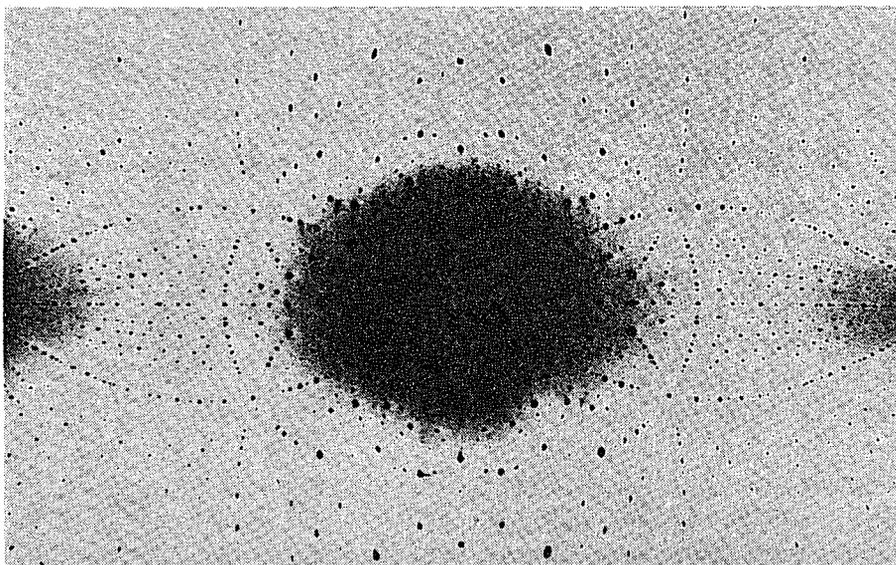


Fig. 2 — Fotografia obtida com uma câmara cilíndrica de raios X, pondo em evidência o eixo hexagonal num cristal simples de quartzo.

Além da simetria de translação característica de um estado cristalino, há outras simetrias que podem ser observadas na distribuição dos átomos num cristal e que podem ser postas em evidência nas fotografias de raios X. Por exemplo, notar na Fig. 2 o eixo de simetria de grau 6 e alguns planos de simetria.

No entanto nem todas as simetrias de rotação são coerentes com a simetria de translação; são possíveis rotações binárias, ternárias, quaternárias e senárias, mas, por exemplo, são impossíveis rotações associadas a eixos de grau 5.

Isto pode verificar-se de um modo fácil, notando que é possível cobrir por completo a superfície de uma folha de papel com quadrados, triângulos isósceles, rectângulos ou hexágonos regulares, mas tal já não é possível se

escolhermos como unidade um pentágono regular ou figuras com simetria superior a 6.

Até há bem poucos anos, a necessidade de uma perfeita simetria de translação para um sólido cristalino nunca fora posta em causa: todos os resultados experimentais relacionados com a existência e o grau de ordem característicos das propriedades de um sólido cristalino

eram consistentes com a ideia de uma célula unitária cujo conteúdo se repetia indefinidamente segundo 3 direcções independentes de modo a cobrir todo o espaço do cristal.

É certo que se conheciam pequenas perturbações a esta translação perfeita. Como exemplos podem considerar-se: as imperfeições do cristal; a existência de blocos (mosaicos) constituídos eles próprios por pequenas porções de simetria perfeita, mas ligeiramente desorientados uns em relação aos outros; ou as ligas metálicas com uma desordem estatística na distribuição dos constituintes (a figura de difracção traduz uma simetria de translação de uma célula unitária com «átomos estatísticos», isto é, átomos cujo poder de difracção pode ser calculado como a contribuição de uma percentagem determinada de cada um dos átomos da liga).

## 2. ESTRUTURAS INCOMENSURÁVEIS

Com a possibilidade de utilização de feixes de neutrões, partículas que possuem um momento magnético, começaram nos anos 50 a produzir-se padrões de difracção magnética, devidos à passagem de um feixe de neutrões através de certos sólidos cristalinos. Pode-se, deste modo, adquirir conhecimento não só sobre a distribuição espacial da orientação dos momentos magnéticos, como também a grandeza dos próprios momentos magnéticos.

Os resultados experimentais foram em muitos casos indicando as características desta distribuição: por vezes os momentos magnéticos de átomos vizinhos alinhavam-se paralelamente dando origem a uma estrutura ferromagnética, e por vezes antiparalelamente constituindo quer estruturas antiferromagnéticas, quer estruturas ferrimagnéticas. Esta ordenação magnética só existia para temperaturas inferiores a um certo valor, característico de cada material estudado. Para temperaturas superiores havia desordem na orientação dos momentos magnéticos devida às vibrações térmicas, cuja energia se tornava superior à energia ganha pelo sistema ao ordenar-se magneticamente.

Com o desenvolvimento da criogenia foi possível atingir e estabilizar temperaturas de apenas alguns Kelvin. Puderam então estudar-se alinhamentos magnéticos apenas possíveis a temperaturas muito reduzidas; é de notar que, para estes materiais, o facto de o estado de alinhamento só ser atingido para temperaturas muito baixas, implica que basta uma pequena energia de vibração térmica para destruir esse alinhamento. Tal indica que o alinhamento é difícil havendo apenas um pequeno ganho de energia quando os momentos magnéticos se alinham.

No estudo destas estruturas magnéticas surgiram pela primeira vez casos em que não havia possibilidade de traduzir o alinhamento encontrado por uma simetria de translacção coerente com a célula unitária cristalina. A estas estruturas chamou-se «incomensuráveis» e um exemplo está ilustrado na Fig. 3. Pode dizer-se que a distribuição de momentos

magnéticos ao longo de uma cadeia de átomos é como que modulada, por vezes em orientação, como na Fig. 3, por vezes em grandeza, por uma onda que se estende a todo o cristal e cujo comprimento de onda não é comensurável com as dimensões da célula unitária.

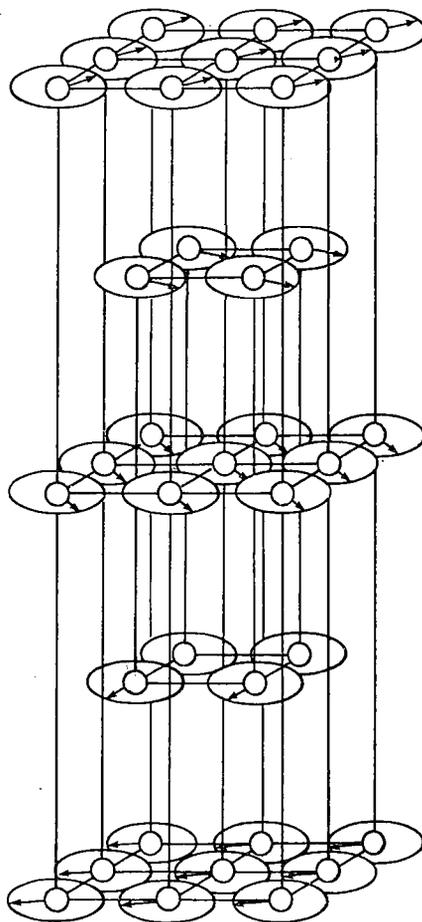


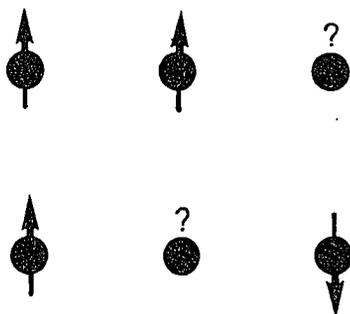
Fig. 3 — Estrutura magnética incomensurável do composto  $Mn Au_2$ .

Como se explica que feixes de neutrões difractados magneticamente por esta estrutura, que não possui simetria de translação matematicamente coerente com a simetria cristalina, ainda vão interferir construtivamente e produzir padrões de difracção? O que se passa é que, embora o alinhamento dos momentos magnéticos varie de plano para plano e não seja rigorosamente o mesmo em nenhum dos planos cristalográficos, ao fim de um determinado número de planos o alinhamento é

muito semelhante ao do plano inicial e quando a diferença de alinhamentos é inferior a um determinado valor, é impossível detectar experimentalmente essa diferença. Assim é sempre possível considerar que, embora a estrutura seja incomensurável, ao fim de um certo número de unidades os alinhamentos quase se repetem produzindo interferência construtiva dos feixes de neutrões difractados por esses planos e portanto máximos de difracção.

### 3. FRUSTRAÇÃO

As estruturas incomensuráveis surgem quando há conflito entre interacções de primeiros vizinhos e de segundos vizinhos, conflito esse que se traduz como que numa competição entre duas tendências opostas de ordenação. Por exemplo, se considerarmos uma linha com 3 átomos em que há tendência de alinhamento ferromagnético entre vizinhos mais próximos e de alinhamento antiferromagnético entre vizinhos afastados,



qual o alinhamento escolhido pelos átomos?  
Uma solução possível será



sendo o valor do ângulo  $\alpha$  pequeno se o efeito dominante for o ferromagnético e mais elevado se o efeito dominante for o antiferromagnético.

A este conflito entre interacções (e que foi ilustrado considerando interacções magnéticas)

foi dado o nome de «frustração» por P. W. Anderson (prémio Nobel de Física, 1981). Todas as estruturas incomensuráveis são portanto estruturas frustradas.

### 4. QUASE-CRISTAIS

Nos finais de 1984 Shechtman et al. [1] relataram pela primeira vez resultados experimentais que pareciam pôr directamente em causa as condições consideradas como base em qualquer manual de Física dos Sólidos. Os seus resultados pareciam evidenciar a necessidade de se considerar um terceiro estado de ordenação dos sólidos.

Resultados de experiências de difracção de electrões por uma liga de alumínio e manganésio, obtida por arrefecimento ultra-rápido do material na fase líquida, indicavam que:

— a liga não era amorfa porque as figuras de difracção apresentavam máximos e mínimos desenhando um padrão de difracção bem definido (ver Fig. 4);

— a liga não podia ser cristalina porque havia uma evidência perfeita da existência de um eixo de rotação de grau 5.

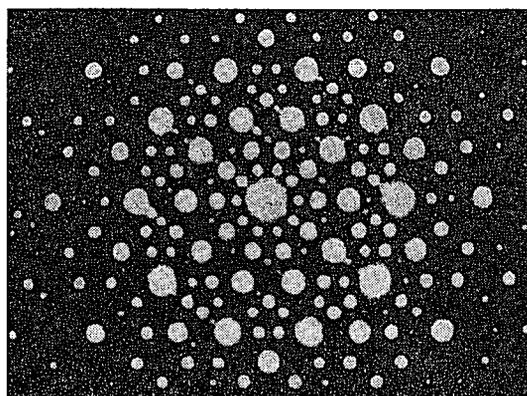


Fig. 4 — Fotografia obtida por difracção de electrões na liga  $Mn_{14}Al_{80}$ .

Nos últimos dois anos os quase-cristais, sugerindo um tipo diferente de organização dos átomos num sólido, deram origem a um grande número de publicações. Vários autores [2-8]

tentaram explicá-los teoricamente, estudaram possíveis propriedades de materiais com tal simetria e conseguiram prepará-los experimentalmente utilizando outras técnicas e outros elementos constituintes, pondo em evidência que os quase-cristais eram mais estáveis e talvez muito mais numerosos do que inicialmente se poderia pensar.

## 5. FIGURAS DE PENROSE

Na realidade, conforme demonstrado por R. Penrose [9], embora seja impossível cobrir por completo um plano por justaposição de pentágonos regulares, é possível fazê-lo utilizando como «células unitárias» dois losangos com ângulos característicos diferentes, nomeadamente  $36^\circ$  e  $72^\circ$ , formando um padrão que apresenta, num certo sentido, simetria pentagonal (mas, como é óbvio, sem simetria de translação). A Fig. 5 exemplifica esse padrão.

Katz e Duneau [10] mostraram como generalizar este conceito ao espaço a três dimensões, utilizando como unidades dois romboedros (paralelepípedos com faces em forma de losangos idênticos).

Pode ver-se na Fig. 5 que embora não haja simetria de translação, a sequência também não é completamente aleatória: há uma certa ordenação a longa distância. A este tipo de distribuição chama-se quase-periódica.

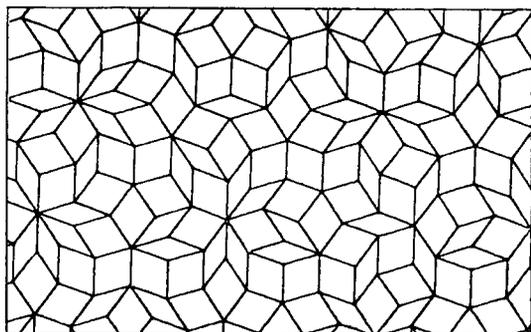


Fig. 5 — Padrão de Penrose. Repare-se na quase simetria pentagonal.

Um facto interessante é que se numa experiência de simulação se colocarem átomos em cada ponto de encontro das linhas (ou

planos) destes padrões, pode provar-se que a estrutura resultante, embora sem simetria de translação, produziria uma figura de difracção em tudo semelhante à obtida por Shechtman et al. com os seus quase-cristais de  $Mn_{14}Al_{86}$ .

## 6. PONTO DE VISTA DE LINUS PAULING

No entanto, em Outubro de 1985, Linus Pauling [11], prémio Nobel de Química e que começou os seus trabalhos de investigação em 1922 como cristalógrafo, veio explicar como, sem pôr em causa a simetria de translação do estado cristalino — negando assim a necessidade de especulação sobre um novo estado de ordenação da matéria — se podia obter um padrão de difracção que evidenciava uma simetria de grau 5.

Segundo Pauling este efeito apareceria como resultado da interpenetração de cristais cúbicos crescendo sob a forma de macla <sup>(1)</sup>. Com base na semelhança entre o ângulo tetraédrico ( $109^\circ,47'$ ) e o ângulo do pentágono regular ( $108^\circ$ ), Pauling propôs para o  $Mn_{14}Al_{86}$  uma célula unitária cúbica de dimensão  $26,7 \text{ \AA}$  e contendo cerca de 1120 átomos: durante o processo de formação da estrutura teria havido um crescimento múltiplo ordenado de tal modo que 20 microcristais aproximadamente tetraédricos cresceriam a partir de uma semente central de modo a produzir um agregado com simetria aproximadamente icosaédrica.

Com base neste modelo, Pauling pôde explicar satisfatoriamente um diagrama de difracção de raios X obtido por Shechtman et al. [1] para uma amostra policristalina, não só no que diz respeito à localização das linhas de difracção como também às intensidades relativas das mesmas.

Na verdade, a explicação natural do aparecimento de figuras de difracção inesperadas em face do material a estudar, deverá envolver

(1) Uma macla é o intercrescimento de dois ou mais cristais do mesmo material, que mantém uma relação geométrica bem definida entre as suas orientações.

sempre a possibilidade de difracção múltipla devida a microcristais maclados.

No caso presente a hipótese de existência de macla havia sido negada por Shechtman et al. [1], com base em resultados obtidos pelas técnicas de «difracção com feixe convergente» e «microscopia por efeito de campo» que podem estudar grãos de material de apenas 200 Å.

Poderá um grão com estas dimensões conter 20 tipos diferentes de microcristais maclados? Repare-se que, de acordo com a proposta de L. Pauling, 200 Å são menos de 10 células unitárias.

## 7. ESTRUTURAS INCOMENSURÁVEIS, QUASE-CRISTAIS OU MICROMACLAS?

Pensemos num cristal cuja célula unitária cúbica tem de dimensões cerca de 30 Å e é constituída por mais de 1120 átomos. Repararemos que é necessário percorrer na estrutura deste cristal, em cada uma das três direcções espaciais, cerca de 10 vezes o valor médio do diâmetro atómico, para encontrar uma primeira repetição do motivo. Não lembra este exemplo o do raciocínio que foi aplicado no fim da secção 2 sobre estruturas incomensuráveis? Será que ao fim deste percurso de 30 Å a estrutura se repete exactamente, ou é de tal modo parecida com a inicial que não se pode detectar qualquer diferença por meios experimentais?

Raciocínios decerto semelhantes a este levaram Tarnowski [12] e Gratias [13] a estabelecer uma possível unificação das duas explicações, porventura diferentes, quer em termos de uma ordenação com uma quase-periodicidade efectiva a longas distâncias, quer em termos de micromaclas crescendo para formar um motivo de repetição com tamanhas dimensões.

Mas, efectivamente, qual é o tipo de ordenação atómica na liga  $Mn_{14}Al_{86}$ ? Quais as posições ocupadas pelos átomos de Mn e pelos átomos de Al? Estamos em presença de uma distribuição atómica definindo um padrão con-

tendo planos semelhantes aos de Penrose ou de uma estrutura cristalina periódica, constituída por unidades aparentemente com simetria de grau 5, resultantes do intercrescimento de 20 micromaclas cúbicas?

Para adiantar algo de concreto na resposta a estas perguntas, seria decerto interessante proceder a um estudo de difracção de raios X por um «cristal simples» destes materiais. Infelizmente, para tal são necessárias amostras com algumas centenas de  $\mu m$  e os processos experimentais utilizados para a sua preparação só permitiram, até à data, a formação de grãos com dimensões bem inferiores.

Sem tal possibilidade, a conclusão só pode ser parcial:

A descoberta dos quase-cristais está talvez relacionada com uma extensão do conceito de «fases incomensuráveis». Só uma determinação exacta do arranjo atómico nestes materiais poderá lançar luz sobre a questão:

Serão os quase-cristais representativos de um terceiro estado de ordenação da matéria?

## REFERÊNCIAS

- [1] D. SHECHTMAN, I. BLECH, D. GRATIAS e J. W. CAHN — *Phys. Rev. Lett.*, **53**, 1951 (1984).
- [2] D. LEVINE e P. J. STEINHARDT — *Phys. Rev. Lett.*, **53**, 2477 (1984).
- [3] P. BAK — *Phys. Rev. Lett.*, **54**, 1517 (1985).
- [4] D. LEVINE, T. C. LUBENSKY, S. OSTLUND, S. RAMASWAMY e P. S. STEINHARDT — *Phys. Rev. Lett.*, **54**, 1520 (1985).
- [5] N. D. MERMIN e S. M. TROIAN — *Phys. Rev. Lett.*, **54**, 1524 (1985).
- [6] D. A. LILIENFELD, M. NASTASI, H. H. JOHNSON, D. G. AST e J. W. MAYER — *Phys. Rev. Lett.*, **55**, 1587 (1985).
- [7] J. A. KNAPP e D. M. FOLLSTAEDT — *Phys. Rev. Lett.*, **55**, 1591 (1985).
- [8] P. SAINFORT, B. DUBOST e A. DUBUS — *C. R. Acad. Sc.*, **301**, 689 (1985).
- [9] R. PENROSE — «Pentaplexity», *Math Intell.*, **2**, 816 (1985).
- [10] A. KATZ e M. DUNEAU — *La Recherche*, **16**, 816 (1985).
- [11] L. PAULING — *Nature*, **317**, 512 (1985).
- [12] D. TARNOWSKI — *La Recherche*, **17**, 262 (1986).
- [13] D. GRATIAS — *La Recherche*, **17**, 788 (1986).

# Energia no Universo (\*)

JOSIP KLECZEK

Astronomical Institute of the Academy of Sciences, Prag, Czechoslovakia

O Universo é constituído por *partículas elementares* (protões, electrões e neutrões) e por *fotões*. Do ponto de vista energético podemos portanto considerar dois componentes distintos do Universo: um *Universo de partículas* constituído por partículas elementares e um *Universo fotónico*. Para sermos precisos, devemos mencionar também os neutrinos e as ondas de gravitação, mas os seus fluxos e conteúdos energéticos não são ainda conhecidos.

## 1 Energia do Universo de partículas (i.e. Universo de matéria)

Toda a partícula elementar ou sistema de partículas elementares (desde os núcleos atómicos às super-galáxicas) têm uma energia intrínseca associada. A energia total de uma partícula (ou sistema de partículas) depende da sua massa em repouso  $m$  (que é uma propriedade fundamental da partícula) e também da velocidade  $v$  com que a partícula se desloca em relação ao meio exterior. Correspondentemente, a partícula tem uma *energia de repouso* ( $m c^2$ ) e uma *energia cinética* ( $1/2 m v^2$ ). A energia total é portanto

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

Este resultado é verdadeiro para a maioria das partículas que observamos no Universo, porque elas se deslocam com velocidades muito menores que a velocidade da luz.

Há contudo uma pequena fracção das partículas do Universo que se movem com velocidades elevadíssimas, isto é, com velocidades próximas da velocidade da luz  $c$ . Evidentemente, um protão ou qualquer outra partícula *material* ou sistema de partículas nunca pode atingir a velocidade da luz e por isso — segundo as ideias ideias da Mecânica Clássica — uma

partícula material nunca pode ter uma energia comparável com a sua energia de repouso. Mas as medidas efectuadas sobre os raios cósmicos mostram que há protões com energias milhões ou mesmo biliões de vezes superiores. Tais partículas designam-se *relativistas*; movem-se com uma velocidade próxima da velocidade da luz, a sua energia cinética é comparável à sua energia de repouso ou mesmo superior, e neste caso a Teoria da Relatividade conduz a uma nova expressão para a energia total da partícula:

$$E = \frac{m c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad (2)$$

Para velocidades  $v$  muito inferiores à velocidade da luz ( $v/c \ll 1$ ) esta expressão reduz-se à expressão clássica da energia total da partícula, dada pela expressão (1).

As partículas relativistas (partículas elementares ou núcleos atómicos) no espaço inter-galáctico, inter-estelar ou interplanetário designam-se por *raios cósmicos*. Pequenos feixes de partículas relativistas são também produzidos pelos físicos das Altas Energias, utilizando aceleradores de partículas de grande dimensão.

### 1.1. Energia de repouso ( $m c^2$ )

Trata-se de uma propriedade fundamental de qualquer partícula material ou sistema de partículas elementares. Corresponde a uma energia elevadíssima, porque  $c^2$  é uma grandeza com um valor muito elevado, i.e.  $9 \times 10^{16} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$  ou  $9 \times 10^{20} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ . Um corpo com uma massa de 1 kg tem uma energia em repouso

(\*) Trabalho apresentado na Escola de Verão da União Astronómica Internacional para Jovens Astrónomos, Espinho, Setembro 1986; tradução de J. Bessa Sousa.

de  $1 \text{ kg} \times 9 \times 10^{16} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$  ou  $9 \times 10^6 \text{ J}$ . Esta energia corresponde a  $2,5 \times 10^{10} \text{ khw}$ . Quem, no nosso planeta, poderia pagar o preço da energia contida num quilograma de qualquer substância (matéria), seja 1 kg de carvão, petróleo, urânio ou água? Mesmo uma pequena porção de matéria — i.e. um agregado de partículas elementares (protões, electrões e neutrões) — representa um gigantesco reservatório de energia.

É por isso natural fazer a seguinte pergunta: como extrair energia da matéria?

O assunto deste artigo é justamente identificar e caracterizar as forças que fazem com que a matéria do Universo possa libertar energia para o exterior. Trata-se de um problema muito geral que procuraremos descrever e sintetizar no âmbito do presente artigo.

Nós, habitantes do terceiro planeta do sistema solar, somos apenas uma parte ínfima do Universo e apenas um elo extremamente ténue na sua evolução. Por isso não podemos ultrapassar as leis do Universo, mas tão só actuar no estrito contexto dos limites fixados por essas leis.

Quais dos processos libertadores de energia no Universo é que usamos? Qual a eficiência dos processos utilizados? Como poderemos aprender, do Universo, a extrair energia da matéria com mais eficiência? Tentaremos responder a estas questões num segundo artigo desta série <sup>(1)</sup>.

### *Interacção entre partículas*

Nenhuma partícula do Universo está completamente isolada, porque ela faz parte, de facto, de algum sistema físico (núcleo atómico, átomo, molécula, cristal, meteorito, satélite, planeta, cometa, estrela, agregados de estrelas, galáxias, enxames de galáxias, supergaláxias). Uma grandeza característica  $\Delta E$  expressa, em cada situação particular, em que grau está a partícula ligada ao seu sistema; esta grandeza designa-se por *energia de ligação*. Para «entrar» num sistema a partícula deve libertar, necessariamente, esta energia de ligação; tem de «pagar» a sua associação ao sistema. A partícula «paga» a energia de ligação («jóia» de

entrada) a partir da sua energia de repouso  $m c^2$ . Ela «paga» através do decréscimo da sua massa de repouso, de uma quantidade

$$\Delta m = \Delta E/c^2 \quad (3)$$

que se designa por *perda de massa* (no processo de ligação).

A libertação (isto é emissão, expelir para o exterior) de energia de um sistema é pois acompanhada de um decréscimo da sua massa em repouso.

No Universo, a energia de repouso é libertada da matéria pela acção de quatro interacções (i.e. forças) entre as partículas elementares: *nuclear, electromagnética, fraca e gravítica*. O processo mais eficaz de expelir (libertar) energia da matéria é, contudo, através da sua *aniquilação* com a anti-matéria.

Analisemos então como actuam, em que actuam e qual o grau de eficácia de cada processo para promover a libertação de energia da matéria.

#### (i) *Forças Nucleares*

As forças nucleares, também designadas por *interacções fortes*, promovem a ligação entre protões e neutrões criando um sistema chamado núcleo atómico. Estas forças são muito eficazes na libertação da energia de repouso das partículas constituintes do núcleo. Por exemplo, na transformação de cerca de 52 protões num núcleo de ferro, quase 1 % da energia de repouso dos protões é libertada para o exterior. Uma tal síntese do ferro a partir do hidrogénio decorre efectivamente no interior profundo de estrelas com massas quatro ou mais vezes superiores à massa do nosso Sol.

No interior de muitas estrelas o hidrogénio é sintetizado pelas forças nucleares em hélio e elementos mais pesados. Este processo designa-se por *nucleosíntese* e a energia de ligação libertada é emitida pelas estrelas sob várias formas de radiação.

No nosso Sol, por exemplo, meio bilião de toneladas de hidrogénio são transformadas em hélio em cada segundo! A perda de massa total

<sup>(1)</sup> *Energia ao serviço da Humanidade*; a publicar num próximo número da Gazeta de Física.

é de cerca de 4 milhões de toneladas por segundo e a energia libertada,  $3,8 \times 10^{26}$  W, é emitida pelo Sol essencialmente sob a forma de luz visível e de radiação infra-vermelha. Esta importante grandeza — i.e. a energia emitida pelo Sol em cada segundo — tem um nome próprio, a chamada *luminosidade solar*.

O principal e mais importante período da vida das estrelas é caracterizado pela acção das forças nucleares que transformam o hidrogénio em hélio. O hidrogénio é de longe o elemento mais abundante nas estrelas e no Universo em geral (a nossa Terra perdeu o seu hidrogénio na fase inicial da sua evolução). Um protão, ao entrar na constituição de um núcleo de hélio liberta cerca de 7 MeV que representa 0,7 % da sua energia em repouso. Um valor tão elevado da energia de ligação dos protões nas partículas alfa ( $\alpha$ , i.e. núcleos de He) explica a elevada estabilidade das partículas  $\alpha$  com respeito às perturbações externas, e também a elevada eficácia das forças nucleares para libertarem energia da matéria. Este facto e, também, a elevada abundância de hidrogénio no Sol e nas estrelas em geral, explicam por que razão a combustão termo-nuclear do hidrogénio em hélio alimenta a luminosidade estelar por períodos extremamente longos: no caso das estrelas semelhantes ao Sol a combustão do hidrogénio dura cerca de 15 biliões de anos.

## (ii) *Forças electromagnéticas*

As forças electromagnéticas actuam entre partículas electricamente *carregadas*; atraem electrões aos núcleos atómicas, ligam átomos a átomos nas moléculas, moléculas a cristais, a poeiras, meteoritos, e outros corpos cósmicos de pequenas dimensões (até cerca de 500 km).

A energia de ligação libertada pelas forças electromagnéticas é, contudo, uma fracção extremamente pequena da energia de repouso do sistema. Ilustremos esta afirmação com alguns exemplos.

Na recombinação de um electrão com um protão liberta-se uma energia de 13 eV, que é cerca da centésima milésima parte da sua energia de repouso.

A maioria dos fotões emitidos pelo Sol tem origem na recombinação de um electrão com um átomo neutro de hidrogénio, para formar um ião negativo de hidrogénio:  $H + e^- \rightarrow H^- + \text{fotão}$ . O fotão tem uma energia de alguns eV apenas, o que significa cerca de 1 bilionésimo da massa de repouso do átomo de hidrogénio mais o electrão capturado.

Mencionemos por último o exemplo mais drástico da combustão de produtos fósseis, por exemplo do carbono:



Neste processo, de 1 kg de matéria (0,3 kg de carbono e 0,7 kg de oxigénio) nós recebemos cerca de duas mil quilocalorias ( $8,4 \times 10^6$  J) de calor. Lembremos que a combustão é uma reacção química, e como tal uma consequência das forças electromagnéticas que se manifestam entre átomos. A energia de repouso de 1 kg (de oxigénio e carbono) é  $9 \times 10^9$  J, logo a eficácia da combustão do carvão e de outros combustíveis fósseis (petróleo, gás natural) é cerca de 1 bilionésimo ou ainda menos.

As forças nucleares, com uma «eficácia» de  $10^{-3} - 10^{-2}$ , são por isso muitos milhões de vezes mais eficientes na libertação da energia de repouso da matéria, que as forças electromagnéticas.

Neste contexto, o processo de queima de combustíveis fósseis pode comparar-se ao comportamento de um fumador que vai a um banco, levanta dez milhões de dólares, gasta alguns dólares na compra de fósforos e cigarros... e deita fora o resto do dinheiro!

No Universo, as forças electromagnéticas têm apenas uma importância diminuta nos processos de libertação de energia. É a forma mais ineficaz de libertar energia da matéria. Não é verdadeiramente surpreendente que para um ser inteligente — o homem da Terra, essa forma constitua ainda o processo mais importante de libertar energia da matéria?

## (iii) *Interacções fracas*

As interacções fracas correspondem às forças que participam no decaimento radioactivo (decaimento  $\beta$ ) dos núcleos atómicos. Elas par-

tipicam no processo da síntese nuclear nas estrelas e facilitam a libertação de energia pelas forças nucleares, ao sintetizarem núcleos mais pesados a partir de prótões. Neste processo de formação de núcleos mais pesados a partir dos prótões, pelo menos metade dos prótões são transformados em neutrões, justamente pela acção das forças das interacções fracas.

A própria energia geotérmica (libertada no interior da Terra) advém do decaimento  $\beta$  dos núcleos radioactivos presentes. Parte desse calor aparece nas nascentes de água quente e na lava que sai dos vulcões em actividade. Numa forma menos espectacular, a energia calorífica de origem geotérmica atravessa continuamente a crosta terrestre libertando-se para o espaço. O fluxo total de calor geotérmico através da superfície da Terra (32 TW; 1 TW corresponde a 1 bilião de kilowatts ou seja  $10^{12}$  W) é cerca de quatro vezes superior ao consumo energético de toda a Humanidade, em cada segundo ( $8 \text{ TW} = 8 \times 10^{12} \text{ W}$ ).

Nos primeiros tempos de formação da nossa Terra, a sua energia geotérmica era cerca de 15 vezes maior do que actualmente. Neste contexto é interessante assinalar que a idade dos núcleos radioactivos no interior da Terra é cerca de 7 biliões de anos. Eles formaram-se nas gigantescas explosões supernova, frequentes naqueles tempos — foi há 2,5 biliões de anos antes da Terra se ter condensado a partir da névem fotoplanetária. Os restos da supernova enriqueceram a matéria interestelar, da qual se formaram posteriormente o Sol e todos os planetas do sistema solar. O *calor geotérmico* é assim um resíduo ténue do calor imenso (correspondente a temperaturas de biliões de Kelvin) existente nas supernovas. Desde então o calor permaneceu «escondido» nos núcleos radioactivos.

#### (iv) *Forças gravíticas*

As forças gravíticas tornam-se particularmente importantes ao nível dos grandes corpos e sistemas. Assim, por exemplo, um planetoide com o tamanho de 500 km ou mais tem uma forma esférica devido à sua própria gravitação. Por outro lado, um planetoide com dezenas

de quilómetros pode apresentar formas muito irregulares: as forças electromagnéticas são mais importantes em face da sua massa, actuando apenas entre moléculas vizinhas, enquanto a tendência gravitacional para a esferecidade se torna desprezável.

A energia de ligação gravitacional de um corpo de grande dimensão (p. ex. uma estrela) é proporcional ao quadrado da sua massa e inversamente proporcional ao seu raio, ou seja,  $-G M^2/R$ , onde  $G$  é a constante universal da atracção gravítica ( $G = 6,670 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$ ). Põe-se o sinal negativo nesta energia de ligação porque ela representa uma *perda* para a referida estrela, pois foi retirada da energia de repouso da estrela e radiada para o exterior.

As estrelas são condensadas, por auto-gravitação, a partir de gigantescas núvens de matéria interestelar arrefecida. Quando se inicia a contracção da névem, a sua dimensão  $R$  é de alguns meses-luz (isto é,  $10^{15} - 10^{16} \text{ m}$ ). Uma névem tão grande (também chamada um glóbulo) tem uma energia de ligação desprezável, porque  $R$  está no denominador da expressão da energia de ligação atrás apresentada. Pela contracção o tamanho  $R$  diminui e a energia de ligação do sistema aumenta.

Que acontece à energia gravítica de ligação libertada? De acordo com um teorema da Física (virial theorem), metade dessa energia é convertida em energia cinética dos átomos individuais no interior da névem — o que significa que o material é aquecido — enquanto a outra metade da energia gravítica de ligação é irradiada para o espaço cósmico exterior. Uma estrela nesta fase de evolução (tamanho decrescente, energia de ligação a aumentar, temperatura no interior a crescer) toma o nome de *proto-estrela*.

Uma proto-estrela obtém toda a sua radiação (essencialmente radiação infravermelha) da sua energia de repouso  $M c^2$ , graças às forças de gravitação. Quando a temperatura atinge 7 milhões de Kelvin ou mais (na região central da proto-estrela), iniciam-se as reacções nucleares que convertem hidrogénio em hélio: as forças nucleares tomam o comando das ope-

rações para a subsequente libertação de energia de repouso. Termina então a contração da *proto-estrela* e a recém-nascida estrela inicia o período mais longo (termonuclear) da sua vida, no qual se dá a conversão do seu elemento mais abundante — hidrogénio — em hélio.

Após muitos milhões de anos — quando todo o hidrogénio na região central (com uma massa cerca de  $M/8$ ) se converteu em hélio — a gravitação aparece de novo a dominar, contraindo a estrela e aquecendo subsequentemente a sua região central, muito rica em hélio (helium core). De novo as forças gravitacionais libertam energia da energia de repouso, suportando assim a luminosidade da estrela e o calor no seu interior. Quando se atinge a temperatura de 100.000.000 K, o hélio começa a ser convertido em carbono, depois em oxigénio, etc. Os períodos alternados de efeitos essencialmente nucleares e gravíticos terminam finalmente com uma drástica contração gravítica, que representa o colapso da estrela. O estado final da evolução estelar é então uma *anã branca*, uma *estrela de neutrões* ou um *buraco negro*, tudo dependendo da massa inicial da estrela.

Numa escala alargada, a gravitação pode provavelmente libertar até 60 % da massa de repouso de um sistema. Podemos deste modo explicar as fantásticas explosões de núcleos galácticos, radiogaláxias e galáxias infravermelhas — isto é, galáxias que irradiam substancialmente mais sob a forma de radiofrequências e radiação infravermelha do que em luz visível.

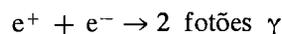
A gravitação desempenha um papel fundamental à escala do Universo: a expansão do Universo decresce a sua própria energia de ligação e por isso a própria velocidade da expansão é gradualmente reduzida. Tanto as observações ópticas como as observações das radiofrequências, feitas com os instrumentos mais avançados, indicam que a expansão deverá terminar passados cerca de 30 biliões de anos. Ocorrerá então o processo inverso — a contração do Universo — com uma duração de cerca de 40 biliões de anos e que conduzirá

a um imenso colapso gravitacional de todo o Universo. Devemos contudo realçar aqui que esta imagem da evolução do Universo permanece controversa, podendo as futuras observações levar à alteração destas ideias. É que tanto nos primeiros como nos últimos instantes do ciclo do nosso Universo (isto é, os chamados Big Bang e Big Collapse) a *aniquilação da matéria* pela antimatéria pode desempenhar um papel fundamental, como mecanismo eficaz de libertação de energia a partir da energia de repouso, numa escala verdadeiramente cósmica.

#### (v) *Aniquilação da matéria*

A aniquilação da matéria é um processo bem conhecido para os físicos que estudam raios cósmicos ou que trabalham com aceleradores de partículas.

No interior profundo do Sol ocorrem mais de  $10^{38}$  processos de aniquilação em cada segundo, nos quais positrões ( $e^+$ ) libertados nas reacções termonucleares colidem com electrões ( $e^-$ ) existentes no plasma circundante, transformando-se nesse processo toda a energia de repouso das partículas em fotões *gama*:



A energia de repouso do electrão é de 0,5 meV, e o mesmo acontece para o positrão; por isso cada um dos dois fotões  $\gamma$  possui uma energia de 0,5 meV.

De modo semelhante, um protão aniquila-se com um antiprotão, um neutrão com um antineutrão, etc. A eficiência deste processo é 100 %, porque toda a energia de repouso das partículas materiais se converte em energia da radiação  $\gamma$ .

Devido à ausência natural de antimatéria na nossa Terra, o processo de aniquilação de matéria não desempenha qualquer papel como fonte de energia no nosso planeta. Mas há modelos em cosmologia segundo os quais toda a energia cinética necessária para a expansão do Universo em larga escala e para outros movimentos como as rotações das galáxias, das estrelas, dos planetas, etc., é suposta provir da energia libertada nos instantes iniciais pela

aniquilação de matéria pela antimatéria. Se as duas formas chegam ao contacto, produz-se uma grande quantidade de radiação gama na região de contacto; essa radiação  $\gamma$ , por sua vez, afasta a antimatéria da matéria, acelerando-as, de modo que a aniquilação não pode ser completa; é o chamado efeito Leidenfrost. De acordo com esta hipótese, deveriam ainda existir grandes quantidades de antimatéria no Universo. Não é, contudo, fácil fazer a estimativa desta quantidade, porque um fóton emitido por uma estrela é o mesmo que o antifóton emitido por uma anti-estrela. Não podemos dizer se uma estrela que observamos é feita de matéria normal (Koinomatter) ou de antimatéria. Neste contexto, as observações de neutrinos seriam mais promissoras, uma vez que a combustão de anti-hidrogénio produz antineutrinos, enquanto a combustão de hidrogénio nas estrelas normais (como o nosso Sol) produz neutrinos. Contudo, os métodos de detecção de neutrinos e antineutrinos existentes não são ainda suficientemente sensíveis.

## 1.2. Energia Cinética

Todas as partículas do Universo e todos os sistemas de partículas estão intrinsecamente dotadas de movimentos relativos, e portanto de energia cinética.

Tudo se move no Universo: as partículas do plasma e dos sólidos, dos líquidos, dos gases, das núvens; os satélites movem-se em torno dos seus planetas, os planetas movem-se em torno das suas estrelas, as estrelas rodam em torno dos seus eixos e participam na rotação da Galáxia, as galáxias movem-se em torno do centro das suas supergaláxias.

Os corpos celestes e os seus sistemas herdaram a sua energia cinética do material progenitor. Todos os movimentos no sistema solar são uma herança visível dos movimentos de rotação e de turbulência da névem progenitora do Sol. É interessante mencionar aqui que a energia rotacional dessa névem inicial acabou por se dividir igualmente entre o Sol e o movimento translacional dos planetas (em conjunto,  $2 \times 10^{35}$  J).

O movimento de translação caótico dos átomos, iões e electrões na matéria representa também energia cinética—calor. A parte principal do Universo observado está no estado de *plasma* e contém uma grande quantidade de calor. Por exemplo, a energia cinética associada aos movimentos térmicos de todos os átomos, iões e electrões no nosso Sol é de  $3 \times 10^{41}$  J, enquanto a energia de translação do movimento do Sol (relativamente às estrelas vizinhas, isto é,  $19 \text{ km.s}^{-1}$  em relação à constelação de Hercules) é três ordens de grandeza mais pequena. A energia cinética dos átomos, iões, electrões livres, determina o tipo de *estado da matéria* para uma dada densidade de matéria; ela decide, em última instância, se o agregado de partículas é um sólido, um líquido, um gás, um plasma, um gás degenerado, um gás de neutrões ou um gás de hiperões.

A energia cinética pode ser transferida para a componente fotónica do Universo. Nas colisões de átomos, iões e moléculas entre si ou com electrões livres, parte da sua energia cinética é transformada em energia de excitação ou ionização e pode então ser irradiada sob a forma de fótons. Sempre que um electrão num plasma passa na vizinhança de um ião, a sua trajectória é deflectida e parte da sua energia cinética é emitida sob a forma de um fóton. Todo o plasma perde a sua energia desta forma; os fótons emitidos chamam-se fótons térmicos de «bremsstrahlung». Os electrões relativistas dos raios cósmicos circulam em torno das linhas de força dos campos magnéticos perdendo a sua energia sob a forma de radiação sincrotrónica. Há ainda outros modos de passagem da energia da componente material para a componente fotónica do Universo. A absorção de fótons pela matéria constitui o processo inverso, no qual a energia do fóton se converte em energia cinética das partículas, isto é, em calor.

## 2. Energia do Universo fotónico

Há fótons em toda a parte do Universo, no vasto espaço entre as estrelas e entre as galáxias, e no interior das estrelas. As energias

dos fótons cobrem uma vastíssima gama de um diapasão, desde  $10^{-11}$  eV a  $10^{17}$  eV por fóton. A astronomia, até algumas décadas atrás, usava apenas uma oitava do diapasão (entenda-se luz), enquanto a astronomia da era dos voos espaciais usa a totalidade do diapasão, que atinge as 96 oitavas desde as ondas de rádio muito longas até aos fótons  $\gamma$  mais energéticos.

A energia total de todos os fótons existentes num  $\text{cm}^3$  do espaço (a chamada densidade de energia da radiação), e a sua distribuição em função da energia (espectro), variam no tempo e no espaço. Dá-se na Tabela I a densidade de radiação em diferentes regiões.

TABELA I — Densidades da radiação em diferentes regiões do Universo de partículas.

Espaço inter-galáxico (predomínio de fótons 3 K) ... ..	0,4 eV. $\text{cm}^{-3}$
Espaço inter-estelar ... ..	1,1 eV. $\text{cm}^{-3}$
Vizinhança da Terra (face iluminada) ... ..	$3 \times 10^7$ eV. $\text{cm}^{-3}$
Vizinhança do Sol ... ..	1 erg. $\text{cm}^{-3}$ <sup>(1)</sup>
Região central do Sol ... ..	$10^7$ J. $\text{cm}^{-3}$ <sup>(1)</sup>
Interior de uma estrela massiva (antes do seu colapso) ... ..	$10^{11}$ MJ. $\text{cm}^{-3}$
Onda de choque numa supernova ... ..	$10^{18}$ MJ. $\text{cm}^{-3}$

<sup>(1)</sup> 1 J =  $10^7$  erg, 1 erg =  $6,25 \times 10^{11}$  eV.

Os fótons no espaço inter-galáxico são *fótons fósseis* porque eles sobreviveram desde os primeiros instantes da evolução do Universo (isto é, desde o Big Bang). É uma radiação isotrópica e o seu espectro corresponde no momento presente a uma temperatura de 3 K. A energia de cada fóton decresce à medida que o Universo se vai expandindo. No período de tempo de 10 biliões de anos, que é a idade do nosso Universo, os fótons  $\gamma$  acabarão lentamente por se degradar em ondas de rádio milimétricas e centimétricas. No interior da nossa Galáxia, próximo do plano da Galáxia, a radiação de origem estelar está sobreposta à radiação fóssil de fundo. A maior parte da energia consiste de fótons no infravermelho.

A radiação próxima da Terra e em todo o sistema planetário em geral, é sobretudo de origem solar apresentando o seu máximo na luz visível. No centro do sistema solar os fótons estão distribuídos de acordo com a lei de

Planck, uma vez que as regiões centrais das estrelas constituem a melhor aproximação de um *corpo negro* conhecida no Universo. O máximo da densidade de radiação correspondente à temperatura de 13 milhões de Kelvin ocorre para radiações com  $2 \text{ \AA}$  de comprimento de onda, e por isso os fótons na região central do Sol são fótons de raios X.

Nas regiões centrais das estrelas pesadas, no termo do seu estado termonuclear, e nas ondas de choque acompanhando o seu colapso, os fótons  $\gamma$  de elevadíssima energia existem em densidades extremamente elevadas. Tais fótons, com energias de muitos mega-electrões-volt, podem reverter energia de ligação aos nucleões

em núcleos atómicos e deste modo núcleos menos estáveis podem ser dissociados (foto-dissociação nuclear). Os nucleões libertados recuperaram assim a sua energia de repouso original, que possuíam no começo da evolução da estrela.

Os fótons transportam consigo energia e informação. O seu conteúdo de *informação* é a fonte mais importante do conhecimento que temos acerca do Universo. A *energia* trazida pelos fótons solares é a fonte de (quase) todos os movimentos do nosso planeta e também dos outros planetas que nos acompanham. Através das plantas verdes a energia solar entra em todos os organismos vivos da biosfera terrestre (foto-síntese). Esses fótons sempre foram e provavelmente continuarão a ser a base fundamental do desenvolvimento e do bem estar da sociedade humana. Estes tópicos serão objecto do nosso próximo artigo, sobre a Energia ao serviço da Humanidade.

# Conceitos físicos em Metodologias Radiológicas<sup>(\*)</sup>

## II — Tomografia Axial Computorizada (TAC) ou Tomografia Computorizada de Transmissão

JOÃO JOSÉ PEDROSO DE LIMA

Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra

A finalidade da tomografia axial computarizada (T.A.C.) é determinar o coeficiente de absorção linear  $\mu(x,y)$  em cada ponto de uma secção espessa do corpo a partir de um conjunto de projecções obtidas para diferentes ângulos em torno do paciente (Fig. 16).

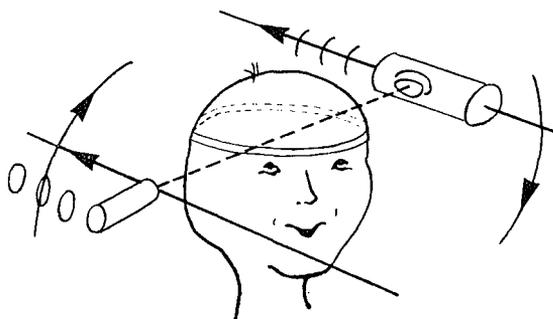


Fig. 16 — Esquema simplificado do princípio de Tomografia Axial de Transmissão (translação-rotação).

Com esta técnica iremos conseguir:

- Eliminar as flutuações de contraste devidas a grandes espessuras de tecido sobrepostas, subpostas e situadas lateralmente às zonas de interesse.

Praticamente, só o corte é irradiado com raios X, sem interferência com as regiões anexas.

- Eliminar, quase que por completo, a radiação dispersa (o feixe tem uma abertura muito pequena e são usados colimadores na fonte e, também, nos detectores).

- Utilizar com eficiência os raios X (a eficiência dos detectores utilizados é de 50-90 %).

- Obter visualização tridimensional (a partir dos cortes axiais podem obter-se cortes coronais e sagitais e ter-se uma visualização tridimensional bastante completa).

- Obter dados quantitativos tais como distâncias entre pontos, áreas de regiões, etc... nas imagens dos cortes, através de diálogo com o computador.

- Obter, finalmente, a imagem de cortes com a espessura de 1 a 10 mm com resolução espacial de 1 a 2 linhas/mm e uma resolução de contraste da ordem dos décimos por cento.

Tudo isto conseguido à custa de quê?

- De degradação da resolução espacial em relação à conseguida com a radiologia convencional;

- De aumento do ruído (ruído estatístico + ruído do algoritmo matemático);

- De doses consideráveis no paciente;

- De aumento considerável no custo dos exames.

Quais são, então, as diferenças mais importantes entre a radiologia convencional e a T.A.C.?

- A radiologia convencional produz a compressão de um volume para um plano. Na projecção radiológica é subtraída uma dimensão ao objecto.

- A T.A.C. fornece a distribuição do coeficiente  $\mu$  em secções espessas, permitindo uma aproximação tridimensional.

- Uma radiografia convencional é um conjunto definitivo de graduações de cinzento comprimidas no intervalo bastante limitado das densidades utilizáveis do filme.

- Na T.A.C. são armazenados na memória do computador números que representam os valores médios de  $\mu$  nos voxel's correspondentes aos pixel's da imagem. Estes valores podem ser utilizados as vezes que quisermos, fazendo corresponder aos níveis de cinzento de um

(\*) Ver parte I em Gaz. Fis. 10, 19 (1987).

monitor quaisquer intervalos de valores escolhidos. Na imagem cada pixel ficará com um nível de cinzento correspondente ao número T.A.C. armazenado. Este, por sua vez, tem a ver com a atenuação no correspondente voxel.

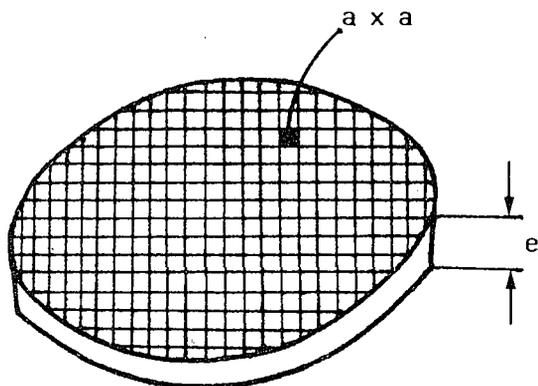


Fig. 17 — Os voxel's de volume  $a \times a \times e$  e os pixel's de área  $a \times a$  num corte tomográfico.

Antes ainda de falarmos de aspectos técnicos da T.A.C. consideremos alguns dos aspectos físicos relacionados com o método. Numa secção espessa do objecto, Fig. 17, que se

sões anteriores para o elemento de ordem  $n$  vem:

$$I_n = I_{n-1} e^{-\mu_n a} = I_{n-2} e^{-\mu_{n-1} a} e^{-\mu_n a} = \dots = I_0 e^{-\mu_1 a} \dots e^{-\mu_n a}$$

e, se se aplicam logaritmos naturais, vem:

$$-\ln \frac{I}{I_0} = \mu_1 a + \dots + \mu_n a = \sum_{i=1}^n \mu_i a = \sum_{i=1}^n f_i$$

Este somatório traduz a atenuação segundo uma dada direcção do feixe de raios X. Podemos generalizar a utilização desta expressão ao caso da Fig. 19:

A intensidade  $I_{x'}$  pode caracterizar-se, para um dado  $x'$ , pela relação

$$-\ln \frac{I_{x'}}{I_0} = \ln \frac{I_0}{I_{x'}} = \sum_{i=1}^n \mu_i a = \sum_{i=1}^n f_i$$

a que chamaremos *raio soma*. O raio soma é igual ao logaritmo natural do inverso da fracção

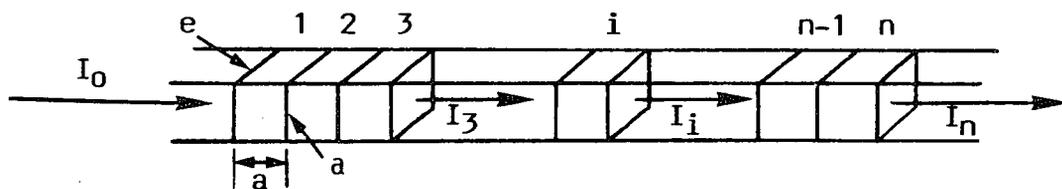


Fig. 18 — Variação da intensidade do feixe de Raios X ao atravessar um série de elementos do objecto.

supõe dividida em voxel's cujo lado de base quadrada é  $a$ , suponhamos um fino feixe de raios X de secção rectangular  $a \times e$  a atravessar uma série de elementos de volume de lado  $a \times a$  e espessura  $e$  (Fig. 18).

Sejam  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$  os coeficientes de atenuação médios dos elementos de volume 1, 2, ...,  $n$ . Para o elemento corrente de coeficiente  $\mu_i$ , a intensidade à saída do elemento  $I_i$  é:

$$I_i = I_{i-1} e^{-\mu_i a} \quad \text{e} \quad -\ln \frac{I_i}{I_{i-1}} = \mu_i a = f_i$$

Quando se considera a primeira das expres-

da intensidade inicial do feixe que é transmitida segundo a direcção  $y'$  e abcissa  $x'$ .

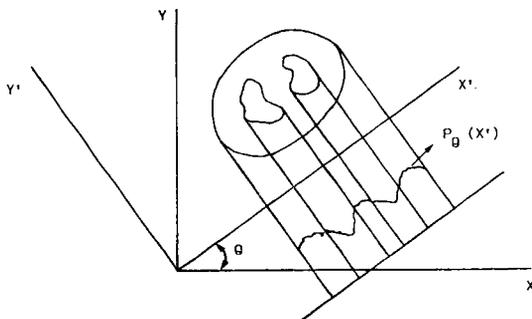


Fig. 19 — Representação gráfica de uma projecção  $P(X')$ .

O conjunto dos raios soma segundo uma dada direcção  $y'$  é a projecção  $P_\theta(x')$ , ou seja,  $P_\theta(x')$  é a projecção da distribuição  $\mu(x, y)$  sobre a direcção do ângulo  $\theta$ .

A projecção  $P_\theta(x')$  pode ser ortogonal ou não, mas é do conjunto das projecções obtidas segundo um número considerável de direcções que é possível obter-se a reconstrução tomográfica com as características mencionadas.

Suponhamos que o corte é uma matriz de  $n \times n$  elementos (Fig. 20).

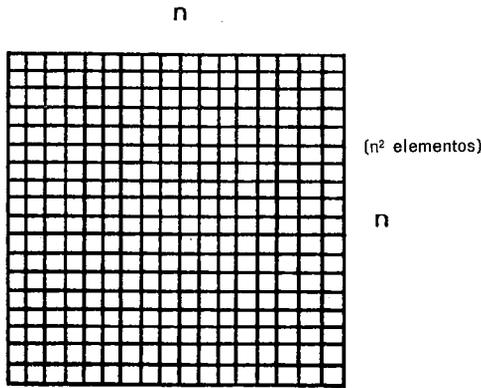


Fig. 20 — A matrix  $n \times n$ .

Se fizermos  $n$  projecções com ângulos  $\theta$  de 0 a 360°, com  $n$  determinações individuais, ou seja,  $n$  raios soma por projecção, ficamos com um sistema com  $n^2$  incógnitas. Cada raio soma corresponde a uma equação onde se encontram os coeficientes de atenuação de alguns dos  $n^2$  elementos. Com a informação contida nos raios soma pretende calcular-se, a partir da resolução do sistema, o valor do coeficiente de atenuação médio de cada elemento.

Parece simples, sem dúvida, mas nos T.A.C. modernos o número de elementos da matriz poderá ser de  $500 \times 500$ , ou seja, cerca de 250.000. Um sistema de 250.000 equações, com 250.000 incógnitas, não é tarefa rapidamente realizável, mesmo pelos mais potentes computadores.

Por esta razão foram desenvolvidos algoritmos capazes de encontrar os valores de  $\mu$  dos elementos da imagem por outros meios.

Os modernos algoritmos de reconstrução usam a retroprojecção. Esta consiste em, após se terem obtido as projecções, se fazer corres-

ponder, no computador, a cada ponto do espaço objecto, segundo o trajecto de cada raio soma, o valor do próprio raio soma, adicionando os valores que se sobreponham. Para se entender isto considere-se a Fig. 21a).

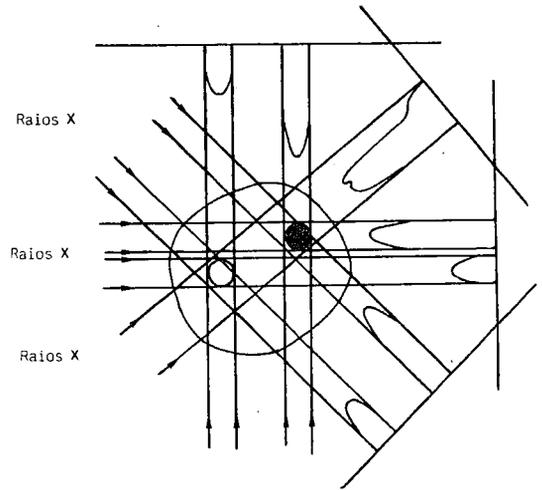


Fig. 21a) — Projecção.

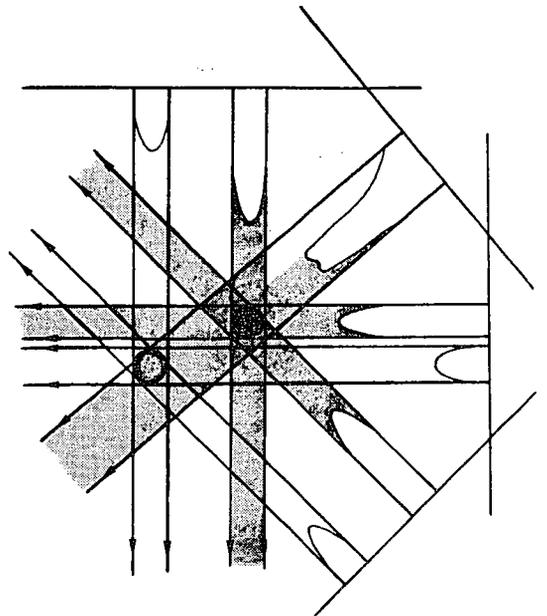


Fig. 21b) — Retroprojecção.

Suponhamos que se projecta ortogonalmente, com um feixe de raios X muito fino, em diversas direcções, um objecto plano, com duas zonas absorventes de iguais dimensões, sendo a mais escura de maior coeficiente de absorção. Se representarmos os gráficos dos valores dos raios soma, ao projectarmos se-

gundo as várias direcções, obteremos as projecções 1, 2, 3 e 4. Na Fig. 21a) só se mostram os raios soma limites das zonas absorventes em cada projecção.

Retirando o objecto e a fonte de raios X e considerando agora linhas coincidentes com os raios soma, no espaço onde se encontrava o objecto, linhas essas com um tom de cinzento tanto mais escuro quanto maior for o valor do raio soma, obtém-se a Fig. 21b).

As linhas, cruzando-se, fazem surgir as regiões mais escuras correspondentes às zonas absorventes. Este processo designa-se por retroprojectação.

Escusado será dizer que no computador não se cruzam linhas com vários tons de cinzento, mas somam-se os correspondentes valores dos raios soma nos endereços correspondentes aos pixel's onde ocorrem tais cruzamentos. A retroprojectação não conduz, contudo, a uma representação fiel das duas zonas absorventes. Estas aparecem na imagem retroprojectada com artefactos. Para um número considerável de projecções as duas zonas da Fig. 21 aparecem na retroprojectação com maiores dimensões e parecendo estrelas.

Existe a possibilidade de utilizar métodos de filtragem sobre as projecções de modo a não aparecerem tais artefactos na imagem. Para tal, cada projecção é combinada com o filtro através de um processo matemático denominado convolução. As projecções filtradas correspondentes por exemplo à Fig. 21a) iriam apresentar valores negativos nos pontos contíguos aos que definem as regiões de maior absorção. Ao ser executada a retroprojectação no computador a introdução dos valores negativos vai fazer desaparecer a maioria dos artefactos como se sugere na Fig. 22.

O efeito do filtro faz com que, na imagem retroprojectada, os valores correspondentes aos pixel's das zonas absorventes sejam positivos e, nas outras regiões, sejam próximos de zero.

Passemos agora à estrutura de um tomógrafo de transmissão. Em termos muito gerais, a Fig. 23 elucida-nos nesse aspecto.

Fundamentalmente, as tarefas que um T.A.C. terá de executar são a aquisição dos

dados, o seu processamento e a apresentação final ou «display» das imagens reconstruídas.

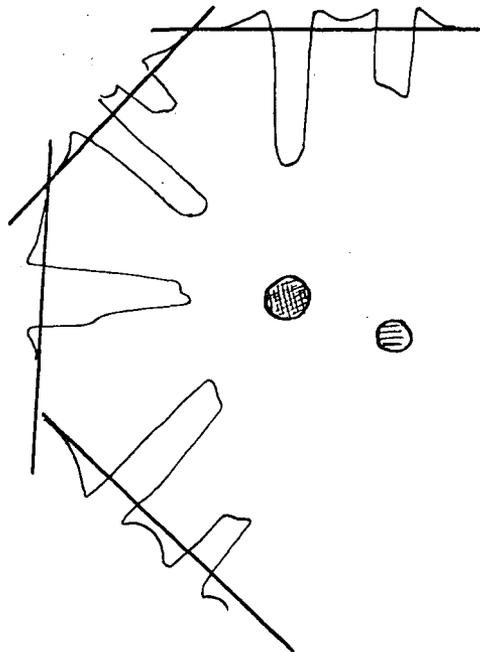


Fig. 22 — Retroprojectação de projecções filtradas.

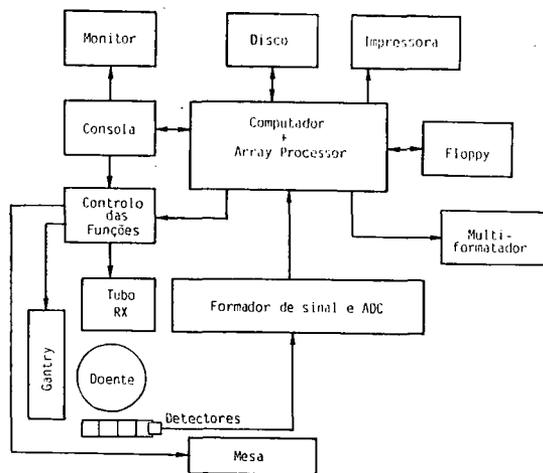


Fig. 23 — Esquema dos blocos de um T.A.C.

Na Fig. 23 há blocos dedicados exclusivamente a alguma destas tarefas e outros que poderão desempenhar funções em mais do que uma das tarefas referidas.

Os blocos: tubo de raios X (que inclui a alimentação), detectores, formador de sinal e ADC, «gantry», mesa e controlo tomam parte na aquisição.

O computador + «array processors», disco e controlo tomam parte no processamento de dados.

O computador, o disco, o multiformador, o floppy e o monitor poderão colaborar na apresentação dos resultados.

Os sistemas de T.A.C. inicialmente propostos eram chamados de translação-rotação e usavam uma translação do conjunto que suportava o tubo de raios X e o detector único para obter uma projecção segundo uma dada direcção, Fig. 24a). O conjunto rodava então um pequeno ângulo ( $1^\circ$ ) antes de fazer nova translação em sentido contrário. Eram executadas 180 projecções que necessitavam cerca de 4 minutos para serem executadas.

Os sistemas de 2.<sup>a</sup> geração dos T.A.C., Fig. 24b), eram ainda de translação-rotação mas utilizavam múltiplos detectores, com uma redução do tempo de corte para 20-60 segundos. A projecção já não é ortogonal.

Na terceira geração, o movimento de translação foi eliminado. Os sistemas apresentam um

arranjo circular de detectores que definem um ângulo com vértice no foco do tubo de raios X que enquadra totalmente o paciente, Fig. 24c). A cada detector corresponde sempre o mesmo fino feixe de raios X.

Para a execução do corte, o conjunto dos detectores e o tubo de raios X roda em torno do paciente, conseguindo tempos de exame de 2-9 segundos.

O número de detectores utilizado neste tipo de tomografia é de 250-700.

Nestes aparelhos a velocidade do exame está limitada pelas capacidades de débito de raios X da ampola e pela velocidade de transferência dos dados ao computador.

A grande exigência de estabilidade dos detectores é uma das maiores dificuldades deste tipo de aquisição.

A quarta geração dos T.A.C., Fig. 24d), destinou-se sobretudo a ultrapassar as necessidades de estabilidade dos detectores da 3.<sup>a</sup> geração. Só o tubo de raios X move, havendo um arranjo circular de detectores que completa os

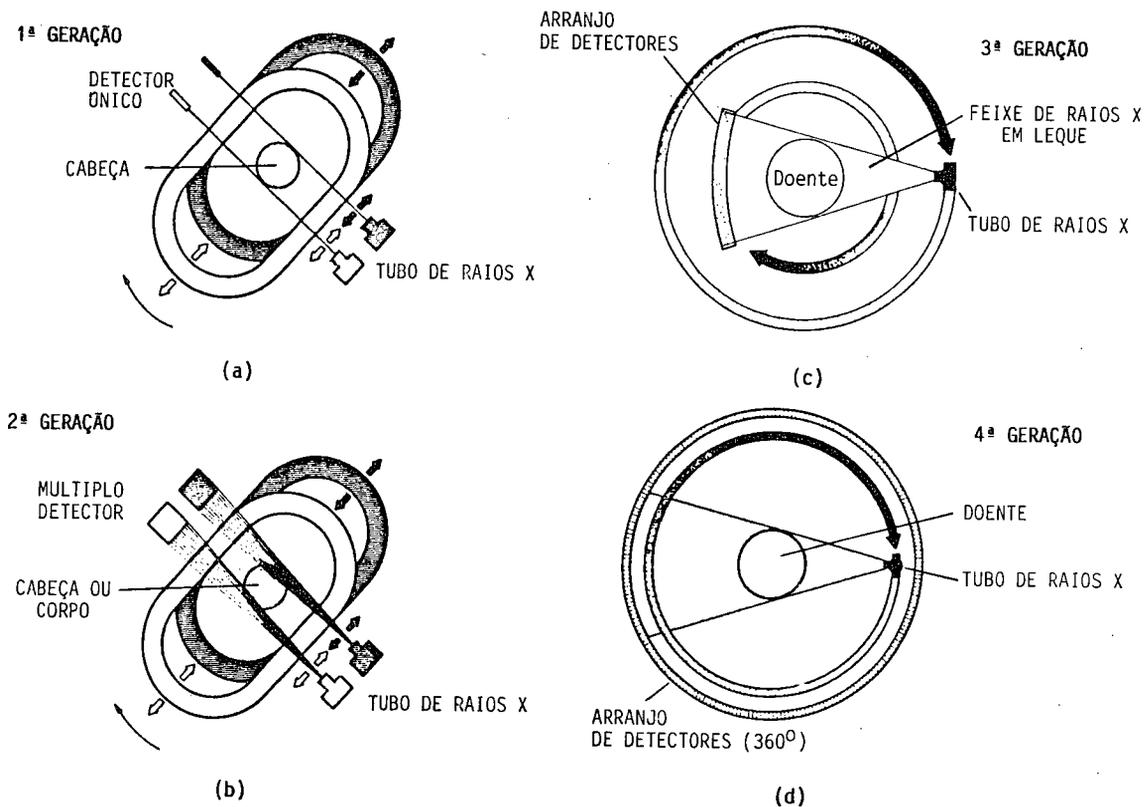


Fig. 24

360° no plano do exame. É exigido um número muito superior de detectores em relação às outras gerações (750-2000).

A velocidade de execução do exame continua a ser limitada pelo tubo de raios X e sobretudo pela velocidade de transferência de dados ao computador. Os tempos mínimos de exame conseguidos com esta técnica são da ordem do segundo.

As 3.<sup>a</sup> e 4.<sup>a</sup> gerações são «só de rotação», embora na última seja unicamente o detector a rodar. As soluções teóricas que foram encontradas e o menor custo dos aparelhos baseados na concepção da 3.<sup>a</sup> geração tornam esta ainda a mais divulgada.

Os tubos de raios X utilizados nos T.A.C. são, em geral, especiais. A capacidade calorífica do ânodo deve ser pelo menos de 400.000 HU (unidades de calor) havendo tubos, desenhados especialmente, com capacidades de  $10^6$  HU <sup>(1)</sup>. As dimensões do foco não são, contudo, tão críticas como na radiologia convencional, visto não se obter a imagem por projecção directa. Na maioria dos casos são, porém, utilizadas elevadas velocidades de rotação do ânodo.

Existem diversos modos de aplicar a alta tensão ao tubo, consoante o tipo de T.A.C..

Nos sistemas de translação-rotação só é aplicada tensão ao tubo durante a translação. As correntes utilizadas nestes aparelhos atingiram os 50 mA. Os sistemas só de rotação podem utilizar a alta tensão no tubo ou em regime contínuo ou pulsado. No primeiro, são usadas correntes até 100 mA. No segundo, a corrente em pulsos de 1 a 5 ms, com frequência da ordem dos 60 Hz, pode atingir os 1000 mA.

Elevadíssimas intensidades de fótons libertados em curtos intervalos de tempo, de modo a permitir amostragens em tempos mínimos, constitui a exigência mais severa do T.A.C. sobre os tubos de raios X. Analisemos tal exigência.

Uma imagem tomográfica necessita de  $10^9$ - $10^{11}$  fótons detectados. Para fótons de energia efectiva média 70 KeV, como em geral se usa nos T.A.C., atingirem os detectores em tal número, terão de ser absorvidos pelo corpo

do paciente  $10^2$  a  $10^3$  vezes aquele valor. Isto implica que a intensidade emitida pela ampola deve ser da ordem de  $10^{11}$ - $10^{12}$  fótons para o ângulo sólido de  $\sim 10^{-2}$  esteroradianos. Para a energia referida os fluxos que se conseguem com os tubos usados nos T.A.C. são de cerca de  $3 \times 10^{12}$  fótons  $\text{KW}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ esterorad}^{-1}$ . É este valor que limita a máxima velocidade de execução dos cortes nos T.A.C..

Por outro lado, a energia total que é necessário libertar na superfície do ânodo para se ter uma imagem com interesse clínico é da ordem da centena de KJ. A capacidade calorífica dos ânodos rotativos não ultrapassam os 300 a 100 KJ por limitações da massa em rotação. Significa isto que só um número limitado de imagens pode ser efectuado sem tempo de arrefecimento.

Os detectores que têm sido utilizados nos T.A.C. são os detectores sólidos e os detectores de ionização em gás. São exigidas simultaneamente aos detectores dos T.A.C. as seguintes características: baixo ruído, linearidade na resposta de frequência, alta estabilidade e baixo custo. A opção por um tipo particular de detector deve depender das características do próprio detector e das interacções com o sistema de T.A.C. utilizado.

Os detectores de cintilação produzem uma centelha de luz visível e ultravioleta quando excitados por raios X. A centelha de luz é transformada num impulso eléctrico por meio de um tubo fotomultiplicador ou de um fotodíodo, sendo os impulsos contados por integração de carga eléctrica devido às elevadas frequências que ocorrem.

Uma condição de utilização no T.A.C. dos detectores de cintilação é a de não terem tempos longos de decaimento da centelha luminosa. Quando tal ocorre a linearidade da resposta dinâmica do detector é deteriorada. Esta e outras condições vieram reduzir os cintiladores utilizados em tomografia ao germanato de bismuto, iodeto de cézio e tungstato de cálcio. Este último é o que apresenta, no conjunto, melhores características: um pequeno tempo de decaimento do pulso de luz, pulso

<sup>(1)</sup> 1 HU = 0,707 J.

de elevada intensidade e com espectro favorável para uso de fotodíodos de silício, boas propriedades mecânicas e custo moderado.

Os detectores gasosos utilizam os impulsos resultantes da captação, por eléctrodos a potencial apropriado, das cargas eléctricas produzidas por ionização no gás. O gás mais utilizado é o xenon, de número atómico alto (52), que é sujeito a pressões elevadas para aumentar a eficiência de detecção.

A eficiência de detecção dos cintiladores sólidos é superior por um factor de cerca de 2 (95 % para 45 %) à dos detectores de Xe. Contudo, a construção dos detectores de gás permite que a separação entre os detectores seja consideravelmente menor do que no caso dos cintiladores. Este facto torna a eficiência real dos dois tipos de detector praticamente sobreponível e da ordem dos 45 %.

Em termos de custo, os detectores de Xe são mais baratos do que os cintiladores sólidos. Duas vantagens dos detectores de Xe sobre os detectores sólidos são a maior estabilidade em longos períodos de tempo e a não dependência da temperatura. Daqui resulta que seja de esperar a necessidade de uma frequência maior de calibrações nos aparelhos com cintiladores do estado sólido. Os detectores de Xe, apesar de alguns problemas associados à probabilidade de ocorrência de microfonia e à estabilidade dos amplificadores de alta impedância, que têm acoplados, apresentam vantagens globais para os sistemas de «só rotação».

Antes de ser detectado, o feixe de raios X é colimado. No T.A.C. o feixe é colimado antes e depois do paciente. O colimador pré-paciente, constituído por várias lâminas de chumbo, destina-se a ter um feixe de raios paralelos e de secção apropriada aos detectores. O colimador pré-detector elimina a radiação difusa e ajuda a definir a espessura do corte.

Nos modernos T.A.C. todas as funções são controladas usando a tecnologia dos computadores digitais. Assim, as condições de funcionamento do tubo de raios X, a localização do doente, a calibração dos detectores, a aquisição dos dados, a sua correcção, a reconstrução da imagem, o seu armazenamento, a apresentação da mesma e a sua possível manipulação, a

fotografia das imagens, as operações em tempo real com o sistema de operação, são sujeitos a controlo pela unidade de controlo ou pelo próprio computador.

A reconstrução e processamento da imagem é, presentemente, efectuada no todo ou em parte, no «array processor» sob controlo de software. Os «array processors» aumentam drasticamente a velocidade de processamento e são indispensáveis quando se pretendem imagens de alta resolução com áreas consideráveis. Estes processadores são igualmente úteis num conjunto de outras operações tais como as da obtenção de cortes sagitais e coronais a partir dos cortes axiais, no *zoom* e na reconstrução tridimensional.

A quantificação de parâmetros da imagem tais como densidades relativas, áreas e distâncias é correctamente obtida nos T.A.C..

A experiência veio permitir apontar algumas características mínimas exigíveis aos T.A.C. para satisfazer as exigências da clínica nalguns exames. No quadro que segue mostramos alguns valores típicos:

Órgão	Tempo/corte (s)	Distância de resolução (mm)	Resolução de contraste (%)
Cérebro	10-20	1 -2	0,5
Tórax	2- 5	1 -2	2
Coluna	10-20	0,5-1	0,5
Abdómen	1- 5	2 -4	5
Coração (gated)	0,001	0,5-2	0,5

As imagens tomográficas do coração exigem a múltipla aquisição em intervalos de tempo mínimos sincronizada pelo ECG para, por adição, se conseguir o número de fotões necessário para a obtenção de imagens com ruído aceitável.

De um modo geral, as exigências mínimas citadas são atingidas pela maioria dos T.A.C. comerciais, embora as características específicas dos diversos modelos permitam estabelecer distinções importantes entre eles. Estas distinções devem incluir como elemento de importância relevante a dose no paciente.

Os factores mais importantes a considerar para valorizar a imagem dos T.A.C. são, para além da dose, resolução espacial e resolução de contraste, a velocidade do corte, a mínima espessura do corte, a capacidade de rejeição de artefactos, a linearidade, a uniformidade espacial e o ruído introduzido.

A resolução espacial de um T.A.C. é muitas vezes especificada a partir da FTM. A frequência espacial para a qual a FTM é 0,1 é, por vezes, chamada frequência limite. Em condições muito especiais alguns T.A.C.'s poderão ter frequências limite de 2,5 a 3 linhas/mm.

A resolução de contraste numa imagem de T.A.C. depende das dimensões do objecto, da sua uniformidade (ou seja, o ruído produzido pelas diferenças de atenuação nas estruturas do objecto) e das outras formas de ruído (estatístico, electrónico e do algoritmo).

Para uma mesma dose no paciente existe, como vimos, um compromisso entre resolução espacial ou, se quisermos, a dimensão do pixel, e a resolução de contraste. Para doses nos pacientes consideradas aceitáveis e com resoluções espaciais inferiores ao milímetro, os T.A.C. conseguem resoluções de contraste da ordem de décimas por cento.

A linearidade de um tomógrafo é avaliada pela curva do número T.A.C. em função do coeficiente de atenuação efectuada com um fantoma apropriado. Esta função deve ser muito aproximadamente uma recta. A uniformidade espacial tem a ver com variações, de pixel para pixel, na imagem de um objecto de composição uniforme. Tais variações não deverão originar contrastes que ultrapassem a resolução de contraste do sistema.

A tendência de desenvolvimento da T.A.C. visa as melhores resoluções de contraste e espaciais para tempos mínimos de exame e para doses toleráveis. Infelizmente este último ponto nem sempre é valorizado como devia.

Para os diversos exames de tomografia as doses variam com as técnicas usadas e as máquinas utilizadas, sendo da ordem de 2-4 rad para a cabeça, 2-5 rad para o corpo e 5-8 rad para a coluna.

## Semana de Ciência e Tecnologia

As Secretarias de Estado da Juventude e da Investigação Científica, Junta Nacional da Investigação Científica e Tecnológica, Associação Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento, Associação Juvenil de Ciência, e o Fundo de Apoio aos Organismos Juvenis, levarão a efeito, a partir do próximo mês de Maio, a iniciativa «Semana de Ciência e Tecnologia».

Tratar-se-á de uma exposição itinerante, que percorrerá as capitais de distrito do país, permanecendo uma semana em cada uma delas. Os objectivos são: despertar o interesse do público em geral, e em especial da juventude, para a ciência e suas aplicações; dar a conhecer os seus objectivos, prática e resultados; e despertar os jovens para a possibilidade de uma carreira científica.

A exposição constará de diversos «stands» onde serão exibidas experiências, tanto de nível didáctico como mais avançado. Serão também projectados filmes e vídeos sobre diferentes temas. Haverá ainda diversos colóquios de âmbito geral, sempre para um público não especializado.

A primeira «Semana de C. & T.» decorrerá em Setúbal de 23 a 30 de Maio, sendo a iniciativa mais tarde retomada, a partir de Outubro.

**Errata** — na parte I deste artigo, Gaz. Fís. 10, 19 (1987), na pág. 22, linha 8, 1.<sup>a</sup> coluna; onde está 100 nit é 1000 nit.

### Microscopia electrónica convencional e de efeito túnel

Em 15 de Outubro de 1986 foi atribuído conjuntamente o prémio Nobel da Física a Ernst Ruska, pelas suas investigações fundamentais em óptica electrónica e pela construção do primeiro microscópio electrónico, e a Gerd Binnig e Heinrich Rohrer pelo projecto e construção do primeiro microscópio de varrimento por efeito túnel <sup>(1)</sup>.

Ernst Ruska, nascido em Heidelberg, Alemanha, em 1906, obteve as primeiras imagens de microscopia electrónica em 1931 e, apenas decorridos dois anos de desenvolvimento, o seu microscópio ultrapassava a resolução e a amplificação dos microscópios ópticos. Desde então o microscópio electrónico, com os seus diferentes modos de operação e imagem (trânsmissão, reflexão, varrimento) e aperfeiçoamentos técnicos sucessivamente introduzidos, tornou-se um equipamento indispensável em muitos domínios da Ciência e Tecnologia, nomeadamente em Ciência dos Materiais, Microelectrónica, Biologia e Medicina, permitindo estudos fundamentais de análise estrutural, com a visualização de detalhes com dimensões desde alguns  $\mu\text{m}$  ( $10^{-3}$  mm) até alguns  $\text{Å}$  (sob condições muito especiais).

No microscópio electrónico convencional produz-se um feixe inicial de electrões por emissão termoiónica, subsequentemente acelerados de modo a ficarem com um comprimento de onda (de De Broglie) associada muito pequeno (inferior ao  $\text{Å}$ ); portanto, um grande poder de resolução dos objectos onde incide o feixe electrónico. Mediante um sistema conveniente de lentes para electrões (eléctricas ou magnéticas) é possível deflectir o feixe de electrões de modo semelhante ao do microscópio óptico (feixe de fotões). As imagens no microscópio electrónico podem ser produzidas pelos electrões que atravessam o objecto em observação (microscopia de transmissão) por electrões reflectidos (microscopia de reflexão), ou ainda por electrões secundários emitidos na região onde incide o feixe.

O microscópio electrónico de efeito túnel, desenvolvido por Gerd Binnig (alemão, nascido em 1947) e Heinrich Rohrer (suíço, nascido em 1933), foi posto a funcionar em 1981, não havendo qualquer sistema de lentes ou produção prévia de um feixe de electrões por um filamento incandescente. O objecto em observação é simplesmente varrido por um estilete metálico com uma ponta extremamente fina (dimensões atómicas), ao qual está aplicada uma diferença de potencial  $V$ , em relação ao objecto (alguns mV a V), estilete que se desloca muitíssimo perto da superfície do objecto (mas sem a trocar), tipicamente a alguns  $\text{Å}$  de distância. Segundo a Mecânica Quântica, quando dois corpos estão extremamente próximos entre si (ponta do estilete/objecto sob observação), mesmo que entre eles haja o vácuo, há sempre a possibilidade de passagem de electrões de um dos corpos para o outro e vice-versa (efeito túnel). Estando um dos corpos a um potencial mais elevado que o outro, haverá mais electrões a passar num dado sentido, o que equivale a uma corrente eléctrica por efeito túnel,  $I_t$ , tipicamente de alguns nA ( $10^{-9}$  A), entre o estilete e o objecto. Mantendo  $I_t$  constante (mediante um sofisticado sistema de regulação da distância  $z$  do estilete à superfície do objecto), o valor da distância  $z$  assim ajustada na vizinhança de cada ponto da superfície depende directamente da densidade electrónica e iónica nesse ponto, logo da estrutura atómica local. Consegue-se portanto, com o efeito túnel, níveis de resolução espacial extremamente finos, podendo visualizar-se não só os átomos individuais como a distribuição de carga e detalhes estruturais a uma escala da ordem de  $10^{-1}$   $\text{Å}$ .

Ainda na infância do seu desenvolvimento, a resolução já conseguida com o microscópio de efeito túnel permitiu abrir uma nova janela de visualização e observação do mundo microscópico, a níveis impensáveis há apenas escassos anos atrás. Isto representa um novo marco do progresso científico e tecnológico, nos mais variados campos da investigação.

J. Bessa Sousa

(1) Physics Today **39** 26 (1986), Europhysics News **17** 141 (1986), Physics Bulletin **38** 24 (1987).

# Ernst Ruska e o microscópio electrónico de transmissão

M. A. FORTES

Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Lisboa

Ver para crer, ver para perceber. A possibilidade de ver tudo sugere a possibilidade de perceber tudo; o que é uma quase verdade. Ver é sempre com os olhos. Mas pode meter-se qualquer coisa de permeio para ver melhor, para ver mais. Um microscópio é isso. Mas, mais importante do que ver melhor, é ver mais. A ampliação (ver maior) é muito menos decisiva do que o poder de resolução (ver mais). É sempre possível ampliar uma imagem ou uma fotografia, mas com isso não se consegue ver mais.

Por muitas voltas que se dê, os nossos olhos só são sensíveis à luz. E, claro, só à luz visível. Mas isso não é especialmente limitativo. A coisa a ver pode, se for convenientemente estimulada, responder de uma forma cripto-visível, o que quer dizer que a resposta pode ser convertida em sinais que os olhos veem.

Nos microscópios vulgares ou clássicos — os microscópios ópticos — o estímulo é luz visível e a resposta é luz visível, transmitida ou reflectida. Ora esta luz tem um grande comprimento de onda — é uma má sonda, não separa dois pontos próximos, não revela os pormenores, dá uma imagem difusa, pouco nítida. Em suma, o poder de resolução é baixo ( $\sim 2000 \text{ \AA}^\circ$ ). A imagem pode facilmente ser ampliada, com lentes, mas isso em nada ajuda a aumentar a resolução.

O grande salto em frente foi dado com o microscópio electrónico de transmissão, inventado por Ernst Ruska nos anos 30, feito que lhe valeu o Prémio Nobel da Física de 1986. A resolução aumenta espectacularmente porque o estímulo são electrões de alta energia, que têm, por isso, baixo comprimento de onda. Por exemplo, para electrões acelerados por 100 kV, que é uma diferença de potencial frequentemente usada nos actuais microscópios electrónicos, o comprimento de onda é da ordem de  $0,05 \text{ \AA}^\circ$ , o que permite uma resolução de  $10 \text{ \AA}^\circ$  (1).

Há outro factor decisivo, para além do

comprimento de onda. É necessário que haja lentes para «manipular» o feixe incidente (estímulo) e o feixe que «sai» do objecto e vai dar a imagem (resposta). Sem lentes, não há microscópio. Por isso, não há microscópio de raios X, apesar do seu baixo comprimento de onda. As lentes do microscópio electrónico são lentes magnéticas, e há uma óptica geométrica dos electrões tal como há uma para a luz. As lentes magnéticas permitem ampliar a imagem até valores da ordem de 200 000 vezes, o suficiente para tirar todo o proveito da excelente resolução obténivel com a «luz» de electrões.

O microscópio electrónico inventado por Ruska, na Universidade Técnica de Berlim, e pela primeira vez «industrializado» pelas empresas Siemens e Halske em 1938, é o microscópio electrónico de *transmissão*. Os electrões atravessam o objecto, passam por lentes magnéticas e dão uma imagem num écran ou numa película fotográfica. (Muito parecido com o microscópio óptico de transmissão). O facto de os electrões passarem através do objecto significa que na imagem vão figurar «coisas» que estão no interior do objecto. O que é uma vantagem enorme. Mas não há bela sem senão. Para que os electrões consigam atravessar o objecto é preciso que este seja muito fino — o que traz dificuldades na preparação das amostras. Aumentando a energia dos electrões, aumenta-se a resolução e pode aumentar-se a espessura das amostras a observar. Há actualmente microscópios electrónicos de ultra-alta-voltagem (p. ex. 1000 kV), com os quais é possível ver os átomos um a um, mas que arrastam dificuldades e problemas complexos que os tornam, talvez, menos úteis do que os de 100-200 kV, os quais são, de resto, muito mais baratos ( $\sim 20$  a  $30$  mil contos, em Portugal).

(1) Na verdade, o poder de resolução também depende, para além do comprimento de onda, das características das lentes utilizadas.

Ver para perceber. Uma boa teoria da interacção dos electrões com a matéria é fundamental para que se possa interpretar as imagens obtidas com o microscópio electrónico. Essa teoria, aliás teorias (uma designada por cinemática e outra, mais apurada, que é a teoria dinâmica), foram desenvolvidas nos anos 50 e aperfeiçoadas e alargadas de então para cá.

O microscópio electrónico de transmissão tem sido, sem sombra de dúvida, a técnica experimental que mais tem contribuído para o nosso conhecimento sobre a estrutura fina dos sólidos (defeitos cristalinos, precipitados e inclusões, interfaces, etc.) e das «coisas» biológicas (células, bactérias, vírus, etc.). Bate todas as outras microscopias, incluindo as outras microscopias electrónicas, designadamente a microscopia electrónica de varrimento (que é, geralmente, uma microscopia de reflexão, e não de transmissão). Não obstante, no nosso país a microscopia electrónica de transmissão tem sido quase exclusivamente usada por investigadores das Ciências da Vida, incluindo a Medicina, e muito pouco pelos Físicos e investigadores de outras ciências.

Metade do Prémio Nobel da Física de 1986 consagrou o inventor do microscópio electrónico de transmissão, Ernst Ruska. Pode parecer estranho que só agora, após 40 anos de formidáveis serviços à Ciência, tenha sido feita justiça. Ao que parece, existia uma certa polémica sobre os direitos de Ruska e de outros no que respeita à paternidade do microscópio, que só agora terá sido esclarecida.

#### BIBLIOGRAFIA

Principais artigos de E. Ruska relacionados com a invenção e primeiros aperfeiçoamentos do microscópio electrónico (na altura também designado por supermicroscópio). Os artigos foram escritos em alemão; indicam-se as traduções dos títulos respectivos.

- A formação de imagens de superfícies bombardeadas por electrões no microscópio electrónico. *Zeitschr. f. Phys.*, B-83 (1933).
- Construção e potencialidades do microscópio electrónico, *Zeitschr. f. Phys.*, B-87 (1934).
- Objectivas magnéticas para o microscópio electrónico, *Zeitschr. f. Phys.*, B-89 (1934).
- Modos de utilização do supermicroscópio. *Die Naturwissensch.* H-18(1939).

## II ESCOLA IBÉRICA DE FÍSICA DA MATÉRIA CONDENSADA

Figueira da Foz, 14-25 Setembro 1987

Dedicada a fenómenos cooperativos, a Escola consiste nos seguintes cursos:

- Caracterização Experimental e teorias simples (M. Tello—U. Bilbao);
- Teoria de Landau (S. Salinas—U. S. Paulo);
- Grupo de Renormalização (E. Brézin—Saclay);
- Métodos de simulação (K. Binder—U. Mainz);
- Sistemas electrónicos desordenados (J. L. Santos—U. Porto);
- Dinâmica crítica (R. B. Stinchcombe—U. Oxford);
- Sistemas longe do equilíbrio (J. Marro—U. Barcelona);
- Sistemas de baixa dimensionalidade (P. Tarazona—U. A. Madrid).

Além destes cursos, haverá um conjunto de seminários, sobre temas de investigação, a cargo de especialistas conhecidos; prevê-se, também, a apresentação de resultados de investigação por alguns dos participantes. Por outro lado, funcionarão, em alternativa, duas «workshops»: uma, a cargo de D. W. Heermann (U. Mainz), conta com cinco microprocessadores onde se desenvolverão aplicações do curso sobre Métodos de simulação; a outra, a cargo de J. Bessa e Sousa (U. Porto), será dedicada à apresentação e discussão de métodos experimentais relevantes no estudo de fenómenos cooperativos em matéria condensada.

Os boletins de inscrição, contidos na 2.<sup>a</sup> circular, poderão ser procurados nas Delegações Regionais, nos departamentos de Física das universidades portuguesas ou solicitados ao Secretariado Nacional, na sede da S.P.F.. *A data-limite, para recepção de candidaturas é 8 de Junho.*

# Divulgação da Física Moderna — Uma Bibliografia em Português

## I — Física Relativista, Física Quântica, Física Nuclear e das Partículas (\*)

CARLOS FIOLHAIS

Departamento de Física da Universidade de Coimbra

Muitas têm sido, nos últimos tempos, as edições portuguesas de livros de divulgação científica, versando em particular domínios da física moderna. Os leitores com apetência para este género de literatura têm-se defrontado, perante tamanha fartura, com o embaraço da escolha. Os leitores até agora sem essa apetência talvez não saibam por onde começar.

Neste ensaio de bibliografia de livros de divulgação de física moderna, pretende-se, além de deixar uma bibliografia o mais exaustiva possível das edições dos últimos anos, fornecer uma apreciação crítica de cada uma das obras recenseadas, de modo a facilitar a aproximação de novos leitores, em especial alunos e professores de física, tanto do ensino secundário como superior.

É bem possível que a recente tendência científica da edição nacional seja apenas uma «moda», importada da edição estrangeira. No entanto, para a comunidade científica nacional, é bastante gratificante constatar que os jovens portugueses têm presentemente ao seu dispor boa literatura de divulgação, em português.

A fim de delimitar o objecto da bibliografia, escolheram-se os seguintes domínios da física moderna:

- 1 — física relativista;
- 2 — física quântica;
- 3 — física nuclear e das partículas;
- 4 — astrofísica e cosmologia;
- 5 — física dos fenómenos irreversíveis.

Se o primeiro tema é objecto tradicional da literatura de divulgação científica, os temas 2, 3 e 4 têm conhecido nos últimos anos uma expansão notável. Quanto ao último, presumimos que no futuro venha a ter uma relevância

maior, uma vez que a física de sistemas complexos (caos, fractais, catástrofes, aplicações à ecologia e à biologia) está a despertar uma atenção crescente na comunidade dos físicos.

A repartição das obras pelos temas enunciados é, em alguns casos, artificial. Hoje em dia, torna-se difícil estabelecer uma fronteira nítida entre, por exemplo, a física das partículas e a cosmologia.

Apenas se incluem obras editadas ou reeditadas entre 1976 e 1986. Por uma questão de facilitar a consulta a eventuais interessados, deixamos de início, sem quaisquer comentários, uma pequena lista seleccionada de obras publicadas antes de 1976, mas que consideramos relevantes dentro dos domínios escolhidos.

Propomos ainda, e esperamos estar a ser lidos por algum editor corajoso, uma lista de alguns livros relativamente recentes de divulgação da física, que ainda não encontraram edição entre nós e que, no nosso entender, o merecem. Acompanhamos esta lista de comentários resumidíssimos. No entanto, deve-se notar que o futuro da divulgação científica em Portugal não passa apenas por novas traduções, mas também e principalmente pela publicação de originais de autores portugueses.

Finalmente, pedimos desculpa por todas as faltas e incorrecções, que um trabalho desta índole necessariamente comporta. São bem-vindos quaisquer reparos.

---

(\*) Num próximo número da Gazeta de Física será apresentada a parte II, correspondente à bibliografia existente em português sobre Astrofísica/Cosmologia e Física dos Fenómenos Irreversíveis, terminando com uma selecção de livros estrangeiros de divulgação da Física Moderna ainda não editados em Portugal.

## 0. Selecção de livros de divulgação da Física editados em português antes de 1976 (1)

AMALDI, G. — *Matéria e Antimatéria*, Arcádia (1964).

COLEMAN, J. A. — *Relatividade para todos*, Ulisseia (s.d.).

EINSTEIN, A. e INFELD, L. — *A evolução da Física. De Newton à teoria dos Quanta*, Livros do Brasil (s.d.).

FRISCH, O. — *A Natureza da Matéria*, Verbo (1973).

GAMOW, G. — *O Snr. Tompkins explora o átomo*, Livraria Escolar Editora (1973), tradução de Rómulo de Carvalho.

GOURAN, R. — *Elementos de Física Nuclear (Partículas e Aceleradores)*, Inova (s.d.).

HEISENBERG, W. — *A Imagem da Natureza na Física Moderna*, Verbo (1975); merecia ser reeditada esta tradução portuguesa do original germânico *Der Teil und das Ganze*, em português *A Parte e o Todo*.

KILMISTER, C. — *A Natureza do Universo*, Verbo (1974).

MENDELSSOHN, K. — *Em demanda do Zero Absoluto (O significado da Física das Baixas Temperaturas)*, Inova (1971), tradução de J. Bessa Sousa.

SMILGA, V. — *A Relatividade e o Homem*, Presença (1966).

## 1. Livros sobre Física Relativista (1976-86)

COUDERC, P. e PERRIN, F. — *A Relatividade*, Edições 70, Lisboa (1984), tradução de Manuel Duarte; original francês *La Relativité*, P.U.F., Paris.

Reedição de um livro publicado em edição de bolso pela Arcádia em 1967 e que é a tradução de um original francês da famosa colecção «Que Sais-Je?» das PUF. A actualização científica foi efectuada por F. Perrin (não confundir com J. Perrin, Prémio Nobel da Física de 1926) e a revisão científica da tradução portuguesa é de A. A. Costa, do I.S.T., um dos poucos astrofísicos portugueses. Livro de introdução às ideias da relatividade (a relatividade geral limita-se ao Cap. V). Havia livros melhores sobre relatividade para lançar agora, em vez de se reeditar uma obra de certo modo datada.

PETIT, J. P. — *Einstein e a Teoria da Relatividade*, D. Quixote, Lisboa (1982), tradução de I. St. Aubin, revisão técnica de A. St. Aubin; original francês *Les Aventures d'Anselme Lanturlu-Tout est relatif*, E. Belin 1980; 69 pp.

A série de banda desenhada, na qual este livro se integra («As aventuras de Anselmo Curioso») mostra como a banda desenhada pode ser educativa e servir mesmo de suporte pedagógico para o ensino da física. Humor e pedagogia são afinal bem compatíveis, pelo menos para este astrofísico francês. No entanto, desiludam-se aqueles que, aliciados pelos «bonecos», julgam que a compreensão das ideias expostas é sempre fácil. A revisão científica foi efectuada por A. St. Aubin, professor de matemática no I.S.A., Lisboa, o mesmo acontecendo nos volumes seguintes.

PETIT, J. P. — *Einstein e o Buraco Negro*, D. Quixote, Lisboa (1982), tradução de I. St. Aubin; original francês *Les Aventures d'Anselme Lanturlu-Le Trout Noir*, E. Berlin, 1980; 69 pp.

Último volume publicado entre nós da série do Anselmo, concebida para ensinar ciência a leitores sem grande formação científica. O personagem Anselmo embrenha-se aqui nas singularidades que surgem na relatividade geral, servindo-se de algumas noções geométricas relevantes, como a de curvatura do espaço.

PETIT, J. P. — *Os Mistérios da Geometria*, D. Quixote, Lisboa (1982), tradução de L. Pignatelli; original francês *Les Aventures d'Anselme Lanturlu-Le Geométricon*, E. Belin, 1980; 69 pp.

O título pode induzir em erro, pois mais do que fazer uma introdução à geometria convencional, o autor fala do conteúdo físico das geometrias, nomeadamente das geometrias não euclidianas, de grande importância para a teoria da relatividade geral. Essa conexão é revelada pelo último «cartoon», onde aparece Einstein.

RUSSEL, B. — *ABC da Relatividade*, Europa-América, Mem Martins (1982), tradução de A. P. Fernandes; original inglês *ABC of Relativity*, Allen & Unwin; 189 pp.

Um volume de bolso do grande matemático e filósofo inglês. É um livro cujo principal atractivo

(1) Colocados por ordem alfabética dos autores.

é talvez o nome do autor, não se percebendo muito bem porque é que foi reeditado agora (a primeira edição portuguesa tinha saído em 1979). B. Russell tem livros melhores, que aguardam publicação entre nós. De resto esta obra é antiquada, tendo o original sido escrito em 1925 (as teorias da relatividade restrita e geral datam respectivamente de 1905 e de 1916). O último capítulo, intitulado «Consequências filosóficas», termina com a seguinte afirmação bem russelliana: «A conclusão final é que sabemos extremamente pouco, embora seja surpreendente que conheçamos tanto, e ainda mais surpreendente que tão pouco conhecimento nos consiga proporcionar tamanho poder».

SCHWARTZ, J. e MCGUINNESS, M. — *Einstein para principiantes*, D. Quixote, Lisboa (s.d.), original inglês *Einstein for beginners*, Writers and Readers Publ. Coop.; 173 pp.

Uma banda desenhada deveras cativante, que procura colocar a biografia de Einstein no contexto social, político e científico da época, e, ao mesmo tempo, comunicar alguns rudimentos da teoria da relatividade restrita. Recomenda-se, pese embora a demagogia patente aqui e ali, nomeadamente no final do livro, que termina com uma alusão à bomba atómica.

SILVESTRINI, V. — *Introdução à Teoria da Relatividade*, Notícias, Lisboa (1983), tradução de José d'Encarnação; original italiano *Guida alla teoria della Relatività*, Riuniti; 138 pp.

Pequeno livro, sem nada de especial a recomendá-lo. As editoras têm razões que a razão desconhece...

TAYLOR, J. — *Buracos Negros: o Fim do Universo*, Europa-América, Mem Martins (1983), tradução de C. Oliveira; original inglês *Black Holes, the End of the Universe*, 1973.

Sob um título demasiado sensacionalista esconde-se a prosa de um conhecido astrofísico do Kings College, de Londres. Os buracos negros prestam-se às mais variadas especulações, que são debatidas neste livro. Estranha-se só que um livro sobre astrofísica surja perdido no meio de uma colecção de astrologia e «ciências» congéneres («Portas para o desconhecido»).

## 2. Livros sobre Física Quântica (1976-86)

BUNGE, M. — *Filosofia da Física*, Edições 70, Lisboa (1984), tradução de R. Pacheco, com

revisão de A. Morão; original publicado na Holanda, *Philosophy of Physics*, Reidel; 261 pp.

Mario Bunge, pensador de origem italiana, é um dos filósofos da física actualmente de maior reputação. Este livro é uma obra densa, de leitura nem sempre fácil, nem para físicos, nem para filósofos, muito menos para o público comum. Para além do problema polémico da interpretação da mecânica quântica («A mecânica quântica, provavelmente a mais poderosa de todas as teorias científicas, é também aquela que tem a mais fraca filosofia», p. 97), o livro aborda várias questões epistemológicas relacionadas com a física contemporânea. Tradução por vezes deficiente, no que diz respeito à terminologia técnica.

GRIBBIN, J. — *À procura do gato de Schrodinger. A Física Quântica e a sua influência no mundo actual*, Presença, Lisboa (1986), tradução de M. B. Santos; original inglês *In Search of Schrodinger's Cat*, 1984; 196 pp.

J. Gribbin, astrofísico formado em Cambridge, tem escrito para o «New Scientist», prestigiada revista britânica de informação científica, e é um dos divulgadores de ciência mais lidos na Grã-Bretanha. No entanto este «Gato», apesar de um início promissor, perde-se depois, nomeadamente quando o autor, no Cap. XI, sacrificando uma desejável independência científica, se afirma partidário da teoria dos universos paralelos, sem fornecer para tal afiliação uma explicação convincente. Além disso, não se pode dizer que o livro esteja isento de incorrecções científicas. Algumas e bem graves lá se encontram. A bibliografia comentada, no final, é no entanto bastante útil para quem queira saber mais. A tradução necessitava de ter sido revista por alguém competente.

ORTOLI, S. e PHARABOD, J. P. — *Introdução à Física Quântica*, D. Quixote, Lisboa (1986), tradução de M. Ruas; original francês *Le Cantique des Quantiques*, La Découverte, Paris, 1984; 140 pp.

O primeiro autor é um físico-jornalista da «Science et Vie», não sendo portanto de admirar que, à maneira desta revista de divulgação científica, este livro apresente ilustrações bastante sugestivas. Quanto ao texto, ele trata alguns problemas relacionados com a interpretação da mecânica quântica, nomeadamente os desenvolvimentos recentes ligados às experiências de A. Aspect, que revelaram uma violação das desigualdades de Bell. Não se abordam pois os aspectos «ortodoxos» e bem estabelecidos

da aplicação da mecânica quântica ao mundo físico, mas antes se discutem algumas questões de índole mais ou menos filosófica, ou até religiosa ou ocultista (cf. o Cap. 9, «Orientalismo e Parapsicologia»). A tradução do título afigura-se particularmente infeliz pois o livro não constitui uma introdução à física quântica. O título original, bem poético e de inspiração bíblica, dá uma ideia mais apropriada do conteúdo: «O cântico dos quânticos».

PAGELS, H. — *O Código Cósmico. A Física Quântica como Linguagem da Natureza*, Gradiva, Lisboa (1986), tradução de J. Buescu revista por A. M. Baptista; original norte-americano *The Cosmic Code*, Simon & Schuster, 1982; 416 pp.; (existe uma edição da Penguin).

Excelente livro, não só sobre a física quântica mas sobre (quase) toda a física deste século. Aborda no início a relatividade e, no meio do livro, a física das altas energias, terminando com uma digressão sobre a metodologia das ciências físicas. O seu autor, professor na Universidade de Rockefeller, em Nova Iorque, é um conhecido especialista em física das altas energias, tendo publicado alguns importantes artigos de «revisão» sobre a cromodinâmica quântica (a moderna teoria das interacções fortes). A clareza do seu estilo, aliada ao rigor científico e a uma certa imaginação da escrita (patente, por exemplo, na feira das teorias quânticas, no Cap. 13 da Parte I) merecem muitos leitores. O prefácio é de António M. Baptista, que tem sido um dos divulgadores de ciência mais perseverantes no nosso país. Tradução razoável. O único senão do livro é a falta de um índice de assuntos, que facilite uma consulta rápida.

### 3. Livros sobre Física Nuclear e de Partículas (1976-86)

CHERNOGOROVA, V. — *Enigmas do Micro-mundo*, Mir, Moscovo (s.d.); original soviético de 1977.

Pequeno livro, de leitura bastante fácil, onde se conta a história da descoberta das partículas elementares, incluindo o modelo dos quarks. As ilustrações são humorísticas, servindo para captar a atenção do leitor.

DEUS, J. D. — *Ciência, Curiosidade e Maldição*, Gradiva, Lisboa (1986); 176 pp.

Colectânea de vários textos, que o autor, investigador do Centro de Física da Matéria Condensada

do INIC e actual presidente da Associação de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento, foi publicando ao longo dos anos. O livro dificilmente se pode classificar num certo assunto e optámos um tanto arbitrariamente por o incluir em «física nuclear e de partículas» pela formação do autor e ainda pelos textos sobre as forças da natureza e sobre a guerra nuclear. Esta obra prova que os cientistas portugueses também podem fazer divulgação e da melhor. O livro só peca pela demasiada heterogeneidade dos textos, que na nossa opinião deviam vir acompanhados da data e do lugar onde primeiro vieram a lume. O penúltimo texto, uma glosa à «Ceia dos cardeais», de Júlio Dantas, é brilhante, exibindo uma visão implacável de alguns personagens universitários. O último fornece um retrato crítico, embora optimista, da situação da investigação científica em Portugal. Não perder a leitura deste livro.

DUQUESNE, M. — *Matéria e Antimatéria*, Edições 70, Lisboa (1986), tradução de A. F. Marques; original francês *Matière et Antimatière*, PUF, Paris; 97 pp.

Pequeno livro, sem nada de interessante que o recomende. Mostra-se bastante desactualizado, face aos enormes progressos que nas últimas décadas têm sido realizados no domínio das partículas elementares, nomeadamente, os resultados obtidos em experiências de colisão de partículas e antipartículas em grandes aceleradores. Mas para as editoras deve ser mais rentável imprimir uma tradução de um texto qualquer do que «encomendar» um texto original e mais actualizado a um físico português.

FLIOROV, G. N. e ILHINOV, A. S. — *À procura dos superelementos*, Mir, Moscovo, (1985), tradução de K. Asryantz; original soviético, 1982; 167 pp.

É conhecida a rivalidade soviético-americana na investigação dos elementos transuranianos (o recorde está agora na posse dos alemães federais do GSI, sediado em Darmstadt, que, em 1983, detectaram o elemento 109) e na até agora infrutífera busca dos superpesados. Este livrito defende as posições soviéticas, chegando aqui e além ao exagero. Por exemplo, ficamos a saber na contracapa que a descoberta da fissão é obra de um dos autores, Fliorov, e não de O. Hahn, cientista alemão galardoado com o prémio Nobel da Química em 1944 precisamente por essa descoberta. Aliás os soviéticos, como já houve quem afirmasse, reclamam no mínimo a co-autoria de qualquer descoberta científica importante...

# Centro de Física Nuclear da Universidade de Lisboa, 1976-1985

## Contributo para a análise da sua actividade

A. BARROSO

Centro de Física Nuclear, Universidade de Lisboa

Av. Gama Pinto 2, P-1699 Lisboa, Codex

*«Deus quere, o homem sonha, a obra nasce»  
Ao Professor Bragança Gil, Mestre e Amigo.*

Herdeiro de um projecto de investigação do ex-Instituto de Alta Cultura, o Centro de Física Nuclear da Universidade de Lisboa veio a ser oficialmente criado em 24 de Fevereiro de 1976 por despacho do Secretário de Estado do Ensino Superior. Nasceu o CFNUL como consequência do despacho 17/75, de 21 de Abril do mesmo ano, no qual se indicavam novas directrizes para a reorganização da investigação científica. E nasceu, após um período de gestação marcado por longas reuniões e grandes debates, por proposta de cinco investigadores — docentes da Faculdade de Ciências — enviada ao IAC em 5 de Julho de 1975.

A história deste debate e a análise das teses em confronto está por fazer mas não é esse o nosso objectivo presente. Contudo, ao reler alguns dos documentos produzidos na época não podemos deixar de recordar, a título de curiosidade, que na proposta de formação do Centro se indicava que seria desejável que três grupos o viessem a integrar. A saber: o grupo experimental de Física Nuclear ex-projecto LF1-II, o grupo teórico de Física Nuclear e o grupo de Partículas e Campos do ex-IFM.

Por dificuldades de diálogo que tiveram essencialmente a sua origem em velhas questões que diziam respeito a quem então já não estava na ribalta do poder político, foi impossível a integração deste terceiro grupo. Como consequência o CFNUL viveu até 1979 em instalações precárias — 1 gabinete e dois laboratórios no edifício da Rua da Escola Politécnica. Finalmente, após o incêndio da Faculdade de Ciências de Lisboa, veio a ocupar as suas

actuais instalações no chamado Complexo II do INIC. Como oportunamente referiremos este facto veio a ter a maior importância no desenvolvimento do Centro.

Completo o CFNUL dez anos de vida. Dez anos na vida de uma instituição são um período curto mas pensamos que já é um intervalo de tempo suficiente para permitir um balanço. Esse é o objectivo deste trabalho. Sem grande experiência destas análises iniciámos a tarefa conscientes do risco de se ser juiz em causa própria. Contudo, contra a nossa possível e involuntária parcialidade, o leitor pode prever-se, ignorando as opiniões e analisando os dados.

Contando com um número inicial de 12 investigadores <sup>(1)</sup>, dos quais cinco doutorados, passados dez anos o CFNUL duplicou o número de investigadores. Em 1985 o Centro tem 26 investigadores dos quais onze têm o doutoramento. Este crescimento, que reputamos de modesto dadas as áreas tão diversas pelas quais se desdobra a actividade do Centro, está ilustrada na Fig. 1. Na mesma figura a linha a cheio mostra a evolução das despesas correntes, sem salários ou outras remunerações, a preços constantes de 1976 <sup>(2)</sup>. A comparação entre as duas curvas quase dispensa comentários. Após um primeiro crescimento durante dois anos o número investigadores permanece constante até ao final do primeiro quinquénio. Duas razões concorreram para este fenómeno. Por um lado a diminuição drástica das verbas

(1) Todos os números referentes a investigadores dizem respeito a Dezembro de cada ano.

(2) Neste cálculo utilizámos os índices de preços no consumidor sem habitação fornecidos pelo INE.

disponíveis para despesas de funcionamento. Por outro lado e talvez mais importante ainda, a falta de instalações. É interessante referir que o crescimento que se observa no início da

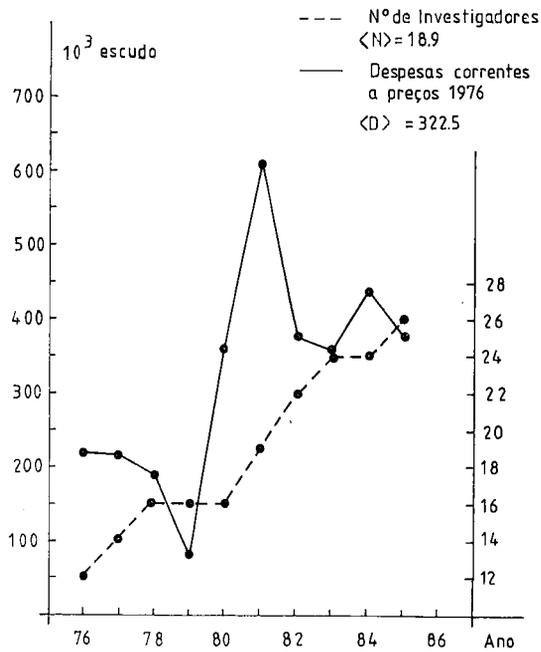


Fig. 1

década de 80 coincide com um aumento significativo das verbas e com a obtenção de melhores instalações por transferência do Centro para o complexo II. A saturação destas instalações aliada a uma nova quebra nas verbas de funcionamento, que em 1985 se situam praticamente ao nível de 1980, não deixa de ser preocupante. Para além destas variações anuais importa chamar a atenção para o facto de que o valor médio das despesas correntes,  $\langle D \rangle = 322.5 \times 10^3$  escudo, dividido pelo número médio de investigadores dá a quantia irrisória de 17.000\$00 por ano e por investigador a preços de 1976.

Examinando as despesas de capital o panorama é ainda mais negro (cf. Fig. 2). Com excepção do período 81-83, onde o aumento foi devido à comparticipação do CFNUL na compra do computador do Complexo II, o financiamento situou-se a um nível indigente. Mesmo tendo em conta as verbas do computa-

dor, o integral ao longo dos dez anos das despesas de capital dá cerca de 4000 contos. Que os dinheiros para a investigação são poucos já todos o disseram e até os governantes já sabem. Contudo, investimentos ao nível do que estamos a observar podem ser praticamente improdutos. O dinheiro é gasto lentamente e nunca chega para produzir qualquer alteração qualitativa. A um Físico é fácil compreender porquê. Tenhamos esperança que alguns dos nossos colegas candidatos a políticos descodifiquem a mensagem.

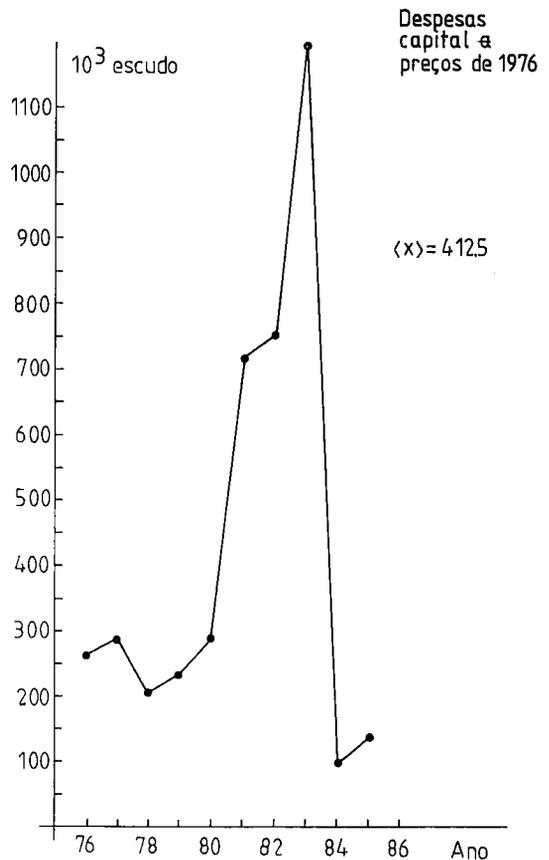


Fig. 2

Com instalações superlotadas, ausência de investimento e verbas de funcionamento reduzidas não seria surpreendente que a actividade também fosse reduzida. Contudo, vamos ver que tal não aconteceu. Uma parte importante da actividade do CFNUL pode medir-se pelo contributo dado no sentido de melhorar o

ensino universitário da Física e em particular da Física Nuclear e da Física das Partículas Elementares. Foram várias dezenas de alunos que realizaram trabalhos de laboratório e estágios com equipamento do Centro e, ao nível da pós-graduação e da formação de pessoal docente investigador, registaram-se duas agregações, cinco doutoramentos <sup>(3)</sup> e três teses de mestrado. Sabemos que, por vezes, algumas pessoas, até mesmo com responsabilidade no fomento e gestão do aparelho científico, tendem a subestimar o investimento na formação em prol de outros de efeitos mais espectaculares. Contudo, a médio e longo prazo, o primeiro pagará mais dividendos. Sendo assim é gratificante registar o contributo do CFNUL.

Um indicador clássico da actividade científica são os trabalhos publicados e deste modo é óbvio que não poderíamos deixar de focar este aspecto da actividade do Centro. O total de publicações do CFNUL <sup>(4)</sup> de 1976 a 1985 é de 132, o que dá uma média de 0.7 publicações por ano e por investigador. É claro que este número por si só pode não ter grande significado. Publicações há muitas e tudo depende da definição que, por vezes, pode ser generosa. Procurando fazer uma análise mais cuidada dividimos as publicações em três grupos que são:

- a) artigos em revistas internacionais;
- b) «Proceedings»;
- c) artigos em revistas nacionais.

No primeiro grupo incluímos apenas os artigos publicados em revistas internacionais com «referee». No segundo grupo sob a designação geral de «Proceedings» agrupámos outros escritos publicados normalmente em livros associados ou não a conferências. Em muitos casos tratam-se de editoras de prestígio mas ao separar este grupo do anterior visámos essencialmente evitar uma possível contagem em duplicado dos trabalhos feitos. Uma razão semelhante levou-nos a constituir o terceiro grupo. A repartição das 132 publicações pelos 3 grupos mostra-se na Fig. 3. Como facilmente se vê o grupo a) é o maior com 63% do total a que corres-

pondem 83 artigos. A distribuição destes pelas várias revistas é dada na tabela 1. Não dispomos de dados que nos permitam uma leitura objectiva desta tabela e quanto às várias leituras possíveis baseadas no conhecimento empírico vamos deixá-las ao cuidado do leitor.

## PUBLICAÇÕES

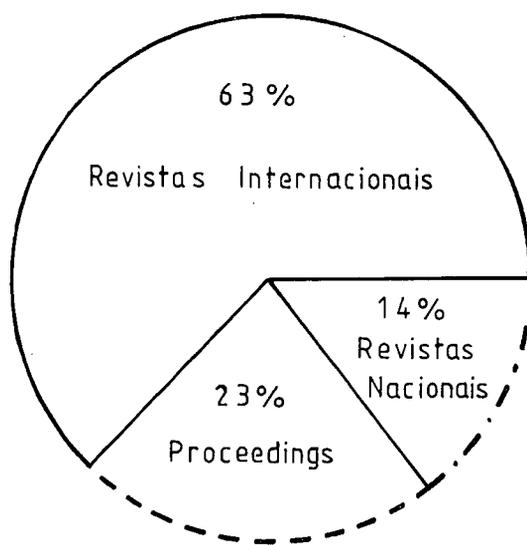


Fig. 3

Examinemos antes uma outra questão interessante. Como variou ao longo do tempo a produção científica do CFNUL? Reportando-nos apenas aos artigos do grupo a) representámos na Fig. 4 o número médio anual destas publicações tomando 1976 como o valor 1. Por outras palavras, em cada ano tomámos o total de artigos publicados até esse ano inclusivé e dividimos pelo número de anos decorridos desde 1976. O gráfico obtido mostra claramente uma subida constante da produção científica de tal modo que, no final da década se atingem valores cerca de 3 vezes superiores

<sup>(3)</sup> O número total de doutoramento foi 7 mas dois realizaram-se no estrangeiro.

<sup>(4)</sup> O CFNUL fez uma compilação destes trabalhos em dois volumes.

aos de 1976. Como ao longo dos dez anos o número de investigadores também aumentou, tem sentido saber se o aumento da actividade

TABELA 1

Nome da Revista	Número de Publicações
Physical Review	22
Nuclear Physics	16
Physics Letters	10
Journal of Physics	9
Nuclear Inst. and Methods	8
Z. für Physik	6
Hyperfine Interactions	5
Phys. Rev. Lett.	2
Ann. of Physics	1
Archaeometry	1
App. Phys. Lett.	1
Int. J. Theor. Phys.	1
Prog. Theor. Phys.	1

científica foi apenas devido a este facto. Na mesma figura a curva a traço-ponto representa o número de investigadores tomando o número

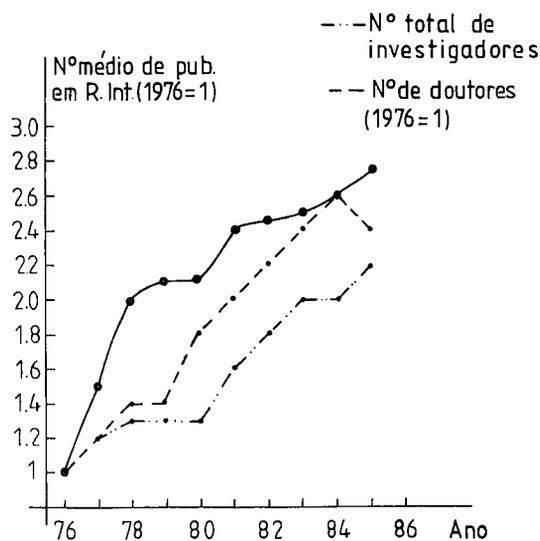


Fig. 4

correspondente a 1976 como um. De igual modo a curva a tracejado representa o número de doutores. A comparação entre as três curvas

permite concluir que existiu um inegável aumento de produtividade.

Vimos que as verbas de funcionamento foram modestas, que o investimento nunca permitiu o lançamento de qualquer projecto e observamos resultados bons e com uma produtividade crescente. Como foi isto possível? Por não acreditarmos em milagres procurámos uma explicação que aqui deixamos à consideração do leitor. Em nossa opinião duas razões explicam o fenómeno. Por um lado o CFNUL teve a sorte de beneficiar de investimentos anteriores, quer dos que foram feitos no âmbito do projecto do IAC que o antecedeu quer mesmo de outros investimentos feitos por outras instituições. As próprias instalações constituem um desses investimentos indirectos e um outro exemplo, que pela sua importância queremos referir, é a utilização do acelerador do Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial. A segunda razão prende-se com a utilização vantajosa de intercâmbio científico com o exterior. Limitados financeiramente, quando não mesmo fisicamente, os membros de CFNUL lançaram mão de todo o tipo de cooperação internacional e permaneceram por períodos mais ou menos longos em vários laboratórios estrangeiros. Dois números suportam a nossa tese. Mais de 50 % dos trabalhos experimentais utilizaram o acelerador do LNETI, e do total das publicações do grupo a) 64 % têm como co-autores físicos estrangeiros. Este facto em si mesmo não é negativo. Antes pelo contrário, pensamos que deve ser encorajada a participação portuguesa em projectos de investigação internacionais. O que é preocupante é que esta participação se tenha feito sem investimento português. Em grande medida isto significa que não foram criadas infraestruturas nacionais e que a transferência de tecnologia foi nula.

Para levar mais longe o nosso estudo seria necessário o recurso a bases de dados que permitissem medir o impacto na ciência internacional dos trabalhos realizados. Deixaremos essa tarefa a outros com maiores meios financeiros e talvez até com maiores obrigações. Contudo não gostaríamos de terminar este

exercício sem uma referência às áreas científicas pelas quais se reparte o trabalho do CFNUL. Na parte experimental continua-se a explorar o velho Van de Graaff de Sacavém em trabalhos que vão da Arqueometria à Física Atómica e à Ciência dos Materiais e usam-se outros aceleradores, nomeadamente Orsay e Bonn, em estudos de isótopos nucleares exóticos e interacções hiperfinas. Por outro lado participa-se, em colaboração com outros investigadores do Centro de Física da Matéria Condensada e do LNETI, em dois projectos experimentais no CERN. Quanto à Física Teórica a actividade vai desde o Estudo de Sistemas de Poucas Partículas à Teoria das Reacções Nucleares, das Interacções Fracas à Supersimetria, da Teoria da Relatividade à

Astrofísica. Se a este programa ambicioso juntarmos o entusiasmo, especialmente dos que agora começam, teremos razões suficientes para sermos optimistas quanto ao futuro. Apesar disso existem fortes motivos para preocupação pois não é possível continuar por mais tempo dependente dos investimentos em infraestruturas feitas na década de sessenta. Aqui é indiscutivelmente necessário um esforço financeiro. É preciso equipar oficinas, dispor de meios de cálculo adequados, obter técnicos qualificados e antes do mais arranjar espaço. Nas condições actuais nós estamos — e a gravidade é tal que o «nós» é bem mais vasto do que o CFNUL — na eminência de ver fracassar vários projectos por simples falta de instalações. Têm a palavra os nossos gestores científicos!

## **MESTRADO EM FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO E CIÊNCIA DOS MATERIAIS**

Laboratório de Física  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

*Início* — 4 de Janeiro de 1988

*Pré-inscrição* — até 31 de Julho de 1987

*Prazo de entrega de candidaturas* — 15 de Novembro a 15 de Dezembro de 1987

**Informações:** Laboratório da Física  
Faculdade de Ciências  
Praça Gomes Teixeira  
4000 Porto — Telef.: 310290, 317751, 317717

**Todo o equipamento :**

**nucleon**

EQUIPAMENTOS DE PRECISÃO LDA

DIDÁCTICO • TÉCNICO • CIENTIFICO • DESENHO  
PAPELARIA TÉCNICA • TOPOGRAFIA E GEODESIA

Para: ESCOLAS • UNIVERSIDADES • INVESTIGAÇÃO • INDÚSTRIA

Av. Columbano Bordalo Pinheiro, 57-A — Telef. 724748/722039 — 1000 LISBOA  
Telex MUNTER 16691 COIMBRA E PORTO — Av. Sá da Bandeira, 62, Telef. 33778, 3000 COIMBRA

## EUROPEAN ACADEMIC AND RESEARCH NETWORK (EARN)

O computador da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa constitui, desde Julho de 1986 um nodo da Rede EARN, que integra Universidades e Institutos de Investigação da Europa e está ligada a redes similares dos Estados Unidos (Bitnet), Canadá (Northnet), Médio Oriente (Gulfnet), Sudoeste da Ásia e Japão. Esta rede permite comunicações interactivas e ainda a troca de mensagens e ficheiros de forma rápida e económica entre os utilizadores de Rede.

Neste momento estão em fase terminal de ligação a Universidade do Minho e o Complexo II do INIC (Lisboa), estando outras instituições em vias de efectuar ligações.

### LIVRARIA ESCOLAR EDITORA

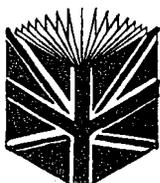


A Livraria Técnico-Científica do País  
Serviço rápido de assinaturas  
de revistas científicas

LIVRARIA — Rua da Escola Politécnica, 80-A  
Telefs. 664040 - 672561  
Telex 18570 ESCOLI P - PORTUGAL  
1200 LISBOA

Filial no Porto — Rua da Boa Hora, 43 4000 PORTO  
Telex 27247 ESCOP - P

### LIVRARIA BRITÁNICA



THE ENGLISH BOOKSHOP

Para todos os seus livros  
de inglês

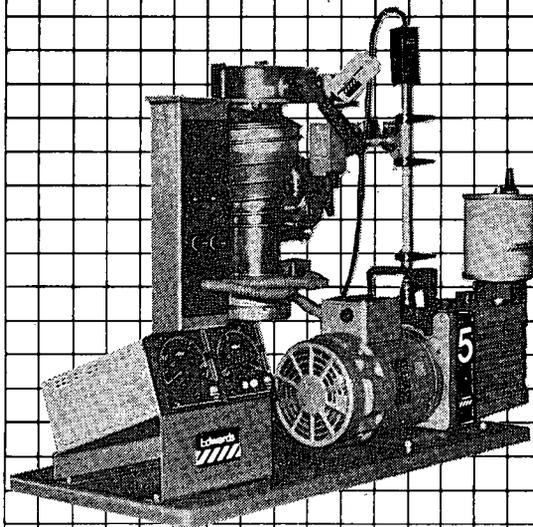
Rua S. Marçal, 168-A Telef. 328472 1200 LISBOA

Filial no Porto:

Rua da Boa-Hora, 43 Telef. 382786 4000 PORTO

# Edwards

## VACUUM



### EQUIPAMENTOS DE VACUO

MENDES DE ALMEIDA, LDA.

Avenida 24 de Julho, 52 — A/G L12.  
Tel. 601219 — TELEX — 13559 ALMEDA

### Quotas da SPF

*Prezado sócio: se ainda não pagou as suas quotas para o ano de 1987, agradecemos que o faça o mais rapidamente possível junto da respectiva Delegação.*

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

*Quotas: não estudantes ... 1200 Escudos  
estudantes ..... 600 Escudos*

## 1. Eleição dos Órgãos Nacionais da SPF (1987-90)

Em 26 de Fevereiro de 1987, reuniu a Assembleia Geral da SPF para a apreciação do relatório referente ao triénio 1984-87, e a eleição dos novos órgãos da SPF, tendo sido aprovada a lista única apresentada:

### *Mesa da Assembleia Geral*

Presidente — *Manuel Fernandes Laranjeira*  
1.º Secretário — *Manuel Pereira Barros*  
2.º Secretário — *Maria Odete Canelas Castro*

### *Secretariado-Geral*

Secretário-Geral — *Filipe Duarte Santos*  
Sec.º ass. nacionais — *Carlos Matos Ferreira*  
Sec.º ass. internacionais — *João Bessa Sousa*  
Tesoureira — *Ana Cruz Eiró*

### *Conselho Fiscal*

Presidente — *Rui Namorado Rosa*  
Secretário — *José Ribera Salcedo*  
Relator — *Maria Helena Nazaré*

De acordo com o art.º 21 dos Estatutos da SPF, o Conselho Directivo é constituído pelo Presidente da Sociedade, pelos Presidentes das Delegações, Secretariado-Geral da Sociedade e Secretários das Delegações.

## 2. Eleição do Presidente da SPF

O novo Conselho Directivo, na sua primeira reunião, realizada na sede da Sociedade em 30 de Abril de 1987, elegeu para Presidente da Sociedade Portuguesa de Física, no triénio 1987-90, o Doutor Henrique Machado Jorge, doutorado em Física pela Universidade de Novo México, Albuquerque, USA, que desempenhou o cargo de Secretário-Geral da SPF no triénio 1978-81.

## 3. Delegação Regional de Lisboa

### 3.1. Programa da Direcção eleita

— Promover um Encontro Regional sobre o Ensino da Física.

— Continuar a organização das Olimpíadas de Física.

— Organizar cursos de Física para jovens.

— Organizar palestras e mesas-redondas na sede da SPF ou noutros locais sobre temas científicos da actualidade.

— Incrementar a colaboração na «Gazeta de Física».

— Organizar visitas de estudo a sectores de investigação e ensino.

— Organizar anualmente um «Dia de Física», destinado à divulgação da Física junto do público em geral e dos jovens em particular.

Convidam-se os sócios a dar sugestões para outras actividades que sejam do âmbito da Delegação de Lisboa.

### 3.2. Primeiro Encontro Regional sobre o Ensino de Física

Esta Delegação organizou o 1.º Encontro Regional de Lisboa sobre o Ensino da Física nos dias 10, 11 e 12 de Fevereiro de 1987.

### 3.3. Olimpíadas Regionais da Física

A Comissão Organizadora Regional das Olimpíadas prepara activamente as Olimpíadas Regionais da D.R.L. que terão lugar no próximo dia 6 de Junho, no edifício C1 da Faculdade de Ciências de Lisboa, na Cidade Universitária. Neste momento encontram-se inscritas 26 Escolas do ensino secundário.

### 3.4. Ciclo de Colóquios sobre Astrofísica

— *Dia 26 de Maio, terça-feira, às 18 horas:*  
«Estrelas de formação recente», pela Prof. Doutora Teresa Lago, da Universidade do Porto.

— *Dia 2 de Junho, terça-feira, às 18 horas:*  
«Pulsares e Supernovas», pelo Prof. Doutor António Costa, da Univers. Técnica de Lisboa.

— *Dia 9 de Junho, terça-feira, às 18 horas:*  
Conferência dirigida aos alunos do Ensino Secundário: «Supernovas», pelo Prof. Doutor Filipe Duarte Santos, da Universidade de Lisboa.

Os colóquios terão lugar na sede da Sociedade Portuguesa de Física, Av. da República, 37-4.º — 1000 Lisboa, Tel. 773251.

## 4. Delegação Regional do Porto

### 4.1. Inscrições nas Divisões Técnicas

Foi enviada uma circular a todos os sócios desta Delegação, na qual se fazia um apelo para inscrição nas Divisões Técnicas.

Caso ainda não tenha devolvido a sua ficha de sócio devidamente completada, pedimos o favor de o fazer para que essa informação conste no cartão de sócio a emitir brevemente.

### 4.2. Ciclo de palestras

Correspondendo aos pedidos que nos foram dirigidos, promoveu-se ou vão ser promovidas as seguintes palestras:

— «O Laser», pelo Prof. Doutor Manuel de Barros, nos dias 18 de Março às 17 horas e 2 de Abril às 14,30 horas, nas Escolas de Rodrigues de Freitas (Porto) e Valadares respectivamente.

— «Paradoxos da Física», pelo Dr. José Carlos Lopes, no dia 6 de Maio às 16,30 horas, na Escola Secundária Infante D. Henrique (Porto).

— «Aspectos do desenvolvimento científico», pelo Prof. Doutor Manuel Gonçalves Miranda, no dia 8 de Maio às 16,30 horas, na Escola Infante D. Henrique.

— «Formas de Energia», pelo Prof. Doutor A. Gomes de Sá, no dia 19 de Maio às 15,30 horas, na Escola Secundária de Cinfães.

— «Os Novos Materiais Supercondutores e as suas potenciais aplicações», pelo Prof. Doutor J. Ferreira da Silva, no dia 22 de Maio às 18 horas, no Laboratório de Física, Faculdade de Ciências (Porto).

— «Supernova 1987 A», pela Prof.<sup>a</sup> Doutora Teresa Lago, no dia 2 de Junho às

17,30 horas, no Laboratório de Física, Faculdade de Ciências (Porto).

— Projecção e comentários de filmes sobre temas de Física, pelo Prof. Doutor J. M. Moreira, no dia 18 de Junho às 15 horas, na Escola Secundária Francisco de Holanda (Guimarães).

### 4.3. Olimpíadas de Física

A etapa Regional da Zona Norte vai ser realizada na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto nos seguintes dias:

14 de Maio para as equipas do 9.º ano  
15 de Maio para as equipas do 11.º ano.

É de 19 o número de equipas concorrentes do 9.º ano, e 11 o número de equipas do 11.º ano, provenientes de quase todas as regiões do Norte do País.

Aproveitando a presença dos alunos concorrentes, vai ser organizada uma visita ao Laboratório de Física com demonstração de algumas experiências orientadas por docentes deste Laboratório. No final e depois da distribuição de Prémios vai ser proporcionado aos participantes um Concerto de Guitarra Clássica (dia 15 às 21,45 horas no Salão Nobre da Faculdade de Ciências) pelo Prof. José Bacelar, integrado nas Comemorações do 75.º Aniversário da Universidade do Porto e 150.º Aniversário da Academia Politécnica.

### 4.4. Medalha Comemorativa da Física 86

Está à venda a medalha comemorativa da Conferência Nacional de Física 86, pela importância de 1000\$00.

Os interessados poderão requerer o envio da medalha pelo correio. Aos sócios que já efectuaram o pagamento da medalha, ser-lhes-á brevemente remetida.

## 5. Delegação Regional de Coimbra

### 5.1. A matemática no Ensino da Física

A Delegação Regional de Coimbra promoveu, no dia 8 de Maio, no Departamento de Física da Universidade de Coimbra, uma

acção subordinada ao tema: «A matemática no Ensino da Física», a nível do ensino secundário. A acção integrou os seminários:

— *Análise de resultados em medidas experimentais*, pelo Prof. Doutor Adriano J. Pedroso de Lima.

— *Conceitos matemáticos no Ensino da Física*, pela Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria da Conceição Espadinha Ruivo.

#### 5.2. Colóquios

A Delegação vai promover a realização de uma série de colóquios, estando já programados os seguintes:

24 de Junho às 15h00

— *Materiais Supercondutores*, pela Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria José Almeida.

2 de Julho às 15h00

— *História e desenvolvimento da Geometria e suas relações com a Física*, pelo Prof. Doutor Pedro Azevedo Martins.

21 de Outubro às 15h00

— *Partículas Elementares—forças de confinamento*, pelo Prof. Doutor Eef van Beveren.

Estes colóquios realizar-se-ão na sala de conferências do Departamento de Física da Universidade de Coimbra.

#### 5.3. Cursos de actualização

Com a colaboração da Direcção Geral do Ensino Secundário (DGES) está prevista a realização dos seguintes cursos de actualização:

— Aveiro, 29 de Maio: *A estrutura da matéria, à luz da Mecânica Quântica*, para sócios das Escolas Secundárias do distrito de Aveiro.

#### 5.4. Olimpíadas de Física

Manifestaram a intenção de participar na fase regional das Olimpíadas, sete equipas do 9.º ano e dez equipas do 11.º ano das Escolas Secundárias da área abrangida por esta Delegação. As provas da etapa regional terão lugar no dia 19 de Junho.

## 6. Divisões Técnicas

### 6.1. Matéria Condensada (DFMC)

#### Síntese da actividade (1984-87)

##### Ano de 1984

Dando continuidade ao protocolo de colaboração entre a DFMC e o Grupo Especializado de Física do Estado Sólido (GEFES) da Sociedade Espanhola de Física, realizou-se em Segóvia, Espanha, de 16 a 30 de Setembro, a 1.ª Escola Ibérica de Física de Matéria Condensada, com 49 participantes, dedicada ao tema «Espectroscopia de Sólidos».

##### Ano de 1985

a) Colaborou a DFMC no II Encontro Nacional da Sociedade de Materiais, tendo-lhe cabido a responsabilidade de organização e coordenação do tema sobre «Física dos Materiais», onde foram apresentados dezoito trabalhos científicos. O coordenador da Divisão apresentou, no referido Encontro, um trabalho de síntese e perspectiva no domínio da Física da Matéria Condensada.

b) Iniciou-se nesse ano a preparação do II Simpósio Ibérico de Física da Matéria Condensada, tendo havido duas reuniões mistas (Madrid e Sevilha).

c) A Divisão submeteu a sua candidatura para a realização em Portugal da Conferência Geral da Matéria Condensada, da Sociedade Europeia de Física, em 1988 ou data imediata mais próxima.

##### Ano de 1986

a) Realizou-se em Sevilha o II Simpósio Ibérico de Física da Matéria Condensada, de 2 a 4 de Abril. Teve a participação de duas centenas de físicos de ambos os países (84 portugueses), e um total de 185 comunicações (55 portuguesas). Esteve presente o Presidente da Sociedade Europeia de Física, Prof. W. Buckel (Karlsruhe, RFA).

b) Com vista a facilitar a deslocação de físicos portugueses a Sevilha, a Divisão organizou um serviço de autocarro Porto-Lisboa-Sevilha (50 participantes).

c) Iniciaram-se neste ano os trabalhos das comissões nacionais organizadoras da II Escola Ibérica de Física da Matéria Condensada, a realizar em Portugal em 1987. Houve duas reuniões preparatórias (Sevilha e Lisboa).

d) A DFMC submeteu novamente a sua candidatura à organização da Conferência Geral da Matéria Condensada da EPS, para o ano de 1990, ou data mais próxima.

##### Ano de 1987

a) Está em curso a organização da II Escola Ibérica de Física da Matéria Condensada, a realizar de 14 a 25 de Setembro de 1987, na Figueira da Foz (ver anúncio na página 64 deste número).

b) O Coordenador da DFMC participou na reunião do *Board* da Divisão de Matéria Condensada da Sociedade Europeia de Física, em Pisa, no dia 8 de Abril.

Nessa reunião foi finalmente aprovada, por unanimidade, a candidatura da Sociedade Portuguesa de Física, através da DFMC, para a organização em Portugal da X Conferência Europeia de Matéria Condensada, na Primavera de 1990.

c) Espera-se iniciar, já em 1987, os trabalhos preparatórios desta importante conferência, com um planeamento cuidado das diferentes fases da sua organização, a analisar e aprovar pelo Conselho Directivo da Sociedade.

## 6.2. Educação (DE)

No dia 7-5-85 realizou-se na sede da SPF uma reunião que poderá considerar-se a entrada em funcionamento da Divisão Técnica de Educação. Até ao final de 1986, a Divisão organizou diversas actividades, das quais se destacam os seguintes Colóquios e Acções de reciclagem para professores do Ensino Secundário:

- *Partículas e interacções fundamentais*, em 3-3-86, na sede da SPF, pelo Doutor J. Mariano Gago.
- *Importância das forças de inércia no ensino da Física a nível secundário*, em 7-5-86, na sede da SPF, pelo Doutor J. Marat Mendes.
- *Programas de Física que temos. Problemas no Ensino da Física*, em 25-6-86, na sede da SPF, pelas Prof.<sup>as</sup> Maria Helena Pereira e Maria da Luz Ribeiro.
- *Tópicos de Mecânica Quântica para o ensino secundário*, em 2-7-86, na sede da SPF, pelo Doutor Filipe Duarte Santos.
- *A energia nuclear e alternativas energéticas*, na Escola Secundária do Feijó, pelo Doutor Eduardo Martinho.
- *Termodinâmica*, na Universidade de Évora, pelos Doutores Corte Real e Azevedo Silva.
- *Electromagnetismo*, na Universidade de Évora, pelos Doutores Luís Frazer Monteiro e Maria de Lurdes Monteiro.
- *Cinémática e dinâmica da rotação*, na Escola Secundária D. Pedro V, Lisboa, pelos Doutores Jorge Valadares e Luís Silva.
- *Cinémática e dinâmica da partícula e da translação*, na Escola Secundária Alves Martins, Viseu, pelos Doutores Jorge Valadares e Luís Silva.
- *Microcomputadores no ensino da Física*, na Escola Secundária de São Julião, Setúbal, pela Doutora Maria das Mercês Ramos.

Aos professores que orientaram estas actividades, a Divisão de Educação não pode deixar de prestar publicamente o seu reconhecimento. De igual modo se agradece o subsídio recebido da F. Calouste Gul-

benkian e a colaboração recebida dos estabelecimentos de ensino onde decorreram as acções.

## 6.3. Física Nuclear e Partículas (DFNP)

As actividades desenvolvidas pela Divisão podem sintetizar-se no seguinte:

- Organização do 1.º Encontro da Divisão, Lisboa, 6 de Março de 1987.
- Atribuição de seis subsídios no valor de 80.000\$00 cada, aos Professores: Jorge Dias Deus, Gustavo Castelo-Branco, António Sá Fonseca, José Carvalho Soares, Amélia Maia e Gaspar Barreira.
- Atribuição de duas bolsas de estudo, no valor de 52.500\$00 cada, para a participação de dois estudantes na escola «Nuclear Physics Applications in Material Science», Viana do Castelo, Setembro de 1987.
- Participação, com 50.000\$00, na aquisição de um computador para a SPF.

## Debates sobre o Ensino da Física

### «Electromagnetismo»

No dia 6 de Abril de 1987, realizou-se na sede da SPF o debate versando o tema «Electromagnetismo», organizado pela D.T. de Educação e tendo os Profs. Doutores Noémio Macias Marques da F.C. Lisboa, e Luís Frazer Monteiro da F.C.T. da U. Nova, como co-locutores convidados.

Após a apresentação sumária dos conteúdos curriculares dos 8.º, 11.º e 12.º anos quanto a temas inseridos no electromagnetismo em geral, passou-se ao debate que cedo se generalizou, indo mesmo até uma análise global do programa da disciplina de Física.

A permuta dos programas dos 8.º e 9.º anos, de modo a que a mecânica constitua a 1.ª matéria abordada pelo aluno, assim como a transferência de alguns conceitos simples (por exemplo o de massa específica) e matérias correlacionadas, dos anos finais para os primeiros, liberta-os para uma análise mais completa e interessante dos fenómenos físicos, ao mesmo tempo que favorece o contacto com algumas ideias mais facilmente apreensíveis da mecânica.

Será aconselhável que o primeiro ano de aprendizagem do electromagnetismo tenha uma forte componente observacional (experimental)

ainda que qualitativa, no intuito de familiarizar o aluno com os mais diversos fenómenos desta área, não descurando (ou mesmo realçando) os efeitos magnéticos intimamente relacionados com a corrente eléctrica. Ainda nesta fase será fundamental depurar aquilo que é fortuito daquilo que é regular, que é essencial, e que nos leva a induzir as leis gerais.

Uma palavra ainda foi acrescentada sobre as deficiências de material nas escolas, em particular as novas Escolas Secundárias, que associado ao facto da não existência de verbas próprias no grupo 4-A, coloca uma disciplina iminentemente experimental em sérias dificuldades.

Neste aspecto, a aquisição de filmes sobre experiências básicas, efectuadas com equipamento e tecnologia actuais e que por isso permitem a obtenção de bons resultados, constitui uma solução possível a esta situação.

A realização destas experiências será da responsabilidade das Universidades, que em geral possuem material de qualidade e/ou tecnologia para as conceber de molde a obterem-se bons resultados.

A produção dos (vídeo-)filmes deverá ser suportada pelo Instituto de Tecnologia Educativa, pelo vasto equipamento e pessoal técnico que comporta e é necessário a esta tarefa.

Desta colaboração, a escola/os alunos seriam os directos beneficiados/utilizadores, permitindo o desenvolvimento normal dos conceitos essencialmente experimentais, que na Física desempenham um papel importantíssimo.

Outros assuntos foram tocados, mas pelo menos os aqui focados tiveram a concordância quase generalizada dos participantes.

### **Comité Consultivo sobre Ensino da Física da Sociedade Europeia de Física (ACPE)**

A reunião deste ano teve lugar em Como, Itália, na Villa Olmo à beira do lago de Como onde está sediado o Centro de Cultura Científica Alexandre Volta. Volta era natural de Como, existindo na cidade um curioso Templo Voltiano onde se encontra um espólio apreciável dos instrumentos laboratoriais, li-

vros, manuscritos e outros documentos alusivos àquele grande físico italiano do final do séc. XVIII e princípios do XIX.

De entre os muitos pontos da agenda que foram tratados, são de salientar os seguintes:

#### **Conferências de Estudos Eurofísicos**

Trata-se de pequenos workshops (40-60 pessoas) destinados a dinamizar vários aspectos do ensino da Física. A primeira realizou-se na Áustria, na Universidade de Klagenfurt, sendo o tema «Computadores no Ensino da Física». A conferência de 1987 será o simpósio sobre «Investigação em Educação em Física e suas Implicações no Ensino», que terá lugar de 5 a 7 de Agosto em Helsínquia, como encontro satélite da Conferência Geral da Sociedade Europeia de Física que se realiza a seguir. Em 1988 haverá uma outra em Bratislava sobre «Formação de Professores de Física». Possivelmente uma terceira poderá ser realizada em Portugal eventualmente associada à 6.ª Conferência Nacional da SPF.

#### **Avaliação de software para Ensino de Física**

A UNESCO tomou a iniciativa de promover uma avaliação do software existente sobre ensino de Física através de questionários de que já existem em francês, alemão e italiano. A Gazeta de Física será um meio adequado para divulgar os questionários logo que estejam disponíveis.

#### **European Journal of Physics**

O Prof. Jàn Pisút, editor da revista, propõe uma reflexão sobre a política editorial do EJP de modo a tornar a revista mais interessante para o público a que é destinada. Em notícia separada sobre o EJP são indicadas algumas ideias de Pisút sobre o que se pretende. Entre outras novidades foi criada na revista uma secção de noticiário (News & Events) que se destina a publicar factos ou notícias de interesse no país, actuando o delegado da SPF como dinamizador e colector dessas informações (eventualmente também tradutor). Parece

poder haver alguma concorrência com a nossa Gazeta de Física, mas não creio que haja tal perigo. Antes houvesse que era sinal de uma mais activa participação.

Entre outros assuntos de interesse discutiu-se também:

#### Olimpíadas da Física

Trata-se de uma iniciativa anual que se vem realizando há anos sempre nos países da Europa de Leste, e que pela primeira vez em 1986 se realizou em Inglaterra, na escola de Harrow, Londres, de 14 a 20 de Julho. Também pela primeira vez estiveram presentes os E.U.A. e a China. Não há resultados por nações, embora se constate que a URSS e certos países de Leste tenham sempre as melhores equipas. Estas são constituídas por cinco estudantes pré-universitários, com menos de vinte anos, e dois professores responsáveis. Naturalmente o modo como são seleccionadas as equipas, bem como o treino a que são

sujeitas, varia de país para país e é determinante dos resultados obtidos. Os conteúdos teóricos e práticos da Olimpíada são conhecidos e podem dar uma ideia da adequação dos programas pré-universitários de Física entre os vários países.

Os locais de realização das próximas seis olimpíadas estão já, em princípio, definidos.

Poderia ser interessante a SPF organizar uma próxima participação de uma equipa portuguesa, devendo, pelo menos um ano antes, enviar um observador à Olimpíada.

Finalmente, como assunto de interesse para divulgar, foi solicitado pelo Secretariado do Comité que bianualmente fosse enviada uma lista dos encontros previstos no país sobre Educação em Física. Os contactos podem ser feitos através de

*Manuel F. Thomaz*

Delegado da SPF no ACPE da EPS  
Departamento de Física  
Universidade de Aveiro  
3800 AVEIRO

**KEITHLEY**

Multímetros e Termómetros Digitais—Instrumentos Científicos—Sistemas de Componentes—Sistemas de Teste Paramétricos—Medida de Radiações, etc.

**LEADER**

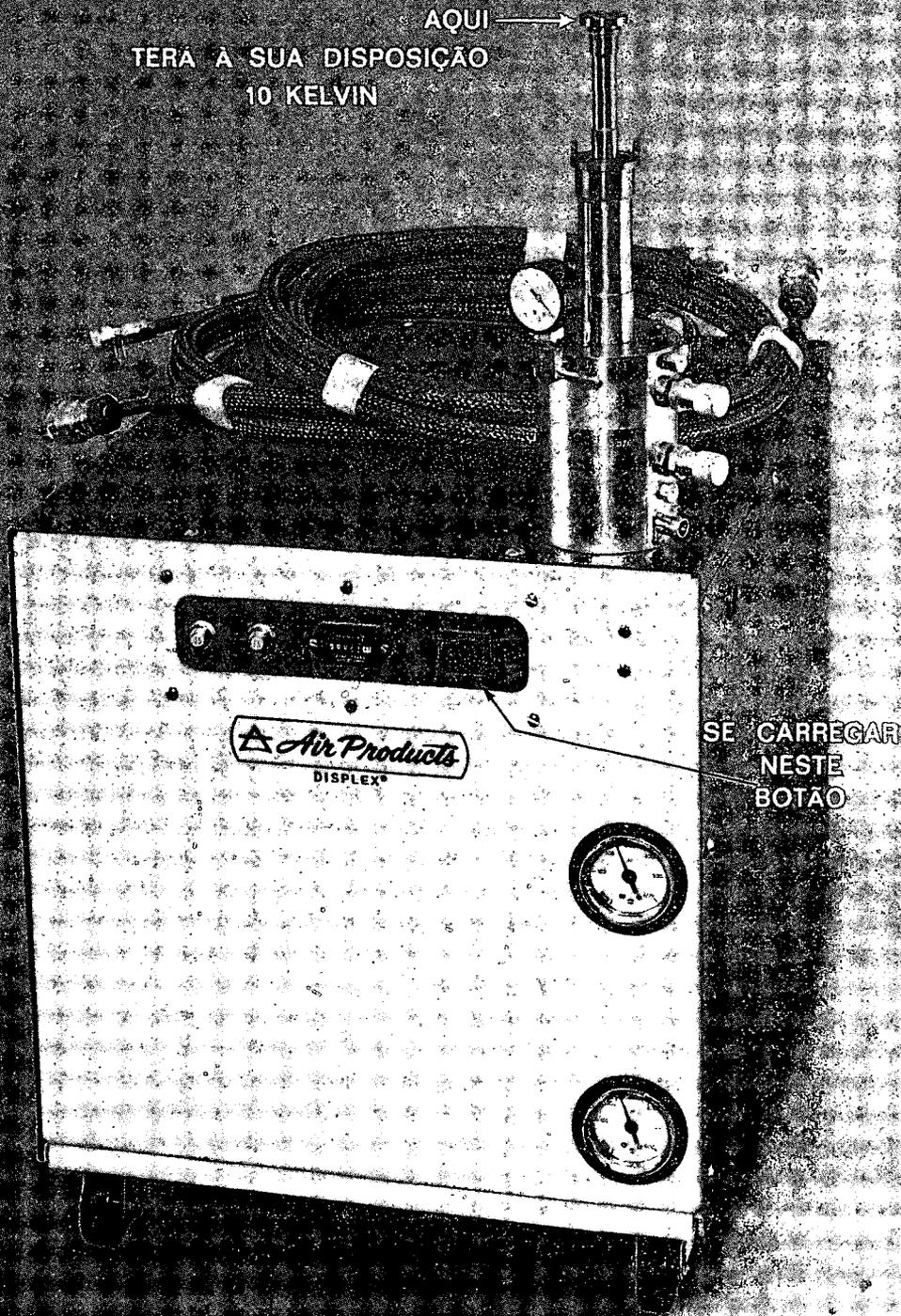
Aparelhos Electrónicos de Medida—Osciloscópios—Geradores Audio—Geradores de Funções—Milivoltímetros—Multímetros Electrónicos—Frequencímetros Digitais—Comprovador de Transistores—Fontes de Alimentação—Pontes LCR Analógicas e Digitais, etc.

REPRESENTANTES E IMPORTADORES:

**EMILIO DE AZEVEDO CAMPOS & CA., LDA.**

Rua de Bolama, 109 — Telefones 497357 e 489893 — 4200 PORTO  
Rua Ferreira da Silva, 9 — Telefone 573046 — 1900 LISBOA

AQUI →  
TERA A SUA DISPOSIÇÃO  
10 KELVIN



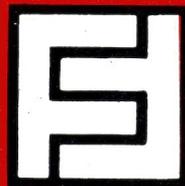
SE CARREGAR  
NESTE  
BOTÃO

PS. SÓ GASTA ELECTRICIDADE

**CAIOLAB**

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

EQUIPAMENTO CRIOGÉNICO  
E DE LABORATÓRIO, LDA.



VOL. 10 • FASC. 2 • ABRIL 1987

## SUMÁRIO

Ordem, desordem, frustração, materiais incomensuráveis e quase-cristais . . . . .	41
<i>Maria José B. M. de Almeida</i>	
Energia no Universo . . . . .	47
<i>Josip Kleczek</i>	
Conceitos físicos em Metodologias Radiológicas. II - Tomografia Axial Computorizada (TAC) ou Tomografia Computorizada de Transmissão	54
<i>João José Pedroso de Lima</i>	
Prémio Nobel da Física - 1986 . . . . .	62
Ernst Ruska e o microscópio electrónico de transmissão . . . . .	63
<i>M. A. Fortes</i>	
Divulgação da Física Moderna - Uma Bibliografia em Português. I - Física Relativista, Física Quântica, Física Nuclear e das Partículas	65
<i>Carlos Fiolhais</i>	
Centro de Física Nuclear da Universidade de Lisboa, 1976-1985. Contributo para a análise da sua actividade . . . . .	69
<i>A. Barroso</i>	
Noticiário da Sociedade Portuguesa de Física . . . . .	75