

GAZETA DE FISICA

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA



VOL. 12, FASC. 3

Publicação Trimestral

Julho a Setembro 1989



Projecto LEP, CERN - Genève
Large Electron-Positron Collider.
Gigantesco acelerador para
a produção de partículas
elementares e estudo das
suas interações (1989)

GAZETA DE FISICA

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. Monteiro 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 1500\$00; estrangeiro US\$25.

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

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

Tiragem: 2200 exemplares

Compuesto e Impresso na *Imprensa Portuguesa* • Rua Formosa, 108-116 • 4000 PORTO

Na capa: *Fig. superior* — Acelerador de partículas LEP, CERN, visto em planta. Perímetro 26,658 km, Diâmetro 8,525 km, Energia de injeção 20 GeV, Tempo de revolução 88,9245 μ s.

Fig. inferior — Túnel subterrâneo com o acelerador de partículas e magnetes de deflexão.

(by courtesy, PHOTO CERN)

O Interferómetro de Neutrões

J. M. B. LOPES DOS SANTOS

Laboratório de Física da Universidade do Porto
Praça Gomes Teixeira — 4000 PORTO

«Nenhum fenómeno elementar é um fenómeno até ser um fenómeno registado (observado)».

JOHN A. WHEELER

1. O interferómetro de neutrões

Este artigo é o segundo de uma série relativa a experiências contemporâneas que ilustram aspectos fundamentais da Mecânica Quântica [1]. O dispositivo representado na Fig. 1 tem permitido mais experiências nesta área do que qualquer outro. Várias conferências têm sido dedicadas exclusivamente a interferometria de neutrões, um campo da Física tornado possível por este dispositivo [2]. Embora o primeiro interferómetro deste tipo tenha sido construído em 1965, foi pela primeira vez utilizado com neutrões em 1974 por Rauch Treimer e Bonse (ver referências em [3c]).

Como o nome indica este interferómetro destina-se a realizar experiências de interferência com neutrões. Mas não precisamos de ondas (radiação electromagnética) para esse efeito? Como vimos no artigo anterior as ondas electromagnéticas são feixes de fótons que, do ponto de vista da Física moderna, não tem menos direito à designação de partículas que um electrão, neutrão ou protão: transportam energia e quantidade de movimento, são sempre detectados inteiros, etc. Tornar-se-á mais claro com o decorrer deste artigo que o comportamento de um feixe de «verdadeiras» partículas (neutrões) é realmente idêntico ao de fótons. Existe no entanto uma diferença (*), não fun-

damental, mas com algumas consequências práticas: o fóton tem uma massa em repouso

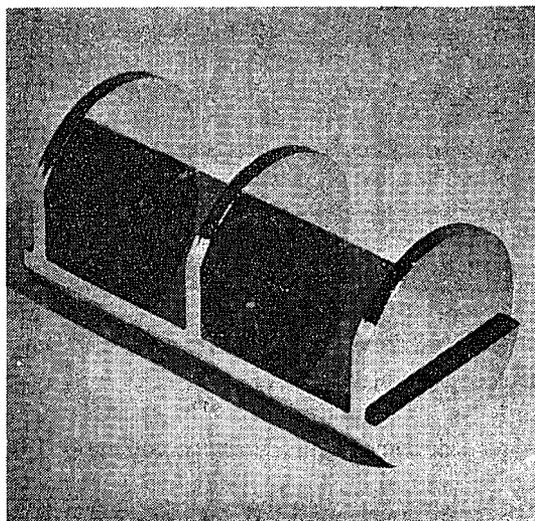


Fig. 1 — O interferómetro de neutrões é constituído por um cristal de silício, extremamente puro, com cerca de 8 cm de comprimento e 5 cm de lado. O cristal é cuidadosamente cortado de modo a ficar com três lâminas numa base comum. Os planos cristalinos das três lâminas estão perfeitamente alinhados pois pertencem ao mesmo cristal. Reproduzido da ref. [3b].

(*) Existe outra. O fóton é um bóson e o electrão, neutrão ou protão férmions. Mas esta não é relevante para a nossa discussão.

nula. Isto pode parecer problemático — em Física pré-relativista tal partícula terá energia e quantidade de movimento nulas — mas no contexto da relatividade é perfeitamente razoável (ver caixa I). Mas em consequência desta

CAIXA I

Partículas de massa nula

Em relatividade a energia e quantidades de movimento de uma partícula são dadas por:

$$E = \gamma m v^2 \quad (1a)$$

$$p = \gamma m v \quad (1b)$$

com:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \quad (c - \text{velocidade da luz}) \quad (2)$$

Destas relações tira-se:

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4 \quad (3a)$$

$$v = \frac{pc^2}{E} \quad (3b)$$

Sendo $m = 0$ obtemos $E = pc$ e $v = c$. A possibilidade de ter $E \neq 0$ e $p \neq 0$ não contradiz a eq. (1) pois $\gamma \rightarrow \infty$ quando $v \rightarrow c$. Uma partícula de massa nula desloca-se sempre à velocidade da luz (para qualquer observador).

característica existe uma enorme diferença entre os comprimentos de onda de fótons e neutrões para as energias mais correntes. Usando a relação de De Broglie, $\lambda = h/p$, podemos exprimir o comprimento de onda do neutrão em termos da sua energia cinética $E_c = E - m_n c^2$.

$$\lambda = \frac{h}{m_n c} \frac{1}{\sqrt{E_c(E_c + 2m_n c^2)}}$$

(Ver eq. (3a) da caixa I). Por razões práticas é difícil arranjar feixes de neutrões com energia cinética inferior a $K_B T$ com T da ordem da temperatura ambiente ($T \approx 300$ K). Isso dá,

$$\lambda_n \approx 2,4 \text{ \AA},$$

cerca de três ordens de grandeza inferior aos comprimentos de onda de fótons na gama do

visível (4000 ~ 7000 Å). Esta diferença torna a observação dos aspectos ondulatórios de partículas com massa muito mais difícil. Um exemplo tornará isto claro. Recorde o leitor o interferómetro de Mach-Zehnder descrito no artigo anterior [1]. Suponha que vibrações mecânicas, de origem térmica ou outra, fazem oscilar rapidamente as distâncias entre divisores de feixe e espelhos. Se, para uma dada configuração, a diferença de caminhos ópticos dos dois braços variar da ordem de $\lambda/2$, a diferença de fase varia de π . A interferência passa de construtiva a destrutiva e vice-versa. A intensidade média deixará de variar com o deslocamento dos espelhos. As interferências desaparecem. Este problema (e outros semelhantes) serão tanto mais severos quanto menor for λ .

Princípio de funcionamento

Estes problemas são resolvidos com um interferómetro de neutrões, por este ser constituído por um único cristal de silício, extremamente puro e sem defeitos. Nele foram recortadas três lâminas paralelas. O princípio de funcionamento é inteiramente idêntico ao do interferómetro Mach-Zehnder. O papel dos divisores de feixes e espelhos é desempenhado por um conjunto de planos cristalinos do silício perpendiculares às faces das lâminas. Quando um feixe de neutrões com um dado comprimento de onda λ incide numa das lâminas segundo um determinado ângulo de incidência θ_B (que depende de λ) ele sofre reflexões múltiplas nesse conjunto de planos (que actua como uma guia de ondas) e emerge do outro lado da lâmina como dois feixes, um transmitido na direcção inicial e outro reflectido segundo um ângulo igual ao de incidência, (Fig. 2). Este efeito é, por si só, resultado das propriedades ondulatórias dos neutrões. Mas para a nossa discussão importa apenas o seguinte: o ângulo de incidência no *mesmo* conjunto de planos da segunda lâmina é, novamente θ_B . O alinhamento dos planos atômicos nas três lâminas é garantido pelo facto de se tratar de um único cristal de silício.

O leitor terá já adivinhado que os dois feixes reflectidos na segunda lâmina vão sobrepor-se na terceira, onde, de novo, incidem

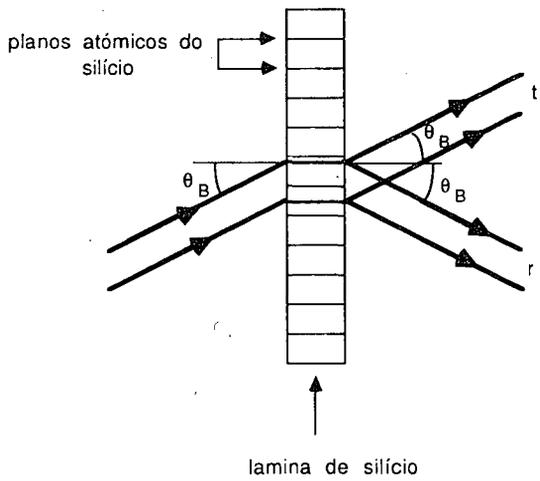


Fig. 2 — A lâmina de silício actua como um divisor de feixe para um ângulo de incidência θ_B . Para outros ângulos o feixe reflectido é quase inexistente.

com θ_B . Desta lâmina emergem portanto dois feixes cujas intensidades podemos medir com dois contadores (Fig. 3).

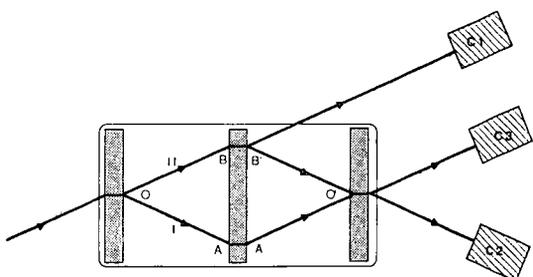


Fig. 3 — Esquema de funcionamento do interferómetro. O contador C_1 permite controlar a intensidade do feixe, as taxas de contagem C_2 e C_3 revelam a existência de interferências dos caminhos I e II.

Comparando com o interferómetro de Mach-Zehnder [1] vemos que a primeira e terceira lâminas desempenham o papel dos divisores de feixe, a segunda a dos espelhos. É importante notar que os elementos «ópticos» são planos cristalinos, não as faces das lâminas. É isso que permite manter diferenças de fase

bem determinadas quando o comprimento de onda é da ordem do angstrom.

Para observar interferências é necessário variar a diferença de fase entre dois caminhos. Neste caso é obviamente impossível alterar as posições dos «espelhos» ou divisores de feixe. Mas consegue-se este objectivo introduzindo entre duas lâminas uma placa de alumínio (ou outro material que não absorva neutrões). Uma rotação da placa faz variar as espessuras de alumínio atravessadas por cada feixe. Não é difícil mostrar que (Fig. 4)

$$\Delta t = t_{II} - t_I = 2T_0 \frac{\sin \theta_B \sin \delta}{\cos^2 \theta_B - \sin^2 \delta}$$

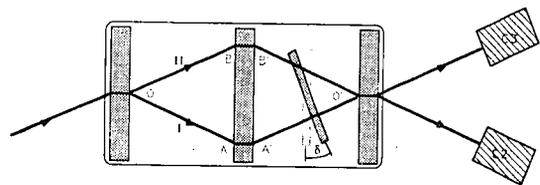


Fig. 4 — A rotação da placa de alumínio faz variar a diferença de fase dos dois caminhos porque o comprimento de onda dos neutrões no alumínio é diferente do vazio.

Na Fig. 5 reproduzem-se resultados de uma experiência deste tipo. A taxa de contagem de cada um dos contadores C_2 ou C_3 oscila sinusoidalmente com Δt .

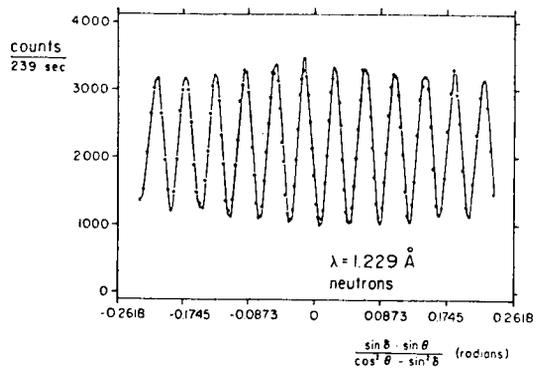


Fig. 5 — Oscilação da taxa de contagem de neutrões numa das saídas do interferómetro em função da diferença das espessuras de alumínio atravessadas por cada feixe (reproduzido de «Neutron Interferometry» Bonse e Rauch, Oxford University Press 1979).

A explicação ondulatória é muito simples. Como o comprimento de onda dos neutrões no alumínio, λ_{A1} , é diferente do vazio λ_n , (λ_n/λ_{A1} é no fundo, o índice de refracção do alumínio para neutrões) a espessura de alumínio implica uma variação de fase diferente da que ocorreria no vazio em igual distância,

$$\Delta\varphi_I = 2\pi t_I \left(\frac{1}{\lambda_{A1}} - \frac{1}{\lambda_n} \right)$$

$$\Delta\varphi_{II} = 2\pi t_{II} \left(\frac{1}{\lambda_{A1}} - \frac{1}{\lambda_n} \right)$$

portanto a diferença de fase entre os dois caminhos depende de $t_{II} - t_I$,

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_I - \Delta\varphi_{II} = \frac{2\pi}{\lambda_n} (t_I - t_{II}) \left(\frac{\lambda_n}{\lambda_{A1}} - 1 \right)$$

CAIXA II

A experiência de Collela, Overhauser e Werner

O princípio desta experiência é extremamente simples. Consideremos a Fig. 3. Suponhamos que o plano dos feixes de neutrões é horizontal. Se o interferómetro for rodeado em torno da direcção OA a secção B'O' do trajecto II passará a estar a uma altura superior à de OA. Como a energia potencial gravítica em B'O' é superior à de OA a energia cinética terá que ser menor (os neutrões são desacelerados ao «subir» OB). O comprimento de onda é determinado pela energia cinética.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2m_n E_c}}$$

À medida que o interferómetro roda o comprimento de onda $\lambda_{B'O'}$ varia e altera-se a diferença de fase dos dois caminhos. É fácil ver que a variação de λ é muito pequena

$$\lambda_{B'O'} - \lambda_{OA} \approx \frac{1}{2} \frac{h}{\sqrt{2m_n E_c^3}} \Delta E_c$$

$$\approx \lambda_{OA} \frac{1}{2} \frac{\Delta E_c}{E_c}$$

A diferença de energias $\Delta E = E_c(OA) - E_c(B'O')$ é

$$\Delta E_c = m_n' g d \sin \phi$$

em que m_n' é a massa gravítica do neutrão, g a aceleração da gravidade, d a distância entre

As intensidades em cada um dos contadores oscilam em antifase (como no interferómetro de Mach-Zehnder) com $\Delta\varphi$. É importante notar que esta oscilação nada tem a ver com eventuais interacções entre neutrões. O fluxo de neutrões nestas experiências anda à volta de 1 neutrão/segundo. O leitor pode facilmente calcular a velocidade dos neutrões usando os dados do texto ($m_n = 1,67 \times 10^{-27}$ Kg) e mostrar que é rara a existência de mais de um neutrão de cada vez no interferómetro. Como no caso dos fotões, a probabilidade de um neutrão ser detectado em C_2 (ou C_3) depende da configuração relativa dos dois caminhos. Apesar disso sabemos que o neutrão não se divide na primeira lâmina porque nesse caso

direcções de OA e B'O' e ϕ o ângulo de rotação em torno de OA. Usando $d \approx 2$ cm vem.

$$\Delta E_c \leq 3 \times 10^{-28} \text{ J} \sim 10^{-7} E_c$$

Isto é

$$\Delta\lambda \approx 10^{-7} \lambda.$$

Como é possível medir uma variação tão pequena de λ ? O importante é que a distância B'O' é por sua vez da ordem de $10^8 \lambda$; o que significa que, mesmo um $\Delta\lambda$ tão pequeno, pode dar origem a uma variação de fase equivalente a vários comprimentos de onda, isto é, várias oscilações completas (Fig. 6). É curioso notar que $\Delta\lambda \approx 10^{-17}$ m ou seja 100 vezes inferior ao raio de um prótão! Certamente a menor distância jamais medida!

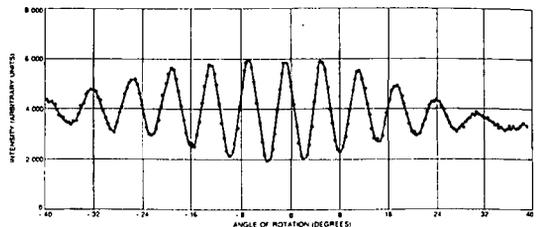


Fig. 6 — Taxa de contagem de um dos detectores em função do ângulo de rotação do interferómetro em torno do eixo OA (Fig. 3). Nesta experiência a previsão teórica da variação de fase devida à gravidade foi verificada a menos de 1% (reproduzido da ref. [3b]).

existiriam «fracções» de neutrão de todos os tamanhos e já teríamos detectado essas «partículas». Trata-se, claramente, do mesmo problema que encontramos com fotões!

2. A experiência de Summhammer

Das muitas experiências feitas com este dispositivo uma das mais belas é sem dúvida a de Collela Overhauser e Werner [4] que mediram a massa gravítica do neutrão. As massas de partículas que encontramos em tabelas são massas inerciais. Por exemplo, em espectroscopia de massa determinamos a aceleração de uma partícula carregada, sujeita a uma força conhecida. Para medir a massa gravítica de um corpo temos que o pesar, isto é, determinar a força de atracção gravítica exercida sobre ele por um corpo de massa conhecida, habitualmente a Terra. Mas a força de gravidade é tão fraca que é extremamente difícil detectar os seus efeitos numa única partícula, electrão, neutrão ou protão. Na caixa II está um resumo desta experiência espero que para deleite do leitor.

Mais interessante ainda do ponto de vista dos fundamentos da Mecânica Quântica, é a experiência realizada por Summhammer e seus colaboradores em Grenoble [5]. Estes autores arranjaram um processo de «marcar» os neutrões de modo a poder determinar na detecção qual o caminho por eles seguido no interferómetro. Basearam-se no facto de o neutrão possuir um momento magnético intrínseco que é proporcional ao spin (momento angular intrínseco). Trata-se como é óbvio de grandezas quânticas, com algumas particularidades: o módulo do momento magnético é fixo mas, como veremos, não é possível caracterizá-lo fixando os valores das três componentes μ_x , μ_y , μ_z . Mas o dispositivo usado nesta experiência fornece-nos ampla oportunidade para verificar e comentar este facto. Sem mais delongas sigamos um neutrão na sua viagem pelo interferómetro.

Viajando com um neutrão

Todo o dispositivo está mergulhado num campo magnético uniforme que define a direcção do eixo zz , $\mathbf{B} = B_0z$ (Fig. 7). Ainda antes

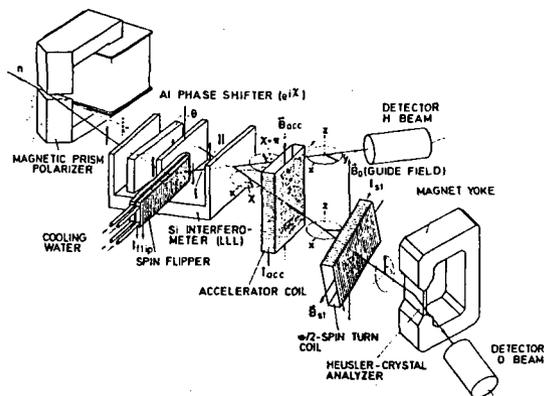


Fig. 7 — O dispositivo de Summhammer. À esquerda está o magneto que separa os neutrões de acordo com o valor de μ_z . No interferómetro está a placa de alumínio e o solenóide de inversão de μ_z . As duas bobinas, o magneto com cristal de Heusler e o detector permitem contar apenas os neutrões com um valor determinado de uma componente de μ .

do interferómetro o neutrão passa entre os pólos de um magneto no qual existia um campo também segundo z mas muito mais intenso e não uniforme. Num campo $\mathbf{B} = Bz$ a energia do neutrão tem uma contribuição devida ao seu momento magnético.

$$E = - \boldsymbol{\mu} \cdot \mathbf{B} = - \mu_z B$$

No magneto, B varia com a coordenada y . Cada neutrão sentirá uma força lateral

$$F_y = + \mu_z \frac{dB(y)}{dy}$$

Verifica-se que qualquer feixe de neutrões se divide em dois neste dispositivo com desvios simétricos relativamente à direcção inicial. Isso significa que μ_z só pode ter dois valores que designaremos por $+\mu_n$ (ou \uparrow_z) e $-\mu_n$ (ou \downarrow_z). Este mesmo resultado é válido para qualquer outra componente de μ (outra direcção de \mathbf{B}). Por exemplo, se tomarmos o feixe com μ_z para

cima (\uparrow_z) e o fizemos passar num magneto semelhante, com campo segundo yy encontramos metade dos neutrões com $\mu_y = +\mu_n$ (\uparrow_y) e metade com $\mu_y = -\mu_n$ (\downarrow_y). A recíproca também é verdadeira. Um neutrão do feixe com μ_y para cima (ou μ_y para baixo) tem agora igual probabilidade de ter $\mu_z = +\mu_n$ ou $\mu_z = -\mu_n$. As diferentes componentes de μ são um exemplo do que designamos por variáveis complementares no artigo anterior [1]. A determinação de uma delas ($\mu_z = +\mu_n$) implica uma indeterminação no valor da outra ($\mu_y = \pm\mu_n$ com igual probabilidade).

Mas voltemos à nossa viagem. Ao atingir o interferómetro o destino do neutrão vai depender do seu ângulo de incidência relativamente aos planos atômicos do silício. Se este não for θ_B ele não será reflectido e perder-se-á sem atingir os detectores C_2 ou C_3 . Isto permite, rodando o interferómetro em torno de zz , seleccionar para a experiência neutrões com um dado valor de μ_z . Entre a primeira e a segunda lâmina do interferómetro o neutrão atravessa uma placa de alumínio, aí colocada com o único propósito de poder variar a fase relativa dos dois caminhos do interferómetro. Se seguir o caminho II o neutrão chega ao detector com o mesmo valor de μ_z com que entrou no interferómetro. A interacção com o silício ou o alumínio não afectam μ_z . No caminho I é colocado um dispositivo que inverte o momento magnético. Envolve essencialmente um campo magnético estático normal a z . Controlando o valor desse campo pode-se garantir que um neutrão que chegue com $\mu_z = +\mu_n$ saia, com probabilidade quase um, com $\mu_z = -\mu_n$ (e vice-versa). É um feito experimental aplicar este campo apenas na região de um dos feixes quando a separação máxima entre eles é de 2 cm. Isso é conseguido com um solenóide dobrado em U. Finalmente a detecção é feita com análise de polarização, ou seja com a possibilidade de contar apenas os neutrões com um valor determinado de uma das componentes de μ . Isso poderia ser feito, em princípio, recorrendo a um magneto como o de entrada. Na prática a separação que se consegue entre os dois feixes é insufi-

ciente para permitir a detecção separada. Se o leitor estiver interessado em conhecer em detalhe o modo de detecção, poderá consultar o artigo original.

O funcionamento deste dispositivo está bem resumido na série de resultados experimentais da Fig. 8 reproduzida do artigo em causa. Representa-se nos vários gráficos o número de neutrões com $\mu_n = +\mu_z$ em diversas situações. Em (a) e (b) o feixe II está bloqueado. Obtém-se uma taxa de contagem apenas para

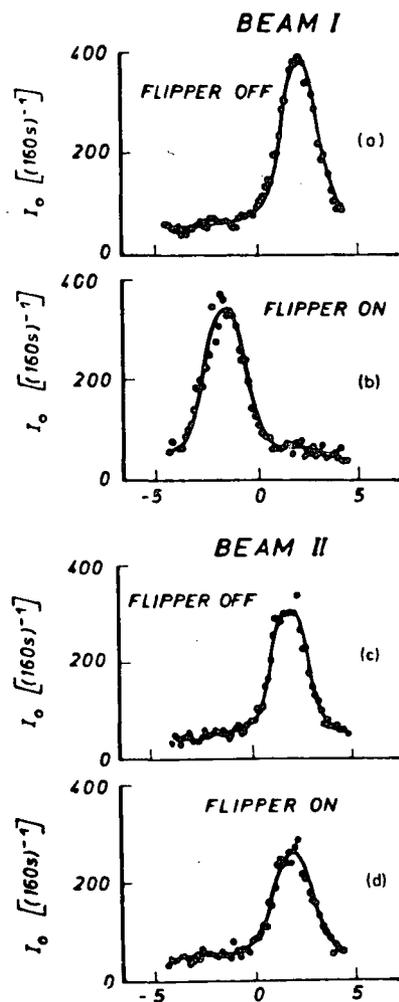


Fig. 8 — Taxas de contagem de uma das saídas do interferómetro em função do ângulo de rotação deste em torno de zz :

- (a) Feixe II bloqueado, inversor de μ_z desligado.
- (b) Feixe II bloqueado, inversor de μ_z ligado.
- (c) Feixe I bloqueado, inversor de spin ligado.
- (d) Feixe I bloqueado, inversor de spin desligado (reproduzido da ref. [5]).

uma dada posição do interferómetro (um pico em cada caso). No caso da Fig. (a) (inversor de spin desligado) o pico ocorre para uma posição do interferómetro para a qual o ângulo de incidência do feixe de $\mu_z = \mu_n$ (\uparrow_z) é θ_B . Se o inversor de spin estiver ligado, (b), a taxa de contagem é máxima se os neutrões admitidos com ângulo de incidência θ_B forem os de $\mu_z = -\mu_n$ (\downarrow_z).

Isto mostra que, nas posições correspondentes aos picos, os neutrões que entram no interferómetro tem um valor definido de μ_z e que o inversor de spin funciona. Em (c) e (d) o caminho I está bloqueado. Neste caso o inversor de spin não tem qualquer efeito: os neutrões detectados viajam por II.

Um caminho ou dois?

As experiências que vamos discutir a seguir são feitas com neutrões à entrada com $\mu_z = +\mu_n$ e inversor de spin ligado. Nesta situação quando detectamos um neutrão com $\mu_z = \mu_n$ (\uparrow_z) sabemos que ele seguiu o caminho II. Não apenas medimos μ_z como determinamos o seu trajecto no interferómetro. Esta taxa de contagem não é alterada se I for bloqueado (*). Neste caso podemos concluir que a taxa de contagem não deve oscilar com a rotação da placa de alumínio. Esta conclusão é correcta como se pode ver na Fig. 9 (a). Obviamente o mesmo acontece com a taxa de neutrões com $\mu_z = -\mu_n$ (\downarrow_z) e portanto com a taxa total. Estes resultados mostram que um neutrão com μ_z para cima seguiu o caminho II no interferómetro e um com μ_z para baixo seguiu o caminho I.

Qualquer neutrão tem $\mu_z = +\mu_n$ ou $\mu_z = -\mu_n$, se esta componente de momento magnético for medida. Mas esta medição, feita após a saída do interferómetro não pode alterar o que se passou enquanto o neutrão lá estava. Em conclusão todos os neutrões seguiram um e só um caminho no interferómetro. Não há lugar para a ocorrência de interferências independentemente da análise de polarização que fizermos. Esta conclusão no entanto é *falsa*. Se contarmos o número de neutrões com um dado valor de uma outra componente de μ ,

por exemplo $\mu_y = +\mu_n$, encontramos uma oscilação da taxa de contagem com a rotação da placa de alumínio, indicação clara da interferência dos dois caminhos (Fig. 9(b)). Note-se que não estamos a lidar com outro tipo de neutrões. Um neutrão com $\mu_y = +\mu_n$ teria $\mu_z = \pm\mu_n$ se medíssemos μ_z . Quer isto dizer que o comportamento do neutrão no interferómetro depende do que lhe fizermos depois?!

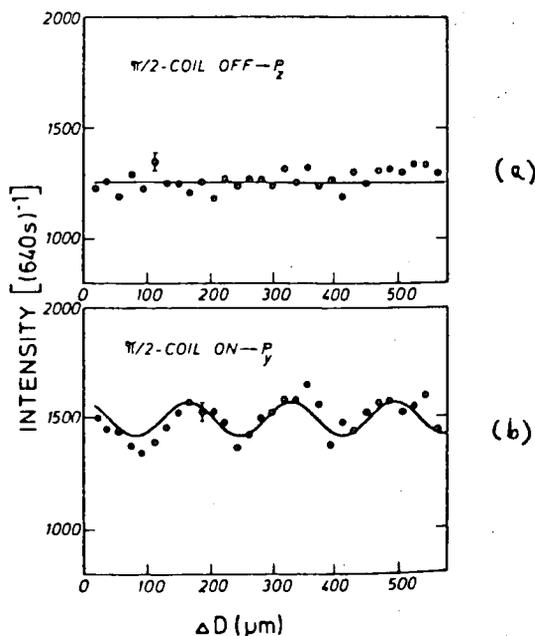


Fig. 9 — Variação das taxas de contagem de neutrões com a diferença de espessuras de alumínio:

(a) Neutrões com $\mu_z = +\mu_n$ (\uparrow_z)

(d) Neutrões com $\mu_y = \mu_n$ (\uparrow_y)

As oscilações só surgem se a componente de μ medida excluir a possibilidade de determinar o trajecto do neutrão no interferómetro (reproduzido da ref. [5]).

O leitor deve estar agora com a sensação de que acabou de ler uma novela policial barata em que o autor guarda para o seu detective mais indícios do que dá aos seus leitores. Na realidade os factos são estes e tentei descrevê-los com detalhe suficiente para que

(*) Esta comparação não é explicitamente referida no artigo. Mas as taxas de contagem que se obtêm dos máximos da Fig. 7(c) (d) e da Fig. 9(a) são muito semelhantes.

o leitor possa avaliar por si o seu significado. Mas os factos não falam por si e importa talvez reexaminar algumas das premissas que nos conduziram a tão absurda conclusão!

A medição de μ_z e a determinação do caminho seguido

O fenómeno de interferências já nos levou a desconfiar da existência de trajectos definidos. Podemos ser tentados a questionar a associação feita entre um valor de μ_z e um caminho determinado dentro do interferómetro. Que significa dizer que um neutrão com $\mu_z = +\mu_n$ seguiu o caminho II? Nesta experiência o valor de μ_z é o *único* registo do caminho seguido e portanto não existe um modo independente de verificar empiricamente esta correlação. Para elucidar este ponto terei de mencionar extensões possíveis desta experiência que não foram, desta vez, concretizadas. Já dissemos atrás que podemos bloquear o caminho I sem afectar a taxa de contagem de neutrões com $\mu_z = +\mu_n$. A Mecânica Quântica prevê, de facto, que nenhuma modificação imaginável nas condições do caminho I alterará a taxa de contagem de neutrões com μ_z para cima (desde que essa alteração não modifique o facto de um neutrão ficar com μ_z para baixo com probabilidade 1, se passar por I). É neste sentido que podemos afirmar que um neutrão com $\mu_z = +\mu_n$ atravessou o interferómetro pelo caminho II. Vejamos um exemplo. Suponhamos que a inversão de spin é conseguida recorrendo a uma cavidade com *um* quantum de radiação electromagnética de energia $\hbar\omega = 2\mu_n B_0$ que é precisamente a diferença de energia entre $\mu_z = -\mu_n$ e $\mu_z = +\mu_n$ no campo magnético B_0 . Podemos supor que o neutrão ao passar na cavidade, tem probabilidade 1 de inverter o seu spin absorvendo um quantum (*). O que a Mecânica Quântica nos afirma então é que se um neutrão depois de sair do interferómetro tiver $\mu_z = \mu_n$ (\uparrow_z) uma inspecção da cavidade revelará que a sua energia não se alterou. Não passou lá nenhum neutrão. Se por outro lado detectarmos um neutrão com $\mu_z = -\mu_n$ a energia da cavidade terá diminuído de $2\mu_n B_0$. Medindo μ_z fica determinado o valor de qualquer outro registo que possamos ter feito da passagem do neutrão no interferó-

metro. Neste sentido parece de facto incontroversa a associação entre um valor de μ_z e um trajecto determinado no interferómetro.

A Mecânica Quântica e a realidade

Não é por esta via que a Mecânica Quântica escapa à necessidade de subverter a causalidade e admitir que o passado pode ser alterado no presente. É por outra bem mais subtil e radical. Do ponto de vista quântico o problema do raciocínio que fizemos sobre esta experiência reside no facto de supormos que *algo* acontece entre duas medições. Que o neutrão *atravessa* o interferómetro por um ou outro caminho, ou pelos dois, que o quantum é absorvido ou não ou só parcialmente etc.

Aquilo que constitui a história de um sistema — algo que verdadeiramente não pode ser reescrito no futuro — é o conjunto de registos irreversíveis obtidos com aparelhos de medida apropriados — o disparo de um contador, o enegrecimento de um grão numa chapa fotográfica, uma cintilação num detector etc. Estes registos são obtidos recorrendo a procedimentos que podem ser destritos sem ambiguidades de modo que qualquer observador qualificado pode em princípio executá-los. Por outro lado é um facto incontroverso da nossa experiência que os resultados destas observações são também isentos de ambiguidade, na medida em que recolhem o consenso geral da comunidade de observadores.

A descrição quântica de um sistema após a última das observações sobre ele realizadas tem um estatuto muito diferente dessas próprias observações. Um sistema é descrito por um conjunto de números complexos — amplitudes de probabilidade — sujeitas a determinadas relações matemáticas e que variam no tempo de um modo determinista segundo as equações de Mecânica Quântica. Cada amplitude de

(*) Neste caso a taxa de contagem de neutrões com um dado valor de μ_z não oscila com a rotação do alumínio. Mas a observação de interferências é ainda possível se medirmos o número de neutrões para os quais μ_z toma dado valor *e* a cavidade está num dado estado, que não é nenhum dos estados com 1 ou 0 quanta mas uma sobreposição linear deles.

probabilidade está relacionada com um resultado possível de uma medição. O quadrado do seu módulo é a probabilidade de obtenção desse resultado se um dispositivo de medida apropriado interagir com o sistema, concretizando essa medição. Uma especificação completa destas amplitudes é o que designamos por «estado do sistema». Mas não há nada no formalismo quântico que nos sugira que o «estado do sistema» é uma propriedade intrínseca, uma condição na qual o sistema se encontra independentemente de qualquer observação e que determina o modo como ele interage com os sistemas de medida. Muito pelo contrário. O exemplo da experiência de Summhammer (com a variante da cavidade) torna isto bem claro. O neutrão tem amplitudes não nulas de viajar (isto é, ser detectado se os detectores estiverem no lugar) pelos caminhos I e II. Consequentemente a cavidade tem amplitudes não nulas de ter um ou zero quanta. Mas se μ_z for medido com o neutrão já fora do interferómetro, e o valor encontrado for $+\mu_n$ (\uparrow_z), a amplitude de a cavidade ter zero quanta passa a ser nula. No entanto não houve qualquer interacção física com a cavidade. Não pode ter havido mudança do seu «estado físico» no sentido clássico. O que houve sim foi um novo acto de observação que naturalmente altera as nossas expectativas relativamente a observações futuras já que permitiu excluir algumas das possibilidades admitidas pelas observações anteriores a esta.

O que fazem os sistemas físicos entre observações? O que são eles na «realidade» quando ninguém os observa? Estas perguntas, por legítimas que possam parecer, não tem cabimento na Mecânica Quântica. O objecto da Mecânica Quântica não é essa realidade preexistente que está à espera de ser descoberta mas sim o que John Wheeler descreveu com algum sentido poético do seguinte modo [6]:

«O que chamamos realidade consiste (Fig. 10) em alguns postes de ferro de observação os quais ligamos com uma elaborada construção de imaginação e teoria feita de papel-maché».

Mais do que o seu indeterminismo intrínseco, foi este aspecto da Mecânica Quântica

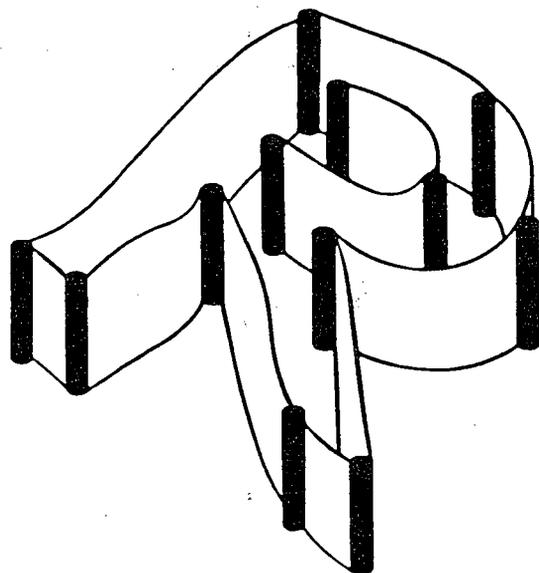


Fig. 10 — O que chamamos realidade, simbolizado pela letra «R» do diagrama, consiste numa construção de imaginação e teoria em papel-maché, ajustada entre alguns postes de ferro de observação (ref. [6]).

que Einstein nunca aceitou. Até ao fim da sua vida persistiu na procura de uma teoria mais compreensiva que representasse acontecimentos, não apenas as suas probabilidades de ocorrência.

REFERÊNCIAS

- [1] LOPES DOS SANTOS, J. M. B. — *Gazeta de Física*, n.º 1, 1989.
- [2] As actas de uma conferência recente — «Matter Wave Interferometry» encontram-se em *Physica B+C*, **151**, n.ºs 1 e 2, 1988.
- [3] Alguns artigos introdutórios:
 - (a) WERNER, S. A. — *Physics Today*, **33** (Dez.) p. 24, 1980.
 - (b) GREENBERGER, D. M., OVERHAUSER, A. W. — *Sci Amer.*, 242 (Maio) p. 66, 1980.
- Um artigo mais avançado:
 - (c) GREENBERGER, D. M. — *Reviews of Mod Phys.*, **55**, p. 875, 1983.
- [4] COLLELA, R., OVERHAUSER, A. W., WERNER, S. A. — *Phys. Rev. Lett.*, **34**, p. 1472, 1975.
- [5] SUMMHAMMER, J., BADUREK, G., RAUCH, H., KISCHKO, U., ZELINGER, A. — *Phys Rev.*, **A27**, p. 2523, 1983.
- [6] WHEELER, J. A. — Em «Quantum Theory Theory and Measurement», p. 194-195, ed. Wheeler, J. A., Zurek, W. H., Princeton University Press., 1983.

Fusão Fria

CARLOS FIOLEAIS

Departamento de Física da Universidade de Coimbra

«We are also human and need miracles and hope they exist»

(L. PONOMAREV, físico soviético)

Dirac afirmou um dia que «é mais importante ter beleza nas equações do que tê-las ajustadas à experiência». Foi assim que em 1928 chegou a uma equação quântica e relativista (hoje conhecida por equação de Dirac) que, nas palavras do seu autor, «descreve toda a química e quase toda a física».

É verdade! Não se descobriu até agora nenhum fenómeno físico-químico que não possa ser descrito, com melhor ou pior aproximação, pela equação mágica de Dirac. Mas, ao contrário do que possa parecer, isso não significa que a física ou a química estejam terminadas. Assim como um engenheiro fica impotente para conceber ou reparar uma turbina, de posse apenas das equações de Maxwell, assim também um físico ou um químico ficam muitas vezes impotentes para descrever a natureza microscópica, de posse apenas da equação de Dirac.

Foi o que aconteceu, por exemplo, em 1986, com a descoberta da supercondutividade a alta temperatura, cuja explicação ninguém conseguiu ainda, de forma convincente, a partir da equação de Dirac ou da sua parente próxima, a equação de Schroedinger. A inexistência de teoria não impediu que os autores da descoberta tenham visto o seu trabalho confirmado experimentalmente em todo o mundo e que, por via disso, tenham arrecadado o prémio Nobel da Física. A falta de explicação teórica imediata não é razão para se duvidar de um fenómeno repetidamente obtido — já a supercondutividade a frio tinha aparecido por via laboratorial, tendo decorrido muito tempo antes da sua compreensão teórica. Com teoria

ou sem ela, procuram-se hoje intensivamente aplicações da supercondutividade a alta temperatura e, apesar dos atrasos em relação às expectativas mais optimistas, virá o dia em que o efeito será usado em tecnologias correntes. Será engraçado se, nessa altura, as coisas funcionarem e não houver ainda teoria...

Mais recentemente — em 23 de Março de 1989 — dois químicos, um norte-americano da Universidade de Utah e outro inglês da Universidade de Southampton — apareceram em público a afirmar que conseguiam produzir a fusão do deutério, por simples electrólise à temperatura ambiente. O fenómeno — desde logo chamado de fusão fria — era completamente inesperado mas o seu possível impacto a nível das necessidades energéticas da sociedade levou a que os mass media centrassem as suas atenções na inusitada descoberta. Desde há muito que não se via um interesse tão grande dos órgãos de informação por um resultado científico. Não era caso para menos, pois, a confirmar-se o anúncio, estava-se perante mais uma daquelas ocasiões em que a natureza se compraz na surpresa, vindo desta vez em auxílio de uma humanidade com graves problemas energéticos.

Mas o anúncio confirmou-se? Não e sim. Houve quem repetisse a experiência e nada observasse de semelhante e houve quem repetisse a experiência e dissesse que sim senhor, que ali havia qualquer coisa de estranho. O primeiro grupo foi bastante mais numeroso que o segundo. Para um sociólogo da ciência a situação deve ter fornecido muito material para estudo e, mesmo que o assunto venha a

morrer de morte natural, fica pelo menos uma história bizarra cheia de ensinamentos como a ciência hoje se faz ou não se faz. Faz-se de maneira bem pouco científica, acrescenta-se já, se por científica se entender o modo tradicional e pacato de fazer ciência.

Vamos, porém, aos particulares da história. Pons e Fleischmann — são estes os nomes dos dois principais protagonistas — comunicaram em conferência de imprensa, logo disseminada pelas televisões de todo o mundo, que numa célula electrolítica com um cátodo de paládio, um ânodo de platina e água pesada, uma diferença de potencial de 12 V, conseguida por uma bateria convencional, levava à manifestação dos seguintes fenómenos:

— Um fluxo de calor muito grande. Esse fluxo de calor era, para os químicos autores da experiência, inexplicável por qualquer processo químico convencional. Ele significaria um ganho de energia pela célula. Durante um intervalo de tempo prolongado, saía bastante mais energia do que aquela que aparentemente lá tinha entrado.

— Uma emissão de neutrões.

— Uma subida do nível de trítio na célula.

O fluxo de calor foi investigado por métodos calorimétricos padrão. A emissão de neutrões foi comprovada indirectamente através da emissão de raios gama resultantes da recombinação de neutrões no meio.

Os dois químicos não eram propriamente desconhecidos no domínio da electroquímica e tudo indicava que a sua comunicação era resultado de trabalho sério, prolongado e verificado. Pela primeira vez, um químico tinha pela frente um neutrão! Metia-se num domínio que tinha até aí sido propriedade exclusiva dos físicos e dentro destes dos físicos nucleares.

Os dados de Pons e Fleischmann indicavam que o deutério absorvido pela rede de paládio (o paládio consegue absorver grandes quantidades de hidrogénio) se conseguia fundir, libertando tanto energia como partículas.

Que disseram então os físicos? Numa outra universidade perto da de Utah, a Brigham Young University, há já algum tempo que um

grupo dirigido por um físico conceituado, Steven Jones, vinha efectuando experiências cujo objectivo principal era conhecer melhor o comportamento do deutério no interior de uma rede metálica. Jones é também o principal impulsor dos últimos avanços sobre fusão catalizada por muões (esta é a verdadeira «fusão fria», pois a sua efectivação foi comprovada à temperatura ambiente; qualquer aplicação prática afigura-se porém ainda remota). Jones, logo a seguir à conferência de Pons e Fleischmann, divulgou as conclusões das suas experiências, que eram semelhantes às dos seus vizinhos na concepção mas diferentes nos pormenores: havia emissão de neutrões, mas em grau muito menor do que no caso de Pons e Fleischmann. Não havia indícios de libertação apreciável de calor.

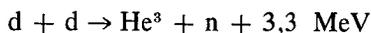
A confusão (em inglês «confusion», não muito diferente de «cold fusion») estabeleceu-se então. Anúncios de confirmações da fusão fria eram efectuadas, de forma bombástica, por vários laboratórios em todo o mundo. Em Itália, por exemplo, alguém revelava que era possível a fusão fria a partir do deutério gasoso dentro do titânio. Isto é, não apenas a fusão era «fria» como era «a seco» (fácil e barato, porque o titânio até é mais acessível que o paládio). Outros anunciavam que não viam coisíssima nenhuma. Outros ainda que viam, para logo depois se retractarem e darem o dito por não dito. Outros, finalmente, não dormiam a tentar obter resultados exactos e rápidos. A dificuldade essencial em repetir a experiência de Pons e Fleischmann era que estes não permitiam o acesso de terceiros ao seu laboratório e pouco divulgavam dos pormenores técnicos da experiência. Um pequeno artigo que rapidamente (30/Março) conseguiram publicar no «Journal of Electroanalytical Chemistry» pouco adiantava sobre a instrumentação e a metodologia, certamente para guardar os proveitos económicos de possíveis patentes.

Por sua vez, em 29 de Abril de 1989 vinha a lume um artigo de S. Jones e colaboradores na prestigiada revista britânica «Nature» (publi-

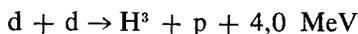
cado apenas depois de os autores terem respondido a algumas questões dos relatores científicos). Pons e Fleischmann, embora tivessem enviado na mesma altura um artigo para a «Nature» retiraram-no depois, por alegadamente não disporem de tempo para responder a algumas questões dos consultores da «Nature». Os editores da «Nature» estavam decerto «escaldados» com uma história mirabolante que tinham inadvertidamente publicado menos de um ano antes, sobre a «água com memória»... E deviam estar também lembrados da célebre controvérsia com a descoberta dos raios N em França depois de Roentgen ter descoberto os raios X, raios N esses que em breve foram dados por inexistentes...

A falta de confirmação dos resultados de Pons e Fleischmann em alguns laboratórios mais conceituados levou a que a confusão inicial desse lugar a um certo consenso na comunidade científica internacional de que algo estava errado na sua experiência ou na sua interpretação. A fusão fria levava um «balde de água fria».

Vejamos com mais pormenor os factos em causa. O resultado de Pons e Fleischmann levanta uma dúvida grande: o fluxo de calor produzido (10 W/cm^3) parece incompatível, com base na física nuclear convencional, com o fluxo de neutrões medido. Os canais principais da reacção do deutério consigo próprio são:

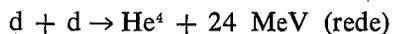


e



O calor em causa significaria, pela primeira reacção, que o fluxo de neutrões deveria ser muitas vezes superior ao medido e até mesmo mortal para os experimentadores (o fluxo de calor corresponderia a uma taxa de 10^{-9} reacções de deutério por segundo, enquanto o fluxo de neutrões corresponderia a uma taxa de 10^{-18} reacções de deutério por segundo). O facto de os autores estarem vivos

provaria que não podia ser essa a reacção. Houve quem propusesse uma outra reacção:



mas esta parece muito pouco plausível dada a diferença de escala de tempo entre os fenómenos nucleares e atómicos (a rede não poderia assim, em tempo útil, absorver a quantidade de movimento necessária). Por alguma razão os físicos do estado sólido trabalham com energias da ordem de grandeza dos electrões volt enquanto os físicos nucleares lidam com energias que são um milhão de vezes superiores.

Para se processar qualquer uma das reacções indicadas o deutério teria de vencer (por efeito túnel) a poderosíssima barreira de Coulomb, não se vislumbrando qual o efeito que poderia induzir essa travessia.

Portanto, os físicos duvidaram ou da técnica de calorimetria utilizada (houve quem dissesse que era preciso «agitar antes de usar») ou da técnica de medição de neutrões (nomeadamente da subtracção da radiação de fundo; os raios gama detectados a 2,2 MeV poderiam provir de emissão do radão, um elemento radioactivo que existe um pouco por todo o lado).

Por seu lado, os resultados de Jones mostrando um fluxo anormal de neutrões (correspondente a uma taxa de reacção de 10^{-23} reacções de deutério por segundo, portanto irrelevante do ponto de vista económico) permanecem ainda inexplicados: houve quem propusesse que a reacção do deutério seria catalizada por muões da radiação cósmica, mas estes parecem ser em número insuficiente para o efeito. Poder-se-ia também tratar, segundo outros, de fusão induzida por uma massa ou carga efectiva especiais do electrão do deutério no interior da rede cristalina.

Na Conferência de Primavera da Sociedade Americana de Física, que se realizou em Baltimore em fins de Abril de 1989, realizou-se uma sessão especial dedicada à «fusão fria». Ouviu-se então um ataque cerrado às pretensões de Pons e Fleischmann, que não estavam lá para se defenderem. Uma multidão de físicos pretendeu apanhar em falso os dois químicos

e mostrou-se disposta a defender a sua propriedade: os químicos que ficassem com as suas electrólises mas os neutrões e protões eram coisas dos físicos. Realizou-se uma votação de um painel de 8 especialistas, que concordaram por 7 votos a favor e 1 abstenção que não valia a pena investir mais tempo na fusão fria a la Pons e Fleischmann. Há evidentemente por parte dos físicos um prazer mal disfarçado em encontrar algo de errado no trabalho dos químicos. As grandes descobertas do século XX tinham sido obra de físicos e era com alguma arrogância que os físicos exorcizavam uma possível revolução devida a dois químicos especialistas em pilhas...

O facto é pois que a «fusão fria» tem vindo progressivamente a arrefecer. O famoso químico Linus Pauling veio afirmar que o calor anormal pode até muito bem ser normal e dever-se a uma reacção química conhecida (isto é, explicável pela equação de Schroedinger). No entanto, numerosas experiências continuam hoje a ser realizadas para estabelecer definitivamente quem tem razão. A ciência trata, felizmente, daquilo que é reprodutível e passível do reconhecimento geral.

Mas esta história de fusão fria tem certamente uma moral (ou até várias).

Há quem pense que todo este imbróglio é prejudicial para a ciência, porque ela sairia desacreditada. Não o creio. A ciência sai reforçada, porque da concentração de esforços num dado assunto sai sempre conhecimento novo ou renovado. A ciência sai desacreditada apenas para aqueles que lhe dão mais crédito do que aquele que lhe é legitimamente devido. Como lembra Feynman, a «ciência não é certa» e os que pensam que é certa estão enganados. A ciência é a tentativa do homem responder, usando um certo método, a um certo conjunto de questões. «Errar é próprio do homem», mas a ciência tem em si mecanismos para encontrar e corrigir o erro.

Há quem pense que é mau que a discussão científica extravase das revistas e encontros especializados para o barulho da imprensa, da rádio e da televisão. Não creio que essa amplificação seja totalmente negativa. A ciência

tem mais a perder do que a ganhar se se encerrar numa qualquer «torre de marfim». Se os jornalistas, que são ou deviam ser o reflexo de uma sociedade ansiosa de novo saber e de novas técnicas, se interessam pela ciência tanto quanto se interessam por futebol, o melhor é ainda atendê-los de maneira bem-educada, explicando-lhes o que é o «jogo científico», quais são as suas regras e os seus resultados. A amplificação pela comunicação social da fusão fria é um sintoma de que existe um público curioso da ciência e das tecnologias e consciente dos problemas energéticos que a humanidade enfrenta.

Há quem pense que a comunicação rápida de resultados e opiniões não se compadece com o ritmo lento exigido por uma compreensão amadurecida. Não creio que seja o caso. Este episódio da fusão fria veio provar, pela primeira vez em grande escala, o poder das modernas redes de comunicação electrónica e o grande serviço que estas podem prestar à circulação de informação científica. Veio mostrar o que é uma comunidade científica a pensar em conjunto, a uma escala planetária. Se desta vez a promessa inicial não parece confirmada pelas conclusões intermediárias, talvez para a próxima suceda o contrário.

A fusão fria exemplificou — e este é talvez o seu principal ensinamento — que a ciência vive da surpresa e da criatividade e que é preciso tentar tudo para obter um pouco de novo que seja. Estou em crer que muitas das descobertas do futuro não exigirão necessariamente investimentos imensos e equipamentos sofisticadíssimos para conseguir alguma novidade. O mundo físico é suficientemente complexo e variado para permitir fenómenos cooperativos não triviais em amostras aparentemente triviais (vide o caso da supercondutividade a altas temperaturas). Os físicos e químicos só têm de experimentar, experimentar e experimentar, sem atender apenas à «beleza das equações»!

BIBLIOGRAFIA

- FLEISCHMANN, M. e PONS, S. — *J. Electroanalytical Chem.*, **261**, 301 (1989).
INES, S. E. *et al.* — *Nature*, **338**, 737 (1989).

Big Bang e inflacção (II) (*)

A. L. L. VIDEIRA

Departamento de Física, Universidade de Évora

Centro de Física da Matéria Condensada — Av. Prof. Gama Pinto, 2 — 1699 Lisboa Codex

«Conta; que agora vem co'os áureos freios
Os cavalos que o carro marchetado
Do novo Sol, da fria Aurora trazem;
O vento dorme, o mar e as ondas jazem».

CAMÕES

1. A Era de Planck

A energia mais elevada, acima da qual não se pode, actualmente, fazer quaisquer previsões quantitativas é aquela à qual o raio de Schwarzschild e o comprimento de onda de Compton da chamada massa de Planck, M_p , são iguais: $M_p G/c^2 = \hbar/M_p c$, o que dá para essa energia o valor de $M_p c^2 \equiv (\hbar c/G)^{1/2} c^2 \sim 10^{19}$ GeV. Essa energia determinada a *era de Planck* do Universo, caracterizada, ainda, por um comprimento $l_p = (G\hbar/c^3)^{1/2} \sim 10^{-33}$ cm, um tempo $t_p \equiv (G\hbar/c^3)^{1/2} \sim 10^{-43}$ s, uma temperatura $T_p \equiv k_B^{-1} c^7 / \hbar G^2 \sim 10^{32}$ °K e uma densidade $\rho_p \equiv M_p/l_p^3 = M_p^4 (c^3/\hbar^3) \sim 10^{94}$ g.cm⁻³.

Na era de Planck (1), admite-se que existisse uma simetria completa entre as quatro interacções (gravitacional, fraca, electromagnética e forte). O grupo de gauge unificado de uma certa teoria de grande unificação (GUT), como, por exemplo, (SU(5)), quebra-se espontaneamente a uma certa temperatura crítica, directamente proporcional à constante de acoplamento de gauge e à escala de unificação, podendo ser calculada com base em dados de baixas energias [1]. Por outro lado, segundo o modelo padrão de um Big Bang quente (§ 3 e 5, Parte I), o Universo teve início num estado quase homogéneo e isotrópico, com densidade e temperatura quase infinitas, expandindo-se rapidamente a partir daí. A rigor, esse modelo, baseado na Teoria da Relatividade Geral (TRG), prevê, como vimos, uma singularidade espaço-temporal, na qual todos os parâmetros dinâmicos divergem para infinito.

Ora, como não é de esperar que uma descrição inteiramente clássica da matéria (tratada como um gás ideal) permaneça adequada a temperaturas muito elevadas ($T \geq m_{\text{rep}}$), um tal modelo não deverá certamente continuar a ser válido nas vizinhanças da era de Planck. Assim, não é de estranhar que o modelo puramente clássico de um Big Bang quente — a par dos seus grandes e reconhecidos sucessos (expansão cósmica, radiação de fundo de microondas, nucleossíntese primordial de hidrogénio e hélio) — envolva inevitáveis problemas, os principais dos quais vêm referidos a seguir.

2. Problemas do Modelo Padrão

a) *O problema da singularidade inicial:* Uma singularidade numa teoria é sinal inequívoco de alarme. Uma singularidade espaço-temporal, associada a valores infinitos da densidade e da temperatura, envolve, nada mais nada menos saber-se como se poderá, a partir de uma situação na qual a física *não* vale, passar para uma situação não-singular, com todos os seus parâmetros associados tendo valores finitos e fixados por determinadas leis.

(*) Parte I publicada em Gaz. Física, 11, 63-70 (1988).

(1) Em unidades de tempo de Planck, t_p , a idade do Universo é de, pelo menos, sessenta potências de dez: $t_U \sim 10^{60} t_p$.

b) *O Problema do horizonte*: Esta questão pode ser posta de diferentes maneiras. Diz-se, por exemplo, que existe um horizonte quando existem regiões do espaço que não podem enviar sinais luminosos (e, portanto, nenhuns outros) entre si, o que significa que essas regiões não podem comunicar entre si. Ou seja, a velocidade finita de propagação da luz separa o Universo em regiões (causalmente coerentes), as quais ainda não tiveram tempo de se comunicar entre si, desde o início do Universo. Desse modo, a aceitar-se o modelo padrão, regiões da radiação de fundo de microondas separadas na esfera celeste por ângulos $\geq 30^\circ$ não poderiam ter estado relacionadas casualmente quando (ou antes) da época em que essa radiação sofreu a última difusão. Como explicar, então (dentro do modelo padrão) que essas regiões aparentemente independentes tenham hoje (dentro de uma precisão de uma parte em mil) a mesma temperatura e a mesma densidade da radiação?

c) *O Problema do Achatamento*: Como vimos no final do § 5 da Parte I, a evidência observacional sugere que, hoje, o Universo seja quase plano e, portanto, *muito* mais plano ainda no início da sua expansão. Se assim for, isso seleccionaria a solução $k = 0$, $q_0 = 1/2$, $\Omega_0 = 1$ do modelo padrão, excluindo as outras duas ($k = \pm 1$, $q_0 \leq 1/2$, $\Omega_0 \leq 1$).

d) *O Problema dos Monopólos Magnéticos*: Todas as teorias de grande unificação prevêm a existência de partículas estáveis super-pesadas ($m \sim m_X \sim 10^{15}$ GeV) e carregadas magneticamente — os chamados monopólos magnéticos — que, de acordo com o Big Bang quente padrão, deverão ter surgido logo nos primeiros instantes do Universo e serem tão abundantes quanto os prótons (o que faria com que a densidade do Universo fosse $\sim 10^{15} \rho_0 \sim 10^{15} \cdot 10^{-29} \text{ g.cm}^{-3} = 10^{-14} \text{ g.cm}^{-3}$). Apesar de insistentes buscas, nenhum foi detectado até agora. Onde param eles?

e) *O Problema das Heterogeneidades*: Numa escala de 10^{10} pc, a distribuição de

matéria desvia-se da homogeneidade por menos de uma parte em mil. Por outro lado, em escalas menores, o Universo é altamente heterogéneo, contendo galáxias e aglomerados de galáxias, regiões vazias e estruturas filamentosas com dimensões $\geq 10^8$ pc. Como surgiram essas heterogeneidades?

3. O Universo Inflacionário

A partir do início dos anos oitenta, tem-se desenvolvido modelos — envolvendo métodos clássicos e quânticos — que permitem a elucidação das dificuldades acima referidas, desde que haja crescimento exponencial (ou quase exponencial) do parâmetro de escala, $R(t)$, pelo menos durante um certo intervalo de tempo. São esses os modelos de expansão inflacionária do Universo, nos quais a matéria é descrita por meio de uma teoria quântica de campos — uma GUT, como, por exemplo, SU(5) — acoplada a uma teoria clássica (a única disponível) do campo gravítico, a TRG.

A motivação subjacente às diversas versões inflacionárias é a de procurar determinar as condições para que o Universo disponha das propriedades efectivamente observadas: alto grau de isotropia e pequeno grau de heterogeneidade, grande proximidade da densidade crítica necessária para o achatamento, além da eliminação da necessidade de uma singularidade espaço-temporal (com todos os seus graves inconvenientes), e a ausência de monopólos magnéticos.

Em qualquer das versões inflacionárias, o Universo passa por um estágio de expansão exponencial, durante o qual ele permanece num estágio tipo vácuo contendo campos clássicos (quase) homogéneos, mas nenhuma (ou quase nenhuma) partículas. Esses são os campos de Higgs das GUT, que desempenham o papel de um estado instável do vácuo e cujo decaimento pode aquecer o Universo.

Vimos (§ 5 da Parte I) que, durante a sua expansão «normal», no modelo do Big Bang, à medida que o Universo se vai expan-

dindo, vai também arrefecendo «normalmente», de acordo com a lei $RT = \text{cte}$. Na expansão inflacionária, o que se tem é muito mais drástico, de modo que, numa das suas versões, devido à rapidez da expansão durante $\sim 10^{-35}$ s, o Universo sobrearrefece (2). Este sobrearrefecimento está relacionado ao aprisionamento de um campo de Higgs num estado de energia mais alta, a qual, ao ser libertada mais ou menos subitamente (transição de fase) dá lugar ao processo inflacionário. Foi um roteiro como esse que Alan Guth do MIT idealizou em 1980 [2], seguindo uma proposta de Alexei Starobinsky do Instituto Landau de Moscovo [3].

Pouco depois, Andrei Linde do Instituto de Física Lebedev de Moscovo [4] e, independentemente, Andreas Albrecht e Paul Steinhardt da Universidade da Pensilvânia [5], propuseram uma outra versão, chamada de *nova inflação* e já no ano seguinte Linde [6] propôs uma outra versão ainda, a *inflação caótica*, que, possivelmente, será mais simples e natural do que os demais cenários inflacionários e que, por isso mesmo, será o único aqui tratado por nós.

O Universo inflacionário tem início, ou a partir de uma singularidade tipo Big Bang, ou de uma flutuação quântica de uma métrica espaço-temporal não clássica pré-existente. Para densidades muito elevadas — certamente para densidades maiores do que a densidade de Planck (3), $\rho_p \propto M_p^4$ — acredita-se que as flutuações quânticas do vácuo físico sejam tão grandes que não faça sentido considerar uma geometria espaço-temporal clássica do tipo usual. Considera-se, em contrapartida, uma «espuma» espaço-temporal flutuante, com «bolhas» de dimensão típica $l \geq l_p$ ($\propto M_p^{-1}$) $\sim 10^{-33}$ cm. Uma possibilidade é considerar bolhas associadas a energias da ordem da massa do mesão X, $m_X \sim T_{\text{GUT}} \sim 10^{15}$ GeV, o que dá $l \sim m_X^{-1} \sim 10^{-26}$ cm.

Essas bolhas, devido a algum mecanismo (descrevemos um deles, a seguir), poderão começar a expandir-se isoladamente, cada uma à sua maneira. Assim, haverá bolhas com taxas

de expansão suficientemente baixas, de modo a deixarem de crescer logo após tempos microscópicos (ou mesmo macroscópicos, mas muito inferiores a $t_U \sim 10^{18}$ s); ou então, bolhas expandindo-se tão rapidamente que o arrefecimento do seu conteúdo dinâmico seja tal que impeça, por exemplo, o congelamento de bariões. Um Universo como o nosso teria uma taxa «correcta» de expansão, isto é, teria a taxa exactamente adequada para uma expansão suficientemente longa, que permita, inclusive, o aparecimento de observadores (4). Algumas das bolhas, uma vez cessada a expansão (após um intervalo finito de tempo), iniciariam um processo de colapso.

A inflação tem início em $t \geq t_p$, dando lugar, no nosso Universo — como veremos a seguir — a uma expansão por um factor de 10^{10^8} em $\Delta t \sim 10^{-35}$ s (que deve ser comparada com uma expansão por um factor de 10^{30} em $\Delta t \sim t_U \sim 10^{18}$ s, do modelo do Big Bang padrão). Esse período inflacionário é sucedido por um interlúdio de aquecimento, após o qual

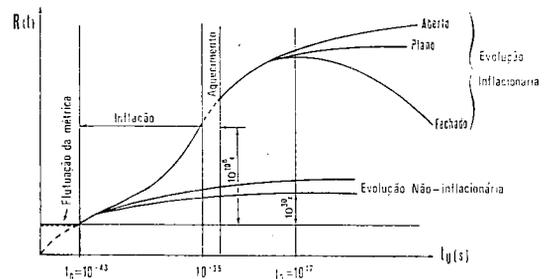


Fig. 1 — A expansão cósmica segundo o modelo inflacionário e segundo o modelo padrão.

(2) Como ocorre com a água, que, sob certas condições, pode ser sobrearrefecida, mantendo-se líquida até cerca de -20°C , o que implica que, ao dar-se a transição de fase para o estado sólido, essa transição liberta uma quantidade muito maior de calor latente.

(3) Num sistema de unidades onde $\hbar = c = 1$ vem $L = M^{-1}$. Se além disso a constante de Boltzmann $k_B = 1$ então massa, energia e temperatura vêm todas com a mesma dimensão.

(4) Observadores esses que possam, eventualmente, vir a reflectir sobre todo este cenário.

a evolução subsequente do Universo pode ser adequadamente descrita pelo modelo padrão (Fig. 1).

4. A Inflação Caótica

Num tratamento simplificado (veja-se, por exemplo, a ref. 7), consideremos um modelo com um campo de Higgs clássico, ϕ , (associado, por exemplo, aos bosões X e Y), com quantum de massa $m \ll M_p$, quase homogêneo em algum domínio espaço-temporal (uma das bolhas de espuma), que, localmente, pareça um Universo em expansão. Essa expansão será governada pela equação de Friedmann-Robertson-Walker, Eq. (12) da Parte I:

$$\dot{R}^2/R^2 = -k/R^2 + (8\pi G/3)\rho \quad (1)$$

enquanto que a evolução de ϕ no tempo será descrita pela equação de Klein-Gordon usual, modificada pela expansão da geometria:

$$\ddot{\phi} + 3(\dot{R}/R)\dot{\phi} + V'(\phi) = 0 \quad (2)$$

Supondo que ϕ seja minimamente acoplado ao campo gravítico, a densidade de energia total desse campo é dada por:

$$\begin{aligned} \rho &= \dot{\phi}^2/2 + (\nabla\phi)^2 + V(\phi) \\ &= \dot{\phi}^2/2 + V(\phi) = (\dot{\phi}^2 + m^2\phi^2)/2 \end{aligned} \quad (3)$$

Levando (3) em (1) e substituindo $G \propto M_p^{-2}$, $H = \dot{R}/R$, vem:

$$H^2 + k/R^2 = (4\pi/3 M_p^2) (\dot{\phi}^2 + m^2\phi^2) \quad (4)$$

Por outro lado, (2) fica:

$$\ddot{\phi} + 3H\dot{\phi} + m^2\phi = 0 \quad (5)$$

Pode-se mostrar [6, 8] que, se o campo inicial, ϕ_0 , for maior do que $M_p/5$, o termo $3H\dot{\phi}$ em (5) faz com que a variação de ϕ no tempo seja muito lenta podendo-se, então, desprezar $\dot{\phi}$ em (4) e $\ddot{\phi}$ em (5). Como, além disso, durante a expansão inflacionária, $R(t)$ cresce muito rapidamente, pode-se des-

prezar o termo k/R^2 em (4). As Eqs. (4) e (5) são, então, substituídas por:

$$H^2 = (4\pi m^2/3M_p^2) \phi^2 \quad (6)$$

$$3H\dot{\phi} = -m^2\phi \quad (7)$$

Como, durante a inflação, ϕ varia muito lentamente no tempo, $H \sim \phi$ poderá ser considerado constante durante esse período, o que permite integrar (6):

$$\begin{aligned} H \equiv \dot{R}/R &= (4\pi/3)^{1/2} (m/M_p) \phi \\ R(t) &= R_0 e^{H(\phi)\tau} \equiv R_0 e^{\tau/t_I}, \quad \tau \equiv t - t_0 \end{aligned} \quad (8a)$$

ou:

$$R = R_0 \exp [(4\pi/3)^{1/2} (m/M_p) \phi \tau] \quad (8b)$$

tendo-se, pois, um crescimento quase exponencial durante o período inflacionário $t_I \equiv H(\phi)^{-1}$. Por outro lado, levando (6) em (7) e integrando:

$$\phi - \phi_0 = - (m M_p/2 \sqrt{3\pi}) \tau \quad (9)$$

e ainda:

$$\phi_0^2 - \phi^2(t) = (M_p^2/2\pi) H \tau \quad (10)$$

Esta última, permite que se escreva (8) como

$$R(t) = R_0 \exp \left\{ (2\pi/M_p^2) [\phi_0^2 - \phi^2(t)] \right\} \quad (11)$$

A ideia central da inflação caótica consiste, justamente, em supor uma distribuição inicial caótica do campo ϕ , a qual, contudo, não pode ser inteiramente arbitrária, podendo-se mostrar que a distribuição inicial, ϕ_0 , deva ser bastante homogênea. Inicialmente, deve-se ter $\rho \leq M_p^4$, de modo que $V(\phi_0) \sim m^2 \phi_0^2 \sim M_p^4$, o que permite atribuir um valor inicial para ϕ da ordem de $\phi_0 \sim M_p^2/m$ (Fig. 2).

No intervalo $M_p/5 < |\phi| < M_p^2/m$, o campo ϕ varia muito lentamente no tempo e decresce em direcção ao mínimo de $V(\phi)$, em $\phi = 0$, sendo esse, justamente, o período inflacionário. Quando, ao contrário, $|\phi| < M_p/5$, o campo oscila rapidamente no tempo em torno do mínimo de $V(\phi)$, sendo essas oscilações que transformam a energia de ϕ em calor,

aquecendo o Universo e conduzindo à produção das partículas com as quais ϕ interaja.

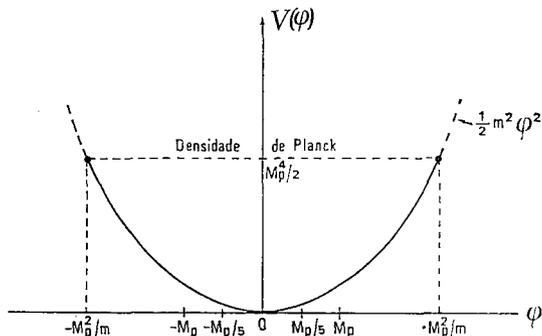


Fig. 2 — A densidade de energia potencial no modelo $V = m^2 \phi^2/2$.

Admitindo que o quantum do campo ϕ tenha massa $m \sim m_X \sim 10^{15} \text{ GeV} \sim 10^{-4} M_p$ e pondo que, no início do período inflacionário, $\phi_0 \sim M_p^2/m \sim 10^4 M_p$ e que, no final, $\phi(t) \sim 0$, as Eqs. (9) e (11) permitem a determinação, respectivamente, do tempo de duração da inflação e do crescimento de $R(t)$ durante esse tempo. Assim, de (9):

$$\tau \sim (2 \sqrt{3\pi}/mM_p) \phi_0 \sim 10^{-35} \text{ s} \quad (12)$$

enquanto que, de (11):

$$R/R_0 \sim 10^{10^8} \quad (13)$$

Durante a expansão inflacionária, dois sistemas separados por distâncias superiores a H^{-1} estar-se-ão afastando um do outro com velocidade superior à velocidade da luz ⁽⁵⁾. Isso implica em que, no Universo inflacionário, se possam observar apenas os eventos que ocorram a distâncias inferiores a H^{-1} . Ou seja, em qualquer domínio espacial com dimensão H^{-1} , a inflação ocorre independentemente do que possa acontecer em qualquer outro domínio. Assim, qualquer região de tamanho inicial inferior a $2H^{-1}$ pode ser considerada como um mini-universo individual, que evoluirá de maneira inteiramente independente do que ocorre fora dessa região.

Desse modo, cada bolha constitui, inicialmente, um mini-Universo causalmente disjunto

de todos os demais, podendo, cada um deles, expandir-se durante intervalos de tempo microscópicos ou macroscópicos. Neste cenário, o Universo *como um todo* é constituído por um número indefinido de universos, alguns deles inflacionários (entre os quais o nosso) (Fig. 3).

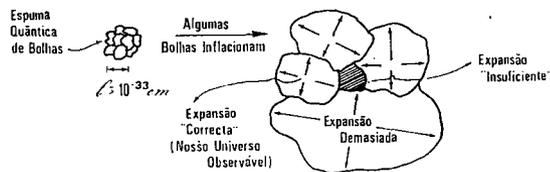


Fig. 3 — Espuma de bolhas, algumas das quais inflacionam.

5. Eliminação das Dificuldades

Os modelos inflacionários permitem eliminar todas as dificuldades anteriormente referidas (§ 2), inerentes ao modelo de Big Bang padrão.

a) *O Problema do Horizonte*: Como a parte observável do actual Universo ($\sim 10^{28} \text{ cm}$) é apenas uma fracção diminuta da bolha inflacionada, deixa de existir a dificuldade relacionada com o início simultâneo da expansão por diferentes regiões dessa bolha.

b) *O Problema dos Monopólos Magnéticos*: Estas partículas surgem nas GUT's devido a desalinhamentos dos campos de Higgs entre diferentes pontos de espaço. Ora, como vimos, na inflação caótica, todo o Universo observável é apenas uma diminuta fracção da expansão exponencial de uma única região causalmente coerente (uma bolha) com dimensão $m_X^{-1} \sim 10^{26} \text{ cm}$, de modo que os pouquíssimos (possivelmente apenas um) monopólos magnéticos ali gerados foram varridos para além do horizonte.

⁽⁵⁾ O que não contradiz a Teoria da Relatividade Restrita, já que a velocidade de recessão em causa não está associada à propagação de qualquer sinal, mas sim à taxa à qual a expansão universal separa dois pontos distantes.

c) *O Problema das Heterogeneidades:* A inflação prevê que, em escalas muito maiores do que as do Universo observável — que é altamente homogêneo — se tenham regiões de elevada heterogeneidade, podendo-se atingir densidades $\rho (\propto M_p^4) \sim 10^{123} \cdot 10^{-29} \text{ g.cm}^{-3} = 10^{123} \rho_0$. Estas heterogeneidades, tal como os poucos monopólos magnéticos gerados na bolha inicial, seriam varridas para além do horizonte, o que significa que, com a inflação, deixa de haver necessidade para a existência de homogeneidade, inicialmente.

A inflação prevê, ainda, a existência das flutuações necessárias (decorrentes de irregularidades quânticas) para explicar as galáxias: efeitos quânticos sobre o vácuo quântico geram perturbações de ϕ , que, por sua vez, provocam perturbações de ρ que permitirão a formação de galáxias, desde que $m \sim 10^{-4} M_p$.

d) *O Problema do Achatamento:* Qualquer que fosse a «forma» do Universo no início da inflação, após uma expansão de 10^{10^8} , a geometria não poderá diferir discernivelmente da geometria plana ⁽⁶⁾. Assim, na Eq. (4), após a inflação, o termo de curvatura, k/R^2 , é muito menor do que o termo H^2 .

e) *O Problema da Singularidade:* Até mesmo o próprio evento do Big Bang poderá ser explicado pelo mecanismo inflacionário. O Princípio de Incerteza $\Delta E \Delta t \leq \hbar$ permite que se tome «emprestada» ao vácuo uma quantidade de energia ΔE durante um intervalo de tempo Δt , desde que essa energia seja «devolvida» em Δt . Para que o «nascimento» do Universo possa ser atribuído a um tal mecanismo de flutuação quântica do vácuo, é necessário que a energia total do Universo seja *exactamente nula* (num Universo fechado). Ora, a energia da radiação e da matéria é positiva e a energia gravitacional é negativa ⁽⁷⁾. À medida que o Universo se expande, a sua energia positiva vai diminuindo, devido ao arrefecimento da radiação e da matéria, enquanto que, concomitantemente, a sua energia

potencial gravítica vai aumentando, mantendo-se, evidentemente, a soma total nula ⁽⁸⁾.

Contudo, se o Universo surgiu de um vácuo quântico, associado à proto-espuma, ele, devido ao Princípio de Incerteza, deveria ter recolapsado quase que instantaneamente (e, possivelmente, todos os universos «que não deram certo» devem tê-lo feito). A inflação permite evitar esse colapso em diminutas regiões (as bolhas) da espuma quântica, fazendo com que o Universo como *um todo* (isto é, não só o nosso, mas todos os universos possíveis, emergentes da espuma) não tenha fim e possa, até, não ter tido um começo.

O mecanismo inflacionário caótico é tal que prevê que o Universo como um todo continua a produzir universos inflacionários eternamente, apesar disso ter que ocorrer em estados energéticos desfavoráveis, com o potencial $V(\phi)$ elevado ⁽⁹⁾. Um mini-universo produz, incessantemente, outros e mais outros mini-universos (alguns dos quais, eventualmente, colapsam). Desse modo, deixa de ser necessário, a rigor, supor que haja, em algum instante, um primeiro mini-universo a surgir do nada ou de uma singularidade inicial. Da espuma quântica, surgem constantemente novos universos, sempre que $V(\phi)$ exceda a densidade de Planck ($\propto M_p^4$) e, apesar de universos sem conta poderem reverter à espuma, alguns deles — e nós sabemos que pelo menos um o fez — como resultado de uma grande flutuação de ϕ , continuaram a expandir-se durante tempo suficiente para que se desenvolvesse toda uma bioquímica de carbono.

⁽⁶⁾ Tal como uma superfície flexível, que, ao ser esticada, é desenrugada, isto é, tem a sua curvatura diminuída.

⁽⁷⁾ Quando um corpo se aproxima, a partir do infinito, onde a sua energia potencial gravitacional é nula, de um outro na origem, a sua energia potencial gravitacional vai-se tornando cada vez mais negativa.

⁽⁸⁾ Toda esta argumentação é puramente heurística, não tendo qualquer base rigorosa, já que o conceito de energia *total* do Universo não faz sentido. (De facto, como é que se poderia medir essa energia?)

⁽⁹⁾ O reservatório energético que sustenta esse processo é justamente a gravitação, devido ao facto dela procurar sempre tornar-se mais e mais negativa.

6. Universos com Diferentes Dimensões, Diferentes Topologias, Diferentes Físicas

Além da auto-reprodução contínua do Universo como um todo, o modelo inflacionário prevê, ainda, mutações, devido às quais não só a física de baixas energias poderá diferir de universo para universo, como até o número de dimensões de cada um desses universos poderá ser inteiramente arbitrário ⁽¹⁰⁾.

O que ocorre é que nas teorias de grande unificação (GUT's) existem diversos tipos de campos de Higgs, ϕ_i , $i = 1, 2, \dots, n$ e o potencial de cada um desses campos, $V(\phi_i)$, pode ter diferentes mínimos, nos quais cada universo poderá permanecer muito tempo. (No nosso Universo, muito mais tempo do que os 10^{10} anos de idade do nosso domínio observável). Como, por outro lado, as leis que governam as interações das partículas a baixas energias dependem dos valores dos ϕ_i , cada um dos diferentes mínimos corresponderá a uma física de baixas energias diferentes. Assim, na GUT baseada no grupo SU(5), por exemplo, que contém vários mínimos de profundidades quase iguais, numa das físicas de baixas energias — correspondendo a um desses mínimos — a simetria do grupo SU(5) poderá permanecer intacta (isto é, todos os ϕ_i permanecem nulos), enquanto que, em outras físicas (correspondendo a outros mínimos), poder-se-ão ter diferentes tipos de quebra de simetria, sendo que, em apenas um único dos mínimos, a quebra de simetria será aquela, observada por nós no nosso domínio espaço-temporal.

Como, durante a inflação, ocorrem flutuações em grande escala de todos os ϕ_i , daí resulta que o universo global subdivide-se num número exponencialmente elevado de mini-universos, nos quais os campos ϕ_i assumem todos os valores possíveis. Quando, em alguns desses mini-universos, cessa a inflação, os ϕ_i 'rolam' em direcção a todos os mínimos possíveis, dando lugar a todas as quebras possíveis de simetria e, conseqüentemente, a todos os tipos possíveis de físicas de baixas energias.

O quadro geral é, pois, de um universo global subdividido em domínios exponencialmente grandes, cada um dos quais com físicas de baixas energias que poderão diferir substancialmente de domínio para domínio ⁽¹¹⁾.

Um outro tipo de mutação pode ocorrer durante a inflação, desde que se considerem teorias do tipo Kaluza-Klein em dimensões mais elevadas. Assim, num universo inflacionário a d-dimensões, nos domínios em que $V(\phi)$ cresce até $\sim M_p^4$, as flutuações quânticas da métrica, numa escala de comprimento $M_p^{-1} \sim 10^{-33}$ cm, tornam-se da ordem de um. Nesses domínios, o universo d-dimensional pode ser «comprimido» localmente num tubo com d-n dimensões (e vice-versa: um tubo com d-n dimensões pode ser «dilatado» até d+p dimensões) e se esse tubo também for inflacionário, a sua expansão subsequente será inteiramente independente, tanto do passado, como do futuro do seu universo matriz a d-dimensões. Desse modo, o universo inflacionário subdivide-se em diferentes mini-universos, nos quais, por meio de diferentes compactificações, poder-se-ão produzir quaisquer dimensionalidades.

7. Conclusão

Descrever o Mundo, tentar fazer uma ideia coerente, de acordo com a (ainda pouca) evidência observacional e que permite previsões de futuras observações do cosmo à nossa volta — desde as suas mais remotas épocas, até o seu eventual mais longínquo futuro — essa a proposta, essa a meta, esse o entusiasmante objectivo da Cosmologia moderna.

Nós, aqui, vimos como a Cosmologia moderna nasce neste século e é filho legítima

⁽¹⁰⁾ Esse facto excluiria a necessidade de se ter que justificar como uma necessidade apriorística as quatro dimensões espaço-temporais do nosso universo.

⁽¹¹⁾ Isso leva a imaginar a possibilidade de «organizações inteligentes» inteiramente diferentes (e, portanto, incompatíveis entre si) de domínio para domínio.

(e inevitável) da representação geométrica da gravitação, a Teoria da Relatividade Generalizada. Vimos como as equações dessa teoria, na sua forma original, inalteradas pelo termo cosmológico, prevêm um Universo dinâmico, em contínua evolução a partir de uma singularidade espaço-temporal. Esse modelo cosmológico, baseado numa teoria estritamente clássica como a TRG — o chamado modelo padrão de um Big Bang quente — tem ocupado o centro do palco, tem desempenhado o papel de grande favorito, desde o seu aparecimento, até hoje setenta anos decorridos. E ele tem sabido corresponder a esse favoritismo, concordando plenamente com todas as observações realmente fundamentais e determinantes no domínio cosmológico.

De um modelo tão simples e estritamente clássico como esse, não é de esperar, todavia, que ele não traga, que ele não carregue consigo, dificuldades e problemas também fundamentais, também determinantes. Assim é, de facto, e seria rematada ingenuidade supor, que esse não fosse o caso.

Muitas vias (quase todas artificiais e pouco convincentes) têm sido, ao longo dos anos, propostas para tentar resolver as dificuldades, para eliminar os problemas próprios do modelo padrão ⁽¹²⁾. Desde logo ficou claro que seria necessário (e desejável) incorporar uma descrição quântica, certamente pelo menos nos domínios de momento-energia — e, portanto, de espaço-tempo — em que a descrição clássica é sabidamente insatisfatória e mesmo não aplicável.

Vimos, então, como desde o início desta última década tem ganho corpo uma série de modelos dito inflacionários que, ao continuarem, por um lado (e 'à faute de mieux'), a tratar a gravitação em termos clássicos e no contexto da TRG — e, portanto, não permitindo investigações para trás da era de Planck — incorporam, adicionalmente, fenómenos quânticos na descrição dos primeiros estágios do Universo. Esses modelos, que se pretendem (e são-no) necessariamente menos ingenuos, embora ainda muito simplificados

(simplórios?), dão conta essencialmente de todas as dificuldades inerentes ao modelo puramente clássico. Têm eles — pelo menos para os seus proponentes e defensores — algumas vantagens de princípio, muitas delas ainda não plenamente desenvolvidas e exploradas, tal como a de poder evitar falar-se num «início» para o Universo como um todo; tal como a de evitar (de maneira um tanto *ad hoc*, convenhamos) a singularidade inicial; tal como a de não exigir que o número de dimensões espaço-temporais seja necessariamente igual a quatro e ainda várias outras.

Este é um esquema ainda por investigar em pormenor e no qual, a partir de mini-universos constantemente a inflarem e a desinflatem à escala quântica — bolhas quânticas numa espuma pré-geométrica — podem-se construir cenários nos quais alguns desses mini-universos se expandam o suficiente e durante suficiente tempo para que se pudesse desenvolver toda uma bioquímica do carbono, a qual, eventualmente, proporcionou — pelo menos na periferia de uma certa galáxia espiral — que algumas estruturas baseadas nessa bioquímica se lançassem a propor esquemas e cenários representativos da história universal.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BURAS, A., ELLIS, J., GAILLARD, M. K. e NANOPOULOS, D. V. — *Nucl. Phys.*, **B135**, 66 (1978).
- [2] GUHT, A. H. — *Phys. Rev.*, **D23**, 347 (1981).
- [3] STAROBINSKY, A. A. — *Pis'ma Zh. Eksp. Teor. Fiz.*, **30**, 719 (1979) [*JETP Lett.* **30**, 682 (1979)].
- [4] LINDE, A. D. — *Phys. Lett.*, **B108**, 389 (1982).
- [5] ALBRECHT, A. e STEINHARDT, P. J. — *Phys. Rev. Lett.*, **48**, 1220 (1982).
- [6] LINDE, A. D. — *Phys. Lett.*, **B129**, 177 (1983).
- [7] LINDE, A. D. — *Phys. Today*, **40** (9), 61 (1987).
- [8] LINDE, A. D. — *Phys. Lett.*, **B162**, 281 (1985).

⁽¹²⁾ Um dos problemas não considerados por nós aqui é o que diz respeito à patente assimetria matéria-antimatéria, não prevista pelo modelo padrão.

Os estudantes portugueses do Lab. Curie no Instituto do Rádio, em Paris, e os Pioneiros do Estudo do Cancro em Portugal (*)

KRYSTYNA KABZINSKA

Directora da Casa-Museu de Mme. Curie em Varsóvia

Je désire vivement que la radioactivité, cette science née en France, puisse s'y développer. Pour cela, il est nécessaire qu'il soit créé un Institut du Radium, affecté spécialement aux recherches scientifiques sur la radioactivité et sur ses applications.

MARIE SKLODOWSKA-CURIE, 1912

Ao terminar em 1883 os seus estudos no liceu governamental de Varsóvia, Marie Skłodowska, que tinha no seu diploma menções honrosas confirmadas pela medalha de ouro concedida apenas aos melhores estudantes, não fazia ideia da direcção em que iria prosseguir os seus estudos. As ciências exactas, as letras e a sociologia atraíam-na de igual modo. Esses interesses tinham nascido no seio da sua casa natal onde o amor das ciências era complementado por um profundo patriotismo bem como pelo amor da liberdade e da verdade. O avô e o pai de Marie eram professores de Física e de Matemática em escolas de rapazes, e a mãe dirigia uma das melhores escolas para raparigas. O primo de Marie, o químico J. J. Boguski, aprofundava os seus conhecimentos no Laboratório de Dmitri Mendeleiev e tornou-se depois chefe do laboratório de Física no Museu da Indústria e da Agricultura em Varsóvia. Este era, na época, um organismo de investigação de alto nível que reunia o mundo científico de Varsóvia após as autoridades czaristas terem encerrado as escolas superiores da Polónia como represália pela grande insurreição nacional polaca dos anos 1863-1864. Foi ali, trabalhando no laboratório, que Marie Skłodowska aprendeu os fundamentos da análise química qualitativa e quantitativa que lhe vieram a ser tão úteis, mais tarde, nos seus trabalhos de separação e purificação dos elementos recém-descobertos tais como o polónio e o rádio. Os cursos ministrados pela Uni-

versidade Ambulante que funcionavam no Museu permitiam aos jovens polacos aprofundar os seus conhecimentos sobre a Polónia e o mundo, conhecimentos esses que não podiam ser obtidos na escola. Entre estes jovens encontravam-se as três irmãs Skłodowski e as suas numerosas amigas. É delas que Stefan Zeromski, grande escritor polaco, iria escrever no seu diário: *Foi a primeira vez que me foi dado ver raparigas sensatas. É belo, cheio de nobreza e ...de tal forma jovem, de tal forma fresco, tão claro, com um sorriso cheio de calor na face. Elas falam-nos sem corar e sem limitações...* [1]. Uma das irmãs, bem como o irmão de Marie, criados neste ambiente, vieram a ser médicos, outra irmã dedicou-se ao ensino, e Marie tomou em definitivo a decisão de estudar Física e Matemática na Sorbonne. Passados anos, nas cerimónias da comemoração do 25.º aniversário da descoberta do rádio, o Prof. Jean Perrin, descrevendo o caminho percorrido por Marie Skłodowska-Curie até atingir o cume da glória, dirá: *No momento em que, após vários anos de estudo na nossa Universidade de Paris, Mme. Skłodowska-Curie iniciava trabalhos de investigação de laboratório ...eu queria falar-vos de como a pequena estudante polaca, atraída para o nosso país pelo seu amor*

(*) Este artigo foi publicado em polaco na revista *Kwartalnik Historii Nauki i Techniki*, 33 nr 1 (1988). Tradução do francês por F. Parente.

ardente da Ciência e da Liberdade, se fixou definitivamente entre nós; e contar-vos-ei também como, mais tarde, aquando da grande Prova, ela soube servir nobremente as suas duas pátrias [2]. As condições em que Marie Sklodowska-Curie efectuava as suas pesquisas iriam evoluir consideravelmente durante os seus longos anos de trabalho. Com o seu marido Pierre Curie iria fazer descobertas que constituíram um ponto de viragem na Ciência num hangar da rua Lhomond. Nessa época em que, para extrair alguns miligramas de rádio, eram necessárias toneladas de pechblenda, os esposos Curie tinham como colaboradores, na qualidade de preparadores de laboratório, Georges Bémont e, um pouco mais tarde, o jovem talentoso e entusiasta André Debierne, químico francês, que viria a descobrir o actínio e que



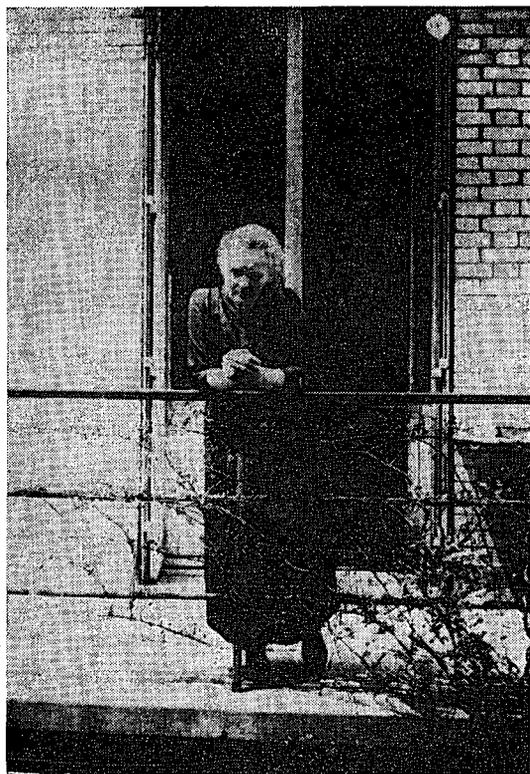
A família dos Sklodowski. Marie Curie está à esquerda da fotografia. (Arquivos do Museu Marie Sklodowska-Curie).

foi, durante muitos anos, seu companheiro de trabalho no Laboratório Curie. Um dos investigadores de Química na Sorbonne, relembrando o local da o local da rua Lhomond numa carta

dirigida a Marie Curie na ocasião do 25.º aniversário da descoberta do rádio, escrevia: *Recordo-me da energia com que empreendestes o tratamento industrial da pechblenda num hangar aberto a todas as correntes de ar* [3].

A celebridade crescente e o prestígio adquiridos pelo laboratório atraíam outros franceses (A. Laborde, J. Danne, L. Dunoyer, E. Bauer). Vieram também os primeiros estrangeiros (W. Duane, E. Gleditsch, S. Lind, L. Kolovrat) e, entre eles, quatro polacos (J. Danysz, L. Wertenstein, H. Herswinkiel, M. Kembaum). Apesar de as condições de trabalho serem tão peníveis e do número insuficiente de colaboradores, Marie Curie publicou nessa altura mais de 60 trabalhos. Este período difícil de trabalho científico, tornado ainda mais duro devido às preocupações financeiras permanentes, fez com que, até ao fim da sua vida, Marie Curie não cessasse de reclamar para os cientistas jovens condições apropriadas para terem sucesso na investigação. Quando Marie Curie foi nomeada em 1909 professora na Universidade de Paris, o laboratório foi transferido para a rua Cuvier, o que fez melhorar consideravelmente as condições de trabalho. O aumento das instalações com equipamento mais moderno permitiu-lhe fazer crescer o pessoal do laboratório. Um dos seus discípulos portugueses, M. Marques Teixeira, futuro professor da Faculdade de Ciências do Porto, descreve de memória no seu artigo *Um semestre no Laboratório de Madame Curie* as silhuetas mais características dos seus companheiros de trabalho de 1914: um belga com o aspecto de um camponês flamengo, uma parisiense — grande pedagoga, um russo que gostava de assobiar e de passear pelos compartimentos exíguos expondo-se às críticas indignadas dos colegas, assim como um romeno que tentava empreender com M. Teixeira uma conversa na sua língua materna dada a semelhança entre o latim, o romeno e o português. Marie Curie rodeava cada um deles de cuidados atentos, permitindo que se equipassem com os instrumentos de pesquisa o mais modernos possível, como no caso de M. Teixeira a quem Marie Curie deu a possibilidade de efectuar experiências com uma balança sensível inven-

tada por Pierre Curie, munida de um cristal de quartzo piezo-eléctrico. Controlados de forma discreta e corrigidos pacientemente por Marie Curie nos seus cálculos por vezes errados, os discípulos de Marie Curie não se contentavam com o benefício da sua ajuda no laboratório: seguiam ainda cursos teóricos sobre a radioactividade que incluíam entre outras coisas a metodologia da investigação e muitos problemas conexos, como a electrólise, a condutividade eléctrica dos gases, a teoria da ionização, a teoria cinética dos gases, a teoria de Bravais sobre a estrutura dos cristais, as equações de Maxwell e os fundamentos da teoria da relatividade. Os cursos eram ilustrados com excelentes experiências realizadas pelo assistente de



Marie Skłodowska-Curie no terraço do seu laboratório. (Arquivos do Museu MSC).

Marie Curie, Fernand Holwek. M. Teixeira descreve a silhueta delgada de Marie Curie, o seu perfil característico, mas sobretudo a atmosfera que ela sabia criar, *uma atmosfera de amor e de liberdade, de amor da família, de amor pela humanidade* [4]. Na sua dissertação apre-

sentada ao concurso para o lugar de assistente de Física, intitulada *Manipulações de radioactividade* (Porto, 1914). M. Teixeira presta homenagem a Marie Curie pelo esforço dispendido para a separação do cloreto de rádio das toneladas de minério de urânio: *Difícilmente creio que haja na história da Ciência uma descoberta que tenha exigido tanta paciência e método de trabalho* [4]. Observando o zelo dos seus discípulos e a sua dedicação, Marie Curie fazia tudo ao seu alcance para criar em Paris um Instituto do Rádio que permitiria desenvolver uma maior actividade científica no domínio das propriedades físicas e químicas dos corpos radioactivos e da irradiação de outras substâncias, incluindo os organismos vivos. A decisão que instituiu o Instituto do Rádio como organismo dependente da Universidade de Paris foi tomada em 1912. O Instituto foi construído num terreno de cerca de 2000 m² entre a rua de Ulm e uma nova rua à qual foi dado o nome de Pierre Curie. O Instituto continha dois laboratórios — um destinado aos trabalhos físico-químicos dos corpos radioactivos — Laboratório Curie — e o segundo dedicado às investigações biológicas destes corpos e às aplicações em medicina — Laboratório Pasteur, dirigido pelo Dr. C. Regaud. No edifício principal encontrava-se uma sala de aula para 80 pessoas, a biblioteca, uma colecção de amostras, uma oficina, cerca de 20 salas pequenas destinadas aos trabalhos de investigação e o laboratório do Serviço de medidas destinado à execução de medidas para fins científicos, industriais e comerciais. Junto do gabinete de Marie Curie encontrava-se a escada que mais tarde se tornou lendária. Quando os seus jovens colaboradores lhe queriam perguntar qualquer coisa ou pedir-lhe conselho, aproveitavam o momento em que ela aí passava e, segundo contam nas suas memórias, *acontecía que ao grupo se juntava outro físico, depois um químico, e a seguir ainda outras pessoas e começava uma discussão. Marie Curie sentava-se então num degrau da escada rodeada por um grupo de cientistas...* [5].

O segundo pavilhão, mais pequeno, abrigava os aparelhos destinados a recolher as

emanações do rádio e as suas soluções, e laboratórios de química e de espectroscopia. De acordo com os termos de Marie Curie, o arquitecto da Universidade gostava de chamar a este pequeno pavilhão «Santuário do Rádio». Quem que quer que tivesse algum contacto com o Laboratório Curie ficava impressionado com o carinho demonstrado por Marie Curie pelo seu local de trabalho. Recordando o tempo em que trabalhou com a sua mãe, Irène Joliot-Curie afirma: *Marie Curie queria fazer do seu local de trabalho não apenas um importante centro de investigação, desejava também que ele fosse um agradável local de trabalho; a maior parte das salas eram claras e alegres. Apesar da falta de espaço, ela tinha tido o cuidado de plantar árvores ao longo do edifício e na pequena parcela que separava o Laboratório Curie do Laboratório Pasteur. Este jardim era um local de discussões e de encontros dos trabalhadores durante os belos dias de primavera e de outono, e muitas vezes também a minha mãe, apoiada contra a balaustrada do terraço do seu laboratório, tomava parte na discussão geral. Quando o tempo o permitia, as reuniões de trabalho do Laboratório consagradas a uma tese de doutoramento e a discussões científicas efectuavam-se no jardim; transportava-se então mesas e os vidros do laboratório serviam de copos para o chá e as tinas fotográficas enchiam-se de biscoitos* [6].

Marie Curie considerava o trabalho e a Natureza como um todo, o que encontra a melhor ilustração nestas palavras do mecânico Lucien Desgranges que trabalhou com ela muitos anos: *Marie Curie ia ao jardim e media com um cordel especialmente preparado para esse fim a circunferência das suas cinco tílias preferidas. Marcava com um sinal especial o resultado das medidas no cordel. Observava assim com precisão científica o desenvolvimento das árvores* [5]. A primeira guerra mundial rebentou logo após ter terminado a construção do Laboratório. Marie Curie ficou só: ajudada por um único preparador de laboratório e pela sua filha Irène, transportou os aparelhos, as amostras e os documentos da rua Cuvier para as novas instalações. A interrupção

provocada pela guerra e as dificuldades financeiras tiveram como efeito que o Instituto só começou a desenvolver-se verdadeiramente a partir de 1920, quando foi instituída a Fundação Curie-Carnegie; foi assim possível satisfazer melhor as necessidades crescentes do



Marie Sklodowska-Curie na solenidade de inauguração do Instituto do Rádio em Varsóvia. (Arquivos do Museu MSC).

organismo científico que estava em constante desenvolvimento. Tornou-se mais fácil adquirir os novos aparelhos, os equipamentos mais modernos bem como as intensas preparações radioactivas. O trabalho dos laboratórios Curie e Pasteur tinha-se especializado em substâncias radioactivas. O problema fundamental e ao mesmo tempo mais difícil consistia em obtê-las em estado puro e na sua identificação. O preço de um grama de rádio tinha atingido 3000 dólares em 1902 e 150 000 dólares em 1914, cerca de um milhão de francos. Isto significava que um miligrama de brometo de rádio hidratado custava 400 francos e o preço da mesma quantidade de mineral não tratado era de 100 francos. Nesse tempo o Laboratório Curie dispunha de 1 grama de rádio proveniente dos trabalhos dos esposos Curie. *Todo o rádio que se encontra*

actualmente no Laboratório Curie provem apenas de uma origem. Foi preparado a partir de minerais adquiridos por Pierre Curie e por mim em condições excepcionais, escreve M. Curie em 1918, apresentando na ocasião um relatório das despesas incorridas na sua obtenção, que ela avalia em 83 000 francos [7].

1. Despesas efectuadas por P. Curie e por mim, cerca de	10 000 f
2. Subsídios (Academia das Ciências, Sociedade de Encorajamento, anónimo)	28 000 f
3. Dádivas privadas (M. de Rotschild, M. Armet de Lisle)	30 000 f
4. Contribuição da Faculdade de Ciências	15 000 f
Total	83 000 f

A mais valia de cerca de 900 000 francos foi comentada da forma seguinte por Marie Curie: *Pode concluir-se que, não atingindo as*



A Prof.ª Doutora Branca Edmée Marques (1899-1986) durante a sua estadia em Paris. Especialista em Química Nuclear e Radioquímica, Professora da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. (Arquivos do Museu MSC).

despesas materiais o total de 100 000 f e sendo o valor da substância obtida de cerca de um milhão de francos, a diferença, 900 000 f pelo menos, representa a mais valia resultante do valor da descoberta bem como do nosso trabalho pessoal (P. Curie e M. Curie) de vários anos [8]. Se Marie e Pierre Curie tivessem obtido a patente da sua invenção da separação dos sais de rádio dos minerais de urânio, teriam certamente adquirido uma riqueza igual à sua celebridade. Contudo, Pierre e Marie Curie distribuíam este rádio, partilhando-o com quem dele precisasse e pudesse trazer uma contribuição para o desenvolvimento da nova disciplina científica, nomeadamente a ciência por eles criada da radioactividade. Após terem verificado que a radiação proveniente do rádio actuava sobre os tecidos vivos, enviaram amostras de rádio ao dermatólogo Dr. Daules, ao oftalmologista Dr. Joval e ao neurologista Dr. Raymond para o estudo das suas potencialidades terapêuticas. Do mesmo modo, Becquerel, regressado, após uma interrupção, ao domínio da radioactividade, bem como Ernest Rutherford, tinham obtido dos esposos Curie rádio a título gracioso. O próprio Rutherford tinha declarado que todo o seu trabalho sobre a dispersão de raios alfa teria sido um fracasso se não tivesse recebido dos esposos Curie uma fonte radioactiva suficientemente intensa [9]. A preocupação desinteressada de Marie Curie pelo desenvolvimento científico dos seus colaboradores exprimiu-se da melhor forma através da sua vontade de reservar uma parte do rádio que possuía para os trabalhos de André Debierne. Esta medida foi explicada nos seguintes termos: *Agindo assim, não faço mais do que um acto de justiça para com M. Debierne que prestou serviços consideráveis com as suas descobertas no domínio da radiactividade e também pelo desenvolvimento do tratamento industrial do rádio, graças ao qual a extracção se pôde passar a fazer em boas condições* [8]. Nos anos seguintes a quantidade de rádio de que dispunham aumentou consideravelmente graças às dádivas do Governo Francês, das mulheres americanas bem como de outros doadores.

Nos primeiros anos de aplicação da Curie-terapia, o rádio era a única fonte de radioactividade utilizada em medicina. Como reconhecimento dos méritos neste domínio, por ocasião do 25.º aniversário da descoberta do rádio, o Governo Francês pela primeira vez atribuiu



Prof. Doutor Manuel José Nogueira Valadares (1904-1982). Professor da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, demitido em 1947 por motivos políticos. Director do Centro de Espectrometria Nuclear e Espectrometria de Massa de Orsay. (Arquivos do Museu MSC).

5 gramas de rádio aos centros provinciais de tratamento do cancro (Lião, Marselha, Bordéus, Clemont e outros). As dificuldades resultantes da demora na obtenção das substâncias radioactivas raras: rádio D, polónio, actínio, iónio, protoactínio, foram reduzidas um pouco após a construção do Laboratório Curie em Arcueil, destinado a efectuar o tratamento químico de uma maior quantidade de matéria. Assegurar os meios para a actividade fundamental do Instituto, obtendo-lhe as fontes radioactivas apropriadas, não era a única preocupação de Marie Curie. Como escreveu Irène Joliot-Curie:

As dificuldades que se acumulavam para a minha mãe obter os recursos materiais para os trabalhadores científicos perante o número insuficiente de bolsas de pequeno montante, faziam-na desesperar [6]. O número destes trabalhadores tinha atingido quarenta, constituindo os estrangeiros uma percentagem considerável. Marie Sklodowska-Curie considerava como seu dever acolher no seu laboratório os sábios que lhe eram enviados pelos organismos científicos estrangeiros para estudar a acção radioactiva do rádio. Pelo Laboratório de M. Curie passaram numerosos representantes de 25 nacionalidades. O Prof. Moisse Haissinsky cita 15 colaboradores de nacionalidade não francesa que ele tinha encontrado no Laboratório Curie: *Dois russos, um polaco, um inglês, um jugoslavo, um romeno, uma suíça, um alemão, um belga, três chineses, um iraniano, um indiano, uma austríaca, dois portugueses e uma grega* [5]. Todos tinham sido atraídos pela celebridade do laboratório, pelo desejo de adquirir a sabedoria «na fonte». Uns pretendiam conhecer em alguns meses a técnica da radioquímica ou da medida de actividade, outros dedicavam a sua estadia mais prolongada à preparação de teses de doutoramento. Entre estes últimos alguns, como por exemplo os portugueses M. Teixeira, Mário Augusto da Silva, Manuel Valadares, Branca Edmée Marques e Aurélio Marques da Silva, vieram a tornar-se mais tarde professores de escolas superiores do seu país. O número dos que desejavam colaborar com Marie Curie aumentava sempre mais rapidamente do que as possibilidades de lhes ser assegurado um emprego. Tanto mais que Marie Curie dava muita importância à selecção dos colaboradores, considerando que a disposição psicológica do candidato constituía o factor mais importante no trabalho científico.

Para caracterizar as relações existentes no Laboratório Curie, Manuel Valadares, que se tornou mais tarde director do Centro de Espectroscopia Nuclear e de Espectrometria de Massa de Orsay (CNRS), afirmou: *Recordando-se das imensas dificuldades que teve de ultrapassar no início da sua carreira, ela acolhia sempre*

os jovens investigadores com uma solicitude extraordinária. É necessário acrescentar que durante os primeiros meses ela observava atentamente o seu trabalho. Se se convencia que o «novo» não possuía qualificações suficientes para se tornar investigador, ou, o que também sucedia, que ele tinha entrado para o Laboratório Curie para mais tarde se gabar de ter trabalhado sob a direcção de Marie Curie, ela sabia encontrar a maneira mais delicada de lhe dizer que muitos outros desejavam ocupar aquele lugar. Se, ao contrário, verificava que o «novo» estava impregnado do



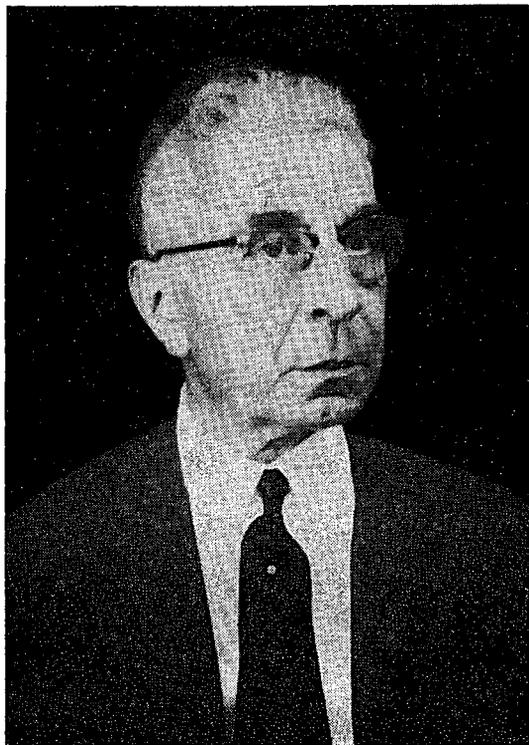
Prof. Doutor Mário Augusto da Silva (1901-1977). Professor da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra, passado compulsivamente à reforma em 1948 por razões políticas. Nomeado em 1971 Director do Museu da Ciência e Tecnologia de Coimbra. (Arquivos do Museu MSC).

vírus da investigação científica, ela interessava-se pelo seu trabalho e pela sua pessoa [5]. A delicadeza que Marie Curie utilizava nos seus contactos com os jovens tinha impressionado Valadares desde o primeiro encontro: Sem interromper com uma única palavra o pedido

que eu lhe fiz, hesitando e repetindo-me horrivelmente, ela começou depois a falar baixo, de uma forma quase inaudível. Foram-lhe suficientes alguns minutos para modificar completamente o ambiente, para que os meus receios e a minha timidez desaparecessem. Marie Curie tinha conseguido convencer-me que, ao contrário do que eu pensava, não era ela que me prestava um serviço mas eu próprio ao pretender trabalhar no seu Laboratório. Aprendi mais tarde que era esta a sua maneira habitual de receber os jovens [5]. Esta «maneira» resultava de profundas reflexões, de uma longa experiência e da sua atitude benévola que se exprimia na necessidade de dar aos jovens uma oportunidade se eles eram dotados e tinham valor.

Marie Curie prestava muita atenção à escolha dos quadros e ao desenvolvimento científico, levantando este assunto muitas vezes no forum público, como na nota apresentada à Comissão de Cooperação Intelectual da Sociedade das Nações em 1926: *Frequentemente o candidato não possui, para lá da instrução geral atestada por diplomas universitários, nenhum conhecimento específico que o recomende para um trabalho determinado. Frequentemente também, ele apresenta-se num determinado laboratório, seduzido pela linha geral da sua actividade, mas sem possuir uma ideia precisa de um trabalho a empreender... nestas condições, não há qualquer utilidade em estabelecer com grandes esforços e grandes custos materiais um projecto de trabalho novo para o candidato... Pelo contrário, é vantajoso e económico integrá-lo num dos grupos de trabalho existentes em que se preveja uma vaga. O candidato poderá, em primeiro lugar, colaborando com os trabalhadores mais antigos, adquirir a experiência que lhe falta; depois de alguns meses ele ter-se-á dado a conhecer e conhecerá a fundo o laboratório; o director do laboratório estará então em estado de julgar se ele deve ser encorajado a continuar e se lhe pode confiar, no interior de um grupo, uma parte de trabalho independente. Se o valor do candidato parece excepcional e se este faz prova de ter ideias originais, poderá achar interessante confiar-lhe um tra-*

balho fundamental ou mesmo incorrer em relação a ele em despesas de instalação de um trabalho e de um grupo novo. Contudo, isto constituiria uma excepção rara e não devemos esquecer que o número de trabalhadores que podem trazer ideias originais e concepções



Prof. Doutor Aurélio Marques da Silva (1905-1965). Professor da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, demitido em 1947 por motivos políticos. (Arquivos do Museu MSC).

novas é muito mais pequeno que o número dos que podemos empregar utilmente na prossecução de trabalhos de laboratório sob uma direcção conveniente. Seria errado basear a organização da investigação no emprego exclusivo de individualidades excepcionais. Estes seres «excepcionais» não são suficientemente numerosos para assegurar a produção científica dos laboratórios, o que é muito natural se pensarmos no conjunto de condições intelectuais e morais que devem possuir para enfrentarem o seu trabalho. Na minha opinião, o problema não consiste em exigir antecipadamente a todos os candidatos qualidades excepcionais, mas em assegurar a produção nos

laboratórios concedendo simultaneamente oportunidades de se manifestarem a todos os valores excepcionais entre os candidatos, aos quais se exigiria apenas bons certificados de estudos superiores e recomendações de cientistas ou professores que mereçam confiança [10].

Conhecendo a benevolência de Marie Curie pelos jovens diplomados dotados e pelos cientistas principiantes, as universidades de numerosos países esforçavam-se por lhes enviar os seus melhores candidatos. Em 1925 a Universidade de Coimbra recomendou-lhe o assistente da Faculdade de Ciências Mário da Silva que havia terminado os seus estudos de Ciências Físico-Químicas três anos mais cedo com a classificação de 19 valores. Recomendado por este diploma e gozando do apoio da Universidade de Coimbra, Mário da Silva trocou as primeiras cartas com a futura directora da sua tese de doutoramento.

Carta de M. Curie a M. da Silva [11]:

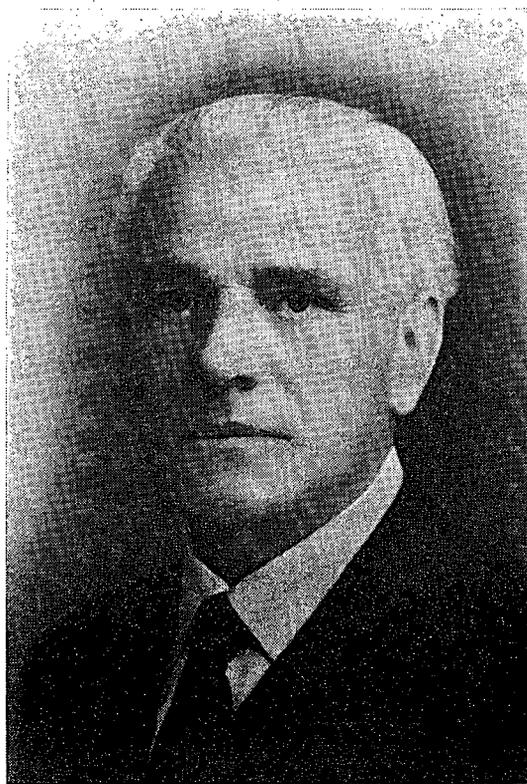
Caro Senhor, V. pediu a sua admissão para trabalhar no Laboratório Curie do Instituto do Rádio com o objectivo de aprender técnicas e para efectuar investigação pessoal. Para prestar um serviço à Universidade de Coimbra que lhe confiou esta missão, estou disposta a dar a minha concordância à sua missão ainda que o seu pedido tenha sido efectuado demasiado tarde, quando a organização do ano escolar já estava, em princípio, terminada. Receba as minhas sinceras saudações.

M. Curie

Marcel Laporte tinha sido designado por M. Curie tutor particular de Mário da Silva. Era o assistente que conduzia as demonstrações das experiências durante as aulas. Ora o projecto da Universidade de Coimbra era de que M. Silva pudesse, ao regressar ao país, ensinar um curso moderno de Física. Respondendo a este pedido, Marie Curie fez de M. Silva adjunto de M. Laporte. Mário da Silva não decepcionou quem nele confiou. Terminou com aproveitamento o curso de Física Teórica, sob a direcção de Marie Curie, e, em 1929, defendeu a sua Tese de Doutoramento sobre o tema

«Investigações experimentais sobre a electroafinidade dos gases» com a menção «très honorable». Marie Curie, que muito admirava os valores intelectuais de M. Silva, desejava conservá-lo como seu assistente, mas a Universidade de Coimbra estava interessada no seu rápido regresso ao trabalho. As vantagens tiradas da cooperação com Marie Curie deram frutos durante muito tempo. De regresso de Paris, Mário da Silva foi encarregado das cadeiras de Física e, em 1931, foi nomeado professor e director do Laboratório de Física.

Os sucessos científicos dos seus discípulos confirmavam Marie Curie na sua convicção de



Professor Manuel Marques Teixeira de Oliveira (1889-1967). Professor da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

criar posições de investigação especializada, como ela tinha referido na comunicação atrás citada, dando como exemplo, entre outros, o seu Instituto bem como o Laboratório Criogénico de Leyde que ela conhecia bem por lá ter efectuado em 1913 com Kammerlingh

Onnes as medidas da constante de decaimento do rádio à temperatura do hidrogénio líquido. Marie Curie tinha perfeita consciência de que a actividade de um organismo científico resulta principalmente da personalidade do seu director. Como afirmou o Prof. Moisse Maissinsky, *como directora, Marie Curie era um fenómeno excepcional e não só para a época. Ela soube dirigir um imenso Instituto e os seus numerosos laboratórios de Física e de Química, sabendo tudo o que aí se fazia, conhecendo todos os detalhes do trabalho que nós efectuámos. Ela inspirava, dava indicações, dirigia, deixando ao mesmo tempo aos jovens a iniciativa e a liberdade de escolha do tema e dos métodos de trabalho* [5].

O prestígio do seu nome era tal que ela dava uma auréola de glória a tudo o que lhe estava ligado. O Prof. Georges Zbyszewski (Serviços Geológicos de Portugal) escreveu: *Em 1927, no fim do último ano do Liceu, fui aprovado nos exames do «Baccalauréat». Nessa altura houve uma greve dos professores do liceu em Paris. Foram assim encarregados os professores universitários da revisão das provas escritas. Segundo o que me foi dito, Marie Curie corrigiu as minhas provas de química atribuindo-lhes a nota 13* [12]. Um contacto, mesmo tão longínquo, enchia os jovens de emoção e ficava gravado nas suas memórias durante muito tempo. Por outro lado, aqueles eleitos a quem tinha sido dado colaborar com ela sublinham não só as vantagens tangíveis no plano científico, como também a extraordinária atmosfera de camaradagem e de amizade que ligava os trabalhadores do Laboratório Curie numa família unida.

Muitos anos depois, o Prof. Manuel Valadares recorda-se da noite de S. Silvestre de 1932/1933, passada entre os trabalhadores do seu Laboratório:

Na passagem do ano 32 a 33 um dos trabalhadores do laboratório teve a ideia de organizar uma reunião de todos nós. Transformou-se o laboratório grande numa sala de festas — colocaram-se mesas em volta de toda a casa e na noite de 31 de Dezembro todos

nos reunimos para ceiar nessa sala, e sentámo-nos à mesma mesa, indistintamente, Madame Curie, os chefes de trabalhos do Laboratório, todos os investigadores, todos os operários da oficina do Instituto, a porteira, até o próprio guarda da noite! Comemos, bebemos e dançamos até alta hora da noite na mais admirável das camaradagens [13].

O Instituto do Rádio dirigido por Marie Curie em Paris tornara-se um modelo de laboratório científico. Em 1931 o Instituto do Rádio em Coimbra inaugurou a sua actividade. Os autores do projecto, o Prof. Mário da Silva e o Professor de Medicina Álvaro de Matos, associando o Laboratório de Física da Faculdade de Ciências ao Hospital Universitário, que dependia da Faculdade de Medicina, inspiraram-se na concepção que tinha presidido à criação do Instituto de Paris. O equipamento dos gabinetes de diagnóstico radiológico e de radioterapia tinha sido projectado pelo eminente radiologista de Lisboa, Prof. Carlos Santos. A ideia da construção de um Instituto do Rádio em Coimbra tinha sido apoiada pelo Ministério das Finanças. O Ministro, general Sinal de Cordes, atribuiu a esse fim seiscentos mil escudos [14].

O Prof. Henrique Teixeira Bastos, director do Laboratório de Física, ultrapassava energeticamente as imensas dificuldades para equipar as instalações com aquecimento, ventilação e ar condicionado, para proporcionar aos futuros trabalhadores científicos as melhores condições de trabalho possíveis. Inicialmente tinha sido projectado confiar a direcção do Laboratório de Física ao eminente colaborador de Marie Curie, Salomon Rosenblum, tornado célebre pela descoberta da estrutura fina do espectro dos raios alfa, mas este projecto não pôde ser realizado. Não foi igualmente conseguida a presença de Marie Curie na cerimónia de abertura do Instituto. Marie Curie seguia com interesse o desenvolvimento deste tipo de instalações e apenas o seu imenso trabalho e a sua saúde enfraquecida fizeram com que não pudesse cumprir a promessa efectuada de visitar o Instituto de Coimbra. Em 1932 tinha sido inaugurado com a sua presença o Instituto do

Rádio em Varsóvia, cuja construção ela tinha encorajado e que ela dotara de 1 grama de rádio que lhe tinha sido oferecido para esse fim pelas mulheres americanas.

Apesar das imensas obrigações como professora e directora de um grande centro cientí-



Prof. Doutor João Alberto Pereira de Azevedo Neves.

fico, Marie Curie não tinha nunca parado de conduzir trabalhos pessoais, concentrando-se nos últimos anos da sua vida principalmente na metodologia da investigação e no aperfeiçoamento dos métodos de medida. Quando as medidas eram de grande responsabilidade, como por exemplo a verificação de amostras secundárias de rádio, solicitadas por diversas instituições científicas de vários países, Marie Curie considerava que era seu dever tomar parte pessoalmente nesses trabalhos. A sua preocupação constante era de obter fontes radioactivas muito intensas, indispensáveis para as investigações em desenvolvimento contínuo, conduzidas pelos seus discípulos e colaboradores. A medida do seu envolvimento no trabalho

dos subordinados, de como ela sabia nos momentos «quentes» integrar-se na cooperação com a alegria que sempre manifestava quando a pelas palavras de M. Valadares: *Quando Solomon Rosenblum teve necessidade de uma fonte radioactiva de muito boa qualidade para alargar a sua investigação, os químicos do Laboratório Curie abandonaram por algum tempo os seus trabalhos, a fim de o ajudar na sua investigação. Madame Curie deu o exemplo encarregando-se de preparar uma fonte a partir do actínio. No dia por ela fixado, viemos para o*



Prof. Francisco Branco Gentil (1878-1964). Fundador do Instituto Português de Oncologia.

Laboratório às 8 horas da manhã. Mme. Curie já aí estava desde as 6 horas: pegando na fonte, fomos a Bellevue onde existia um potente electro-íman indispensável para efectuar os ensaios [5]. Durante as medidas, verificou-se que o espectro era mais rico do que se esperava.

Roseblum, vendo no espectro seis riscas em vez das duas esperadas, pôs-se a dançar como um louco. M. Valadares foi então a Paris buscar uma segunda fonte que M. Curie estava a preparar. Marie Curie recebeu a novidade com alegria que sempre manifestava quando a ciência da radioactividade se enriquecia de novas aquisições dos seus alunos ou colaboradores, mesmo dos mais modestos. *Ela voltou-se rapidamente, diz M. Valadares, olhou-me com o sorriso mais belo que iluminou a sua face fatigada, dizendo: vou já preparar uma nova fonte ainda melhor. E pôs-se imediatamente ao trabalho [5].*

Para obter fontes intensas era necessário purificar com precisão as preparações radioactivas. Era um trabalho extremamente penoso, que requeria preparação teórica e precisão na manipulação. Marie Curie era sempre ajudada nestes trabalhos por um dos melhores químicos do Instituto do Rádio, S. Cotell, que orientava uma bolsreira de Lisboa, Branca Edmée Marques, a qual tinha iniciado o seu trabalho científico em 1930 e seria mais tarde Professora da Universidade de Lisboa. Durante três anos, Branca Marques colaborou com Marie Curie, ocupando-se dos problemas físico-químicos da separação dos sais puros de rádio dos sais de bário radífero. Não lhe foi infelizmente possível terminar estes trabalhos ainda em vida de Marie, tendo continuado a sua investigação sob a direcção de A. Dabierne, sucessor de Marie Curie na posição de Director do Laboratório Curie. O júri de exame que em 1935 classificou a Tese de Doutoramento de Branco Marques intitulada «Nouvelles recherches sur le fractionnement des sels de Barium radifère», concedeu-lhe a menção «très honorable». Durante a sua estadia em Paris, B. E. Marques seguiu os cursos de Maria Curie sobre a radioactividade (1931-1932) bem como os cursos de muitos outros eminentes cientistas. Sendo colaboradora de Marie Curie, Branca Marques tinha por ela uma imensa admiração e consideração. Dedicou-lhe a Tese de Doutoramento nos seguintes termos: *Permito-me exprimir aqui a homenagem reconhecida à*

memória de Mme. Curie. A minha admiração pela grande cientista que ela foi está ligada a um sentimento de gratidão pela ajuda e preciosos conselhos que não cessou de me conceder [15]. Marie Curie apreciava muito o trabalho de B. E. Marques, como vem expresso na carta endereçada em 1932 ao Presidente da Junta de Educação Nacional, na qual solicitava a prorrogação por um ano da estadia de Branca Marques em Paris [16]:

Atesto que Mme. Branca Edmé Marques trabalhou muito utilmente no meu Laboratório desde o início de Novembro de 1931. Marques utilizou de início o seu tempo para se pôr ao corrente da técnica de medidas no laboratório e para aprender os métodos utilizados no dosagem do rádio e do urânio em minerais. Ao verificar o cuidado com que ela se dedicou à sua tarefa, confiei-lhe desde há três meses uma pesquisa pessoal sobre e as condições em que se efectua o fraccionamento dos sais de bário radifero. Esta pesquisa tem por objectivo precisar as noções de coeficientes de fraccionamento e de separação que apareceram em alguns trabalhos anteriores relativos a esta questão.

O trabalho de Mme. Marques está a correr bem e penso que levará a resultados interessantes. Para poder continuá-lo, sei que Mme. Marques solicitou a prorrogação da bolsa de que beneficia actualmente, e penso ser desejável que obtenha essa prorrogação por mais um ano.

A Directora do Laboratório

(Assinado) Marie Curie

Como sucedeu com Branca Marques, Aurélio Marques da Silva, eminente físico português, não pôde terminar o seu trabalho sob a direcção de Marie Curie. Grande Professor e Educador, Aurélio da Silva foi para o Laboratório Curie em 1933, como Bolseiro do Instituto de Alta Cultura. Desde o primeiro ano da sua estadia em Paris seguiu o curso de Marie Curie «Iões, electrões e radioactividade», continuado após a sua morte por A. Debiene. Os outros professores do curso pertenciam às estrelas de

primeira grandeza da Física, e entre eles estavam os colaboradores e antigos alunos do Laboratório Curie: Frédéric Joliot, Paul Langevin, e ainda celebridades como Louis de Broglie, F. Perrin e E. Bloch. Após a morte de Marie Curie, Aurélio da Silva continuou a sua investigação sob a direcção de Frédéric Joliot. A sua tese de doutoramento «Contribuição para o estudo da materialização da energia», terminada em 1938 e distinguida com a menção «très honorable», incluía um esclarecimento crítico dos resultados das experiências realizadas até essa altura neste domínio e apresentava conclusões de trabalhos do próprio que não estavam em contradição com a teoria de Paul Dirac.



Instituto Português de Oncologia.

Os dois discípulos de Marie Curie, Aurélio da Silva e Manuel Valadares, pertenciam ao grupo de notáveis físicos jovens cujos trabalhos contribuíram para conduzir a um nível muito elevado o centro de investigação que veio a ser o Laboratório de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa, dirigido nessa altura pelo Prof. Cirilo Soares.

Ao mesmo tempo que se desenvolviam as ciências físico-químicas iniciadas pelos trabalhos de Marie Curie, registava-se um progresso contínuo na investigação sobre a utilização do rádio na medicina, particularmente no tratamento das doenças neoplásicas. Marie

Skłodowska-Curie, sempre sensível à miséria humana, acompanhava estas pesquisas com o seu saber e experiência, e milhões de homens no mundo seguiam com confiança e esperança os resultados da batalha travada pelas forças reunidas dos físicos e médicos. Em Portugal, iniciativas pioneiras tinham sido tomadas pelo Prof. Azevedo Neves. Quando se encontrava em 1901 na Alemanha onde se ocupava de trabalhos no domínio da citologia e da histologia sob a direcção de celebridades como o «patriarca da Medicina» Dr. Rudolf Virchow, bem como von Hauseman e Benda, travou conhecimento com as pesquisas conduzidas em grande escala sobre as afecções neoplásicas, consideradas como problema simultaneamente médico e social. Azevedo Neves iniciou imediatamente diligências para a instituição em Portugal de uma Comissão Nacional para o estudo do cancro. Com o considerável encorajamento do governo, esta comissão foi criada em 1904 e Azevedo Neves, que se tornou seu secretário geral, lançou a iniciativa de inquéritos em grande escala, no Continente e nos Açores e Madeira, com vista a determinar as dimensões do problema. Como resultado desta actividade, na qual tomaram parte 1739 médicos do Continente e Ilhas Adjacentes, foram registados 1188 casos de doença cancerosa. Os dados assim reunidos e os do exame de 98 000 casos clínicos observados por Azevedo Neves nos Arquivos do Hospital de S. José, foram apresentados estatisticamente em forma de tabelas por aquele cientista na Conferência Europeia para o Estudo do Cancro, reunida em Bruxelas em 1906. Pouco depois da publicação destes dados, Azevedo Neves foi nomeado Presidente da Organização Internacional para o Estudo do Cancro. Enquanto ocupava este posto publicou numerosos trabalhos sobre o cancro em revistas alemãs e portuguesas [17]. Graças ao saber, à energia e à dedicação do futuro director do Instituto Português de Oncologia, o Prof. Francisco Gentil, os trabalhos pioneiros de Azevedo Neves puderam ser prosseguidos. Como médico na Clínica do Cancro e 1.º secretário da «Sociedade de Ciências

Médicas», F. Gentil empreendeu uma vasta actividade de educação e organização para criar em Portugal um centro de investigação importante para a luta contra o cancro. Como resultado dos seus pacientes esforços, os primeiros laboratórios modestos de roentgenterapia e radioterapia, equipados graças a dádivas de particulares, transformaram-se em pouco tempo no Instituto Português de Oncologia, criado em 1923. Graças ao apoio financeiro do «Instituto de Seguros Sociais», o Instituto de Oncologia inaugurou as suas actividades em Benfica-Palhavã em dois edifícios, o primeiro construído em 90 dias e o segundo em menos de cinco meses. O Instituto foi equipado com aparelhos para roentgenterapia e para diagnóstico radiológico, estando provido de 1800 mg de rádio. O patrocínio do Instituto ficou a cargo de D. Maria Henriqueta Álvares Pereira de Melo, proprietário do terreno em que foi construído o Instituto.

O desenvolvimento do Instituto foi acelerado consideravelmente graças ao encorajamento pessoal e ao interesse do primeiro ministro Oliveira Salazar que ajudou à construção do terceiro edifício em 1936. Contudo o sonho compreensível dos trabalhadores do Instituto de criarem um centro científico de nível mundial só se pôde realizar após a entrada em serviço em 1948 de um vasto pavilhão hospitalar. Actualmente o Instituto Português de Oncologia é, na opinião de numerosos especialistas de renome mundial, um dos melhores centros do género na Europa, se não do mundo. Partindo do Instituto Português de Oncologia em Lisboa, numerosos centros regionais, mais recentemente criados, juntaram-se à luta contra o cancro em Portugal: no Porto, Coimbra, Évora, Portimão, Angra e Funchal.

Ao visitar-se o Instituto de Oncologia em Portugal, o Instituto de Física Nuclear em Orsay, ou ainda os numerosos centros científicos, centros de pesquisas atómicas, clínicas oncológicas e centrais nucleares disseminados no mundo inteiro, será bom regressarmos pelo pensamento à charneira dos séculos XIX e XX, ao tempo em que a muito jovem Marie Sklo-

dowska iniciava os seus estudos de física e de matemática na Sorbonne. Ela, com efeito, como escreveu M. Marques Teixeira, *foi na verdade, um génio da humanidade, porque a sua imaginação, a sua inteligência e a sua pertinácia deram à humanidade um novo mundo: a Radioactividade* [4]. Marie Sklodowska-Curie consagrou, efectivamente, toda a sua vida à investigação da radioactividade, criando um grande centro nacional de investigação e dando cursos na Faculdade de Matemática e de História Natural, preparando uma numerosa equipa de investigadores franceses e estrangeiros e participando no movimento científico internacional. Foi assim que, como ela afirmava na Comissão de Cooperação Intelectual em Genebra em 1933, ...*Eu pertenço ao grupo dos que vêem na Ciência uma beleza indescritível. O cientista no seu laboratório não é apenas um técnico, é também uma criança colocada face aos fenómenos da natureza que ele vive como um conto maravilhoso.*

AGRADECIMENTO

Agradeço ao Sr. Boguslaw Zakrzewsky, embaixador da RPP em Lisboa, às Senhoras D. Maria Luísa Azevedo Neves e D. Alice Maia Magalhães, ao Sr. Artur da Costa, de Lisboa, e à Senhora Zofia Pawlowska do Museu Marie Sklodowska-Curie em Varsóvia, pela sua simpática e desinteressada ajuda na recolha dos dados contribuindo assim para uma melhor apreensão dos perfis dos ilustres sábios portugueses educados e inspirados pelo trabalho e pela magnífica personalidade de Marie Curie.

A Autora

BIBLIOGRAFIA

- [1] STEFAN ZEROMSKI — *Dzienniki* (Diário), t. II, p. 185.
- [2] *Le Radium, Célébration du vingt-cinquième anniversaire de sa découverte* (1898-1923), Les Presses Universitaires de France, p. 14.
- [3] MARIE SKLODOWSKA-CURIE — *Jak powstał i jak się rozwija Instytut Radowy w Paryżu*. (Como foi criado e se desenvolve o Instituto do Rádio em Paris), Comissão da dádiva Nacional a Marie Sklodowska-Curie.
- [4] M. MARQUES TEIXEIRA — *Um semestre no Laboratório de Madame Curie*, *Gazeta de Física*, 1, 9 (1948).

- [5] HALINA KOWZAN — *Piec wspomnień z rozami*. (Cinco recordações das rosas), *Swiat*, 44, 1967.
- [6] IRENE JOLIOT-CURIE — *Zycie i Dzialalnosc Marie Sklodowskiej-Cruie*. (A vida e a actividade de Marie Sklodowskiej-Curie), *Nauka Polska*, 4, 20 (1954).
- [7] MARIE SKLODOWSKA-CURIE — *Note relative au Radium qui se trouve acutellement au Laboratoire Curie de l'Institut du Radium*, 1, 12, 1918.
- [8] MARIE SKLODOWSKA-CURIE — *Note relative au Radium qui se trouve acutellement dans mon Laboratoire et dispositions correspondantes*, Paris, 3-03-1912.
- [9] R. REID — *Marie Curie*, Collins, Londres (1974), p. 119.
- [10] *Memorandum de Marie Curie, Membre de la Commission sur la question des bourses internationales pour l'avancement des sciences et le développement des laboratoires, Commission de Coopération Interlectuelle, Société des Nations, Genève*, 6-06-1926.
- [11] CRUZ DINIZ — *O Prof. Doutor Mário Augusto da Silva*, Museu Nacional da Ciência e da Técnica.
- [12] GEORGES ZBYSKEWSKI — Comunicação privada.
- [13] MANUEL VALADARES — *Madame Curie*, *Gazeta de Física*, 1, 9 (1948).
- [14] MÁRIO AUGUSTO DA SILVA — *Velhas Recordações do Laboratório Curie (1925-1930)*, Seara Nova, XXXVI (Lisboa), 1331-1336 (1957).
- [15] BRANCA EDMÉE MARQUES — *Thèse présentée à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris*, Les Presses Universitaires de France, Paris (1935).
- [16] BRANCA EDMÉE MARQUES — *Curriculum Vitae*, Lisboa (1954).
- [17] MARIA LUÍSA AZEVEDO NEVES — Comunicação privada.

Nota do Tradutor: Tive oportunidade de trabalhar durante 3 meses, em 1986, no Laboratório Curie, em Paris, no Grupo do Prof. Briand, único grupo do Instituto do Rádio dedicado na altura ainda à Física, agora no campo da Física Atómica. Verifiquei o ambiente de trabalho existente, sério e estimulante, mas ao mesmo tempo descontraído e informal, muito semelhante ao ambiente criado por Madame Curie e descrito neste artigo. O Laboratório do Prof. Briand transferiu-se em 1987 para a Universidade Pierre et Marie Curie (Paris VI), em Jussieu, Paris. O Instituto Curie em Paris dedica-se actualmente a 100 % à investigação sobre o cancro.

Conteúdos programáticos integrados de Ciências Físico-Químicas para o Ensino Secundário

FERNANDO CABRITA

Escola Secundária de Ferreira Dias, Cacém

ANTÓNIO ARMANDO DA COSTA

Centro de Electrodinâmica—Instituto Superior Técnico

A aprovação da Lei de Bases do Sistema Educativo coloca na ordem do dia a reforma dos currícula do Ensino Secundário. O presente artigo é uma proposta nesse sentido, visando os currícula de Ciências Físico-Químicas. A proposta mais inovadora é a passagem dum tratamento separado dos temas de Física e Química, para um tratamento integrado, onde os temas de Química surgem como prolongamento natural dos temas tradicionais de Física.

1. Introdução

A aprovação da Lei de Bases do Sistema Educativo (LBSE) pela Assembleia da República vem colocar na ordem do dia, agora sem motivo para adiamentos, a revisão dos currícula e programas dos Ensinos Básico (3.º ciclo) e Secundário (10.º, 11.º e 12.º anos), nomeadamente os da disciplina de Ciências Físico-Químicas (CFQ), pois que, e muito especialmente neste caso, existe há longo tempo unanimidade quanto à necessidade de reformular os actuais programas. A integração de mais um ano no Ensino Secundário, o 12.º ano, decorrente da LBSE mais reforçou esta necessidade.

A alteração dos programas de CFQ do Ensino Secundário suprimindo lacunas e insuficiências, com base numa reflexão que permita definir um espaço alargado de consenso antes de passar à abordagem de temáticas parcelares, é tarefa árdua e de grande fôlego se for profunda e rigorosa. É necessário um grupo de trabalho criado para este fim, que integre contribuições dispersas e coloque materiais à discussão. O seu objectivo é perspectivar o sistema educativo para a formação de cidadãos cientificamente alfabetizados e conscientes de que a Ciência é uma componente necessária para a participação activa em sociedades democráticas, nos planos científicos, tecnológico

e cultural. Os cidadãos assim formados devem ficar capazes de tomar decisões acerca do rumo tecnológico das sociedades, usar os conhecimentos adquiridos com este fim, e aceitar a componente cultural do desenvolvimento científico, nomeadamente das CFQ.

Neste trabalho, e com este enquadramento, procurar-se-á simplesmente fazer a crítica da situação presente e apresentar algumas despreziosas contribuições para um projecto de um novo curso destas importantes matérias, tendo em conta que nesta problemática confluem várias vertentes com especificidade própria ainda que complementar:

1 — Definição dos conteúdos centrais de um Curso de CFQ de acordo com os objectivos do Ensino Secundário expressos na LBSE e nomeadamente:

— Assegurar o desenvolvimento do raciocínio, da reflexão e da curiosidade científica;

— Preparar para o ingresso no Ensino Superior e vida activa;

— Fomentar a aquisição e aplicação dum saber cada vez mais aprofundado, assente no estudo, na reflexão crítica, na observação e na experimentação;

— Favorecer o desenvolvimento de atitudes de reflexão metódica, de abertura de espírito, de sensibilidade e de disponibilidade e adaptação à mudança;

2—Tendo em atenção o ponto anterior deverá ser feita uma articulação horizontal e vertical de programas, considerando:

— Os programas de CFQ do actual Ensino Secundário Unificado (pré-LBSE);

— Os programas de CFQ do 3.º Ciclo do Ensino Básico, a serem formulados, dos quais os programas do Ensino Secundário devem ser o prolongamento e desenvolvimento naturais;

— Os programas de disciplinas afins;

— Os programas de Física e afins do Ensino Superior;

3—Conexões entre a dimensão formativa e informativa das disciplinas, i.e., a formação necessária assenta em conteúdo que estão permanentemente orientados numa perspectiva formativa;

4—Implementação de aulas de índole experimental no curriculum da disciplina (carga horária), assumindo-as como uma das componentes formativas dominantes da disciplina;

5—Definição das perspectivas futuras para o 12.º ano.

2. Crítica dos Actuais Programas

A estrutura dos programas actuais de CFQ para o 10.º e 11.º anos assenta em legislação publicada em 1960, para o Curso de Física, e 1963, para o curso de Química. Porém a situação actual assenta na mutilação ou alterações significativas dos programas originais.

No que diz respeito à Física estamos perante uma efectiva mutilação. Foram eliminados um leque de matérias tais como Estática, Grandezas Físicas, Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases, Movimentos Periódicos, Acústica, Propagação do Calor, Dilatometria, Mudanças de Estado, Termodinâmica, Óptica, bem como uma extensa variedade de temas na área do Electromagnetismo. Há ainda a assinalar a eliminação de actividades de experimentação.

A Química por seu lado sofreu outro tipo de evolução. Existe uma certa dificuldade em

encontrar qualquer correspondência, não só no conjunto dos temas abordados, como na estruturação do conjunto. O número de temas é hoje menor. Não se fala da radioactividade, nem de reacções nucleares, nem de Química Orgânica. Em contrapartida verificou-se uma actualização, ao apresentar noções introdutórias de Física Quântica, uma abordagem dos modelos atómicos e da ligação química, embora parcelar e falha de enquadramento. Também aqui se dá pouca importância à actividade laboratorial, bem como às relações da Química com a Indústria.

Vejam agora o que se passa com o 12.º ano. Até à aprovação da LBSE, situação aliás que se mantém no presente ano lectivo, aos 10.º e 11.º anos sucede-se o 12.º ano numa perspectiva de transição para o Ensino Superior. Pela própria natureza da sua criação o programa do 12.º ano não se estruturou em termos de uma integração vertical de conteúdos. Digamos mesmo que houve uma perda de qualidade relativamente aos conteúdos programáticos e material didático de apoio, provenientes do Ministério, elaborados anteriormente para o ano propedêutico.

A criação de áreas vocacionais, criou outra espécie de problemas. Existe uma repetição de conteúdos entre CFQ e disciplinas específicas como Electrotecnia e Quimiotecnia, embora aquela seja a única via de abordagem destes problemas em certas áreas vocacionais onde não existem estas opções. De salientar que estas disciplinas só se justificam como opção, no caso de terem conteúdo próprio, complementando as CFQ no tratamento de temas específicos, e.g. reacções acido-base redox e outras, ou temas específicos de tecnologia de electricidade, pois que as CFQ devem responder à necessidade de conhecimento de determinadas matérias independentemente de se seguirem áreas específicas. Isto implica que devem dar o fundamento rigoroso de temas que serão dados com detalhe em disciplinas de opção, sem cair nas repetições referidas.

As alterações aos programas indicadas foram consequência da necessidade de melhorar

o ensino, demasiado centrado na importância dos conteúdos, e pouco voltados para responder às exigências de transformação social que se adivinhavam no tecido da sociedade democrática portuguesa, o que desmotivava os alunos. As consequências foram desastrosas pois que a simples destruição da coerência dos antigos programas teve efeitos perversos, visto que não resolveu o problema da desmotivação, antes serviu para a agravar ainda mais.

Na verdade e para além destas debilidades a situação do ensino de CFQ assenta num pressuposto que sendo verdadeiro no princípio do Século, já não o é hoje. Não existe mais Física dum lado e Química do outro mas sim vários domínios autónomos da Física (Óptica, Física do Estado Sólido, Física da Matéria Condensada, Física dos Plasmas e outros), alguns dos quais absorveram algumas áreas da Química tradicional, e uma ciência química cuja fundamentação necessita da Física. Feynman (1985, pág. 5) afirmou:

«A teoria da mecânica quântica também explicou todos os casos, tais como, entre outros, porque é que um átomo de oxigénio se combina com dois átomos de hidrogénio para fazer água. Portanto a mecânica quântica forneceu a teoria que se encontra por detrás da química. Logo, a química teórica fundamental é, de facto, física.»

Donde numa perspectiva integradora, todos os domínios físicos, e também os fundamentos da Química, podem e devem ser estudados sem dicotomia, perspectiva que hoje não existe.

A situação tem assim problemas bastante críticos, necessitando duma solução no contexto dum quadro global.

3. Formulação de Programas

Importa então dar resposta a algumas questões de que destacamos:

A—Pretende-se ou não evoluir para um esquema curricular que contemple explicitamente tempos lectivos de índole experimental?

B—Tendo presentes as graves lacunas a nível de conteúdos essenciais não incluídos no 3.º ciclo do Ensino Básico (8.º e 9.º anos), pretende-se ou não reintroduzir o ensino das CFQ no 7.º ano de escolaridade?

C—Os três anos do Ensino Secundário constituirão uma estrutura integrada ou continuar-se-á a ter um esquema de 2+1?

D—Como conciliar os conteúdos próprios das CFQ, com disciplinas das áreas vocacionais, numa equilibrada articulação horizontal e vertical de conteúdos, ou seja, como articular a exposição da teoria e método científico com as aplicações tecnológicas e outras aplicações, e.g. estudo de fenómenos naturais?

E—Qual das seguintes opções se tomará: continuação da divisão programática em Física e Química, ou uma nova concepção estrutural partindo do pressuposto que os fundamentos da Química são Física e que a Química como um todo constitui um domínio autónomo da Física, ou melhor, um seu prolongamento natural?

As respostas a estas questões, entre outras, são uma condição prévia determinante para a elaboração dos futuros programas, coerentemente estruturados, visando a formação de cidadãos já referenciada, que não sejam mais os repetidos remendos de carácter provisório que têm adiado sucessivamente a alterações que se impõem.

Quanto às duas primeiras questões, há um largo consenso no seio do Corpo Docente quanto à importância da componente experimental nos cursos de CFQ, como parte integrante dos mesmos e não como resultado do esforço individual de cada um dos docentes, o que está de acordo com a LBSE. Também é relativamente pacífico que só a introdução das CFQ a partir do 7.º ano, permitirá uma mais equilibrada formação básica desta disciplina, o que em muito condicionará a preparação necessária para o Ensino Secundário. Já as três últimas questões se apresentam mais problemáticas. Teremos que fazer algumas opções necessariamente controversas, mas que

julgamos coerentes com os objectivos propostos para a reforma curricular, e que constituem uma nova orientação estratégica para as CFQ, tanto mais importante quanto a reforma a efectuar tem um horizonte temporal dilatado.

É objectivo desta proposta:

1—Contemplar as grandes áreas das CFQ, criando um curso integrado dos vários domínios da Física que incluem os fundamentos teóricos da Química, considerada assim um domínio autónomo da Física, nas suas duas vertentes teórica e experimental, para os três anos do Ensino Secundário, o que significa integrar o 12.º ano na estrutura global, por forma a dar uma visão de conjunto e integrada destas Ciências, e implica ir além do âmbito da interdisciplinaridade actualmente preconizada;

2—Fazer uma selecção de conceitos básicos essenciais de índole formativa, valorizando a teoria e método científico, reservando para disciplinas vocacionais (a «formação técnica» e «área escola» prevista na proposta de reorganização curricular (Fraústo da Silva, 1987)), as aplicações ou casos particulares, minimizando a repetição de conteúdos leccionados;

3—Fazer a inserção de conteúdos tendo em conta a formação matemática dos alunos, reservando para o 12.º ano uma abordagem mais aprofundada de alguns temas;

4—Garantir uma articulação vertical dos programas;

5—Actualizar os programas com temas não contemplados nos actuais programas, procurando articular a coerência programática dos temas com os interesses mais sentidos pelos alunos, embora reservando alguns temas para seminários mais especializados, tendo em conta a especificidade de cada escola;

6—Coordenar o ensino da Matemática e das CFQ sem que tal ponha em causa as características e especificidade destas disciplinas;

7—Articular os futuros programas com as disciplinas de História e Filosofia, por forma a incluir como aspecto relevante na formação

dos alunos a componente da Ciência Natural na História, enfatizando a importância da Ciência Natural, e nomeadamente das CFQ para o progresso cultural e das sociedades no passado, presente e a continuar no futuro, ao mesmo tempo que se propiciam relações de interdisciplinaridade com a Filosofia/Epistemologia.

4. Esquema Programático

De acordo com estes pressupostos, expõe-se a seguir um esquema programático que se destina a ser fornecido aos alunos sob a forma de Curso regular. Em complemento deverão ser organizados seminários especializados a incluir no plano de formação da Escola, no sentido de dar a conhecer aos alunos matérias que estão na vanguarda do Conhecimento Científico.

No esquema programático proposto as matérias estão por ordem sequencial, a mesmo pela qual deverão ser formalmente leccionadas, agregando-se em grandes áreas das CFQ, em contraposição à organização por exposição de conceitos mais característico do 3.º Ciclo do Unificado. Assume-se que os alunos têm conhecimentos básicos dos seguintes assuntos, entre outros:

- Matéria, espaço, tempo, movimento;
- Massa, força (estática), pressão;
- Energia e suas transformações, trabalho;
- Estrutura íntima da matéria;
 - Átomo;
 - Estruturas moléculares e cristalinas;
 - Reacções químicas;
- Corrente eléctrica e fenómenos associados;
- Leis dos gases e propriedades hidroestáticas.

Os temas propostos terão o desenvolvimento compatível com o grau de conhecimento envolvente dos alunos de matérias necessárias, e.g. Matemática, e com o tempo disponível

para as CFQ, que não poderá ser inferior a 6 horas por semana (4 horas teóricas e de problemas mais 2 horas de experimentação). Ao mesmo tempo os conteúdos serão sempre tratados com exemplos do real, sempre que possível com recurso à experimentação, desenvolvendo as capacidades de utilização dos conceitos adquiridos. Este desiderato será atingido privilegiando sempre o rigor de conceitos.

I. Mecânica

I.1 — Dinâmica

(Referenciais de inércia; Leis do movimento — aplicações; Movimentos acelerados; Leis da dinâmica; Lei da conservação do momento linear).

I.2 — Energia Mecânica

(Noção de trabalho; Energia cinética; Energia potencial gravítica; Conservação da energia mecânica — forças conservativas).

I.3 — Movimentos Periódicos e ondas

(Movimento periódico simples; Propagação do movimento periódico simples e o conceito de onda sinusoidal; Movimentos vibratórios; Conceito geral de onda e o Princípio de Huygens; Propriedades das ondas e suas características; Acústica e suas aplicações).

II. Termodinâmica Geral

II.1 — Sistemas Físico-Químicos

II.2 — Propriedades Térmicas: Condução, Convecção e Radiação

II.3 — Temperatura: Lei Zero e Equilíbrio Termodinâmico

II.4 — Estudo de Gases

(Leis de Gay-Lussac e Boyle-Mariotte; Temperatura absoluta e escala de Kelvin; Equação dos gases ideais; Vapor Saturado e não saturado — pressão do vapor; Teoria cinética do gases).

II.5 — Leis da Termodinâmica

(1.^a Lei — O conceito de energia interna;

2.^a Lei — O conceito de entropia; 3.^a Lei — A impossibilidade do zero absoluto).

II.6 — Mudanças de Fase

II.7 — Dinâmica de Fluidos

(Viscosidade; Equação de Bernoulli — aplicações; Fluxo de massa, energia e carga).

III. Termodinâmica Química

III.1 — Reacções Químicas (cálculos ponderais)

III.2 — Energia de Reacção

III.3 — Entalpia: Variação da Entalpia numa Reacção Química

III.4 — Cinética Química

III.5 — Equilíbrio Químico

IV. Teoria do Campo

IV.1 — Interações Gravíticas e Electromagnéticas

IV.2 — Da Noção de Forças de Acção à Distância à Teoria do Campo; Leis de Kepler e Lei da Atracção Universal

IV.3 — Os Campos Gravíticos e Eléctrico (Grandezas caracterizadoras do campo: vector campo, potencial e energia potencial; Linhas de força e superfícies equipotenciais).

IV.4 — Características do Campo Magnético Terrestre

V. Electromagnetismo

V.1 — Corrente Eléctrica

(Corrente contínua — grandezas caracterizadoras e geradores de corrente contínua; Resistência de um condutor — resistividade e Lei de Ohm; Electroquímica — electrólise e Leis de Faraday; Efeitos térmicos da corrente eléctrica: Leis de Kirchoff e efeito termo-eléctrico).

V.2 — Indução Electromagnética

(Experiências de Oersted e Faraday;

Corrente alternada: características, geradores, transporte e circuitos).

V.3—Teorias da Luz

(Teorias ondulatória e corpuscular; Difracção e interferência; Efeito Doppler; Polarização da luz; A Luz como radiação electromagnética—experiências de Hertz; A invariância da velocidade da luz; Introdução à teoria da relatividade restrita; Os quanta de luz; o efeito fotoelétrico).

VI. Complementos de Mecânica (Dinâmica de Rotação)

VI.1—Momento de uma Força em Relação a um Ponto e a um Eixo

VI.2—Momento de um Binário

VI.3—Momento de Inércia

VI.4—Momento Angular: Sua Conservação

VI.5—Redução de Sistemas de Forças

VII. Física Quântica e Estrutura Íntima da Matéria

VII.1—Partículas e Ondas: Dualismo Onda-Corpúsculo

VII.2—Princípio de Incerteza de Heisenberg

VII.3—Espectros: a Lei de Planck

VII.4—Estrutura Atómica: Modelos

VII.5—Tabela Periódica

VII.6—Ligação Química

VII.7—Energia de Ligação

VII.8—Estruturas de Moléculas e Estruturas Moleculares

VII.9—Estrutura Nuclear: a Interação Forte

VII.10—Radioactividade e Fissão Nuclear: a Interação Fraca

VII.11—Fusão nuclear

VIII. As Origens e a Evolução do Universo

VIII.1—O Infinitamente Grande e o Infinitamente Pequeno, no Espaço e no Tempo

VIII.2—A Arquitectura do Universo

VIII.3—O Universo em Expansão

VIII.4—A Produção Primordial de Elementos Leves

VIII.5—As Estrelas e a Produção de Elementos

VIII.6—O Fim do Universo

Este esquema programático deverá ser dividido da seguinte forma:

10.º ano—Mecânica e Termodinâmica Geral;

11.º ano—Termodinâmica Química, Teoria do Campo e Electromagnetismo (até à Teoria da Luz, exclusive);

12.º ano—Electromagnetismo (Teoria da Luz), Complementos de Mecânica, Física Quântica e Estrutura Íntima da Matéria, e Origens e Evolução do Universo.

5. Considerações Finais

O tema VIII, As origens e a evolução do Universo, é tratado na perspectiva de que não será abordada a Teoria da Relatividade Geral, embora ela possa ser objecto de Seminários especializados. O mesmo deverá suceder em relação a outros temas de Astronomia (Cosmografia Física).

Os seminários especializados a incluir no plano de formação da Escola deverão incluir temas que suplementem e complementem a formação adquirida no curso regular, devendo eventualmente ser dados por especialistas convidados. Estes seminários integrar-se-ão no processo geral de avaliação através da apresentação de relatórios ou outros tipos de trabalho a que os alunos se proponham.

Os temas a tratar poderão ser escolhidos entre outros:

—Polímetros;

—Lasers e holografia;

—Introdução à Electrónica;

—Relatividade Geral: Introdução;

—Formação e destruição de Estrelas;

—O caos determinístico e a turbulência;

—Reacções redox e ácido-base;

—Introdução à Física Computacional.

Na elaboração desta proposta programática teve-se sempre a perspectiva de que na estruturação final dos programas terá de existir uma forte relação dialéctica entre os conteúdos programáticos e as naturais expectativas e interesses dos alunos. É necessário criar uma motivação em termos de conteúdos de temas áridos, na perspectiva, tantas vezes esquecida, de que os cursos de CFQ são para os alunos com interesses e motivações próprias, mergulhados em sociedades que criam expectativas diversificadas de aquisição de conhecimentos, e não para os professores. A estes cabe despertar o interesse dos alunos e desenvolver-lhes capacidades através da exploração de conteúdos, o centro a partir do qual tudo deve ser construído, desenvolvendo um esforço continuado contra concepções erradas que teimam em persistir na mente dos alunos sobre os fenómenos físicos, sempre no respeito pela sua capacidade intelectual, e pelas suas expectativas de integração social.

Parece ser hoje incontroverso estarem os alunos interessados em temas como Física Atómica e das Partículas, Radioactividade, Cosmofísica (Astrofísica e Cosmologia Física) e as novas tecnologias. Pelo que os cursos de Física terão de responder a estes interesses e interrogações pois a Escola tem de dar respostas claras e sem ambiguidades às interrogações dos seus alunos, tantas vezes suscitadas pelo meio em que vivem.

Mas para que este programa seja exequível duas condições são necessárias. A primeira é a existência de condições materiais adequadas de leccionação, pois sem material próprio não há busca profícua pelos alunos. A segunda é a existência de importantes modificações na formação dos professores de Física a nível universitário que preparem os professores para a exigência dos novos currícula, o que implica também a reciclagem dos actuais professores. Aliás este projecto facilita o processo de formação de professores, já que não dispersa os formandos sobre áreas profundamente disjuntas. Este o desafio que nos é colocado e que teremos inexoravelmente de vencer.

Nota Bibliográfica

O presente artigo teve em atenção a reflexão efectuada na «Multinational Teacher/Teacher Trainer Conference on Science Education and the History of Physics» que teve lugar no Deutsches Museum, Munique, FRG, de 3 a 9 de Maio de 1986, através das respectivas Actas («Proceedings») da responsabilidade de P. V. Thomsen, Universidade de Aarhus, Dinamarca.

Foi ainda considerada a «Proposta de reorganização dos planos curriculares dos ensinos Básico e Secundário (relatório preliminar)» do grupo de trabalhar coordenado por J. J. R. Fraústo da Silva em 1987.

Constituem adicionais ao presente artigo a contribuição «A Teoria da Relatividade no 10.º e 11.º ano de Escolaridade», apresentada pelos autores na 5.ª Conferência Nacional de Física, FÍSICA 86, em Braga, e os dois artigos subsequentes «A Teoria da Relatividade no Ensino Secundário», I-A Relatividade Restrita (Gaz. Fis., 10 (3), 99, (1987)), e II-A Relatividade Geral (Gaz. Fis., 11 (3), 93, (1988)).

A obra de R. P. Feynman citada é o seu livro «QED—The Strange Theory of Light and Matter», publicado em 1985 pela Princeton University Press.

As ideias desenvolvidas neste artigo foram parcialmente elaboradas no quadro dos trabalhos de profissionalização em exercício de um dos autores (FC) na Escola Secundária Ferreira Dias nos anos lectivos de 84/85 e 85/86.

Quotas da SPF

Prezado sócio: se ainda não pagou as suas quotas para o ano de 1989, 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 ... 2000 Escudos
estudantes. 750 Escudos*

Divisão Técnica de Física Nuclear e Partículas Elementares

Nova Comissão Coordenadora

Teve lugar, em Junho de 1989, uma nova eleição para Coordenador da Divisão de Física Nuclear e Partículas Elementares.

Foi eleito o Doutor José Carvalho Soares (*), o qual será coadjuvado pelos Vogais, Doutor Carlos Fiolhais e Doutora Paula Bordalo.

As principais acções a desenvolver por esta equipa constam do programa de candidatura, que a seguir se transcreve:

1. A equipa coordenadora será constituída pelo coordenador e dois vogais, sendo um de Coimbra, Carlos Fiolhais, e outro de Lisboa, Paula Bordalo.

2. Anualmente a Divisão promoverá um encontro centrado num tema de actualidade e uma mesa-redonda para discussão de actividades a promover. Todas as sugestões dos membros da Divisão serão consideradas.

3. A Divisão fomentará a presença de representantes portugueses nas reuniões internacionais onde sejam estudados e discutidos projectos que envolvam financiamento da CEE.

4. A Divisão estudará as oportunidades de trazer para Portugal nos próximos anos reuniões internacionais especializadas no domínio de Física Nuclear e Partículas.

5. A Divisão procurará estimular a produção de qualidade no domínio da Física

(*) J. Carvalho Soares, Centro de Física Nuclear (I.N.I.C.), Av. Prof. Gama Pinto, 2, 1699 Lisboa Codex; Tel. 773325 - 773911 - 774297; Telex 62593 IIFM P.

Nuclear e Partículas mediante o estabelecimento de um prémio, para um cientista recém-doutorado. Os critérios de atribuição e os prazos de candidatura serão divulgados a nível nacional com a devida antecedência.

6. No fim do mandato a equipa coordenadora apresentará um relatório da actividade desenvolvida e promoverá as eleições para o mandato seguinte.

7. A Divisão de FNP divulgará a presença em Portugal de cientistas estrangeiros convidados, assim como os cursos e conferências que estes realizem entre nós. Este serviço poderá ser organizado por correio electrónico.

Delegação Regional de Lisboa

Colóquios de Primavera

A Sociedade Portuguesa de Física organizou um ciclo de colóquios subordinado ao tema: *Áreas da Física que não devem passar despercebidas*, destinado especialmente aos estudantes desde o 11.º ano do Secundário até cerca do 3.º ano da Faculdade. Neste ciclo foram abordadas algumas áreas em que é feito ensino e investigação em Física na região de Lisboa, menos conhecidas do público em geral.

Os colóquios tiveram lugar às terças-feiras, pelas 18 horas, na sede da Sociedade Portuguesa de Física.

9 de Maio — Prof. Carlos Matos Ferreira (I.S.T.)
Física dos Plasmas — Fusão nuclear, lasers e tecnologias de plasmas.

16 de Maio — Prof. Crawford Nascimento (F.C.U.L.)
Cosmologia Moderna — A origem e evolução do Universo.

23 de Maio — Prof. Rui Dilão (I.S.T.)
Caos

30 de Maio — Prof.^a Isabel Ambar (F.C.U.L.)
Perspectivas em Oceanografia

6 de Junho — Prof.^a Adelaide Jesus (F.C.T.U.N.L.)
Pixes — Espectrometria de raios X excitados por partículas — aplicações.

A entrada para estes Colóquios era livre.

Em Outubro/Novembro será organizado um ciclo de *Colóquios de Outono* subordinado ao tema: *Física do Ambiente*.

Olimpíadas Regionais de Física - 89

Teve lugar no Edifício C1 da Faculdade de Ciências de Lisboa, no dia 27 de Maio de 1989, a etapa regional das 5.^{as} Olimpíadas de Física para alunos do ensino secundário da região de Lisboa, Sul e Ilhas. Das 46 Escolas Secundárias que tinham declarado a intenção de enviar concorrentes estiveram presentes as 40 seguintes:

Fonseca Benevides, Linda-a-Velha, Sto. André—Barreiro, Sto. António—Barreiro, Amora, Mouzinho da Silveira—Portalegre, Júlio Dantas—Lagos, Jaime Moniz—Funchal, Olhão, Sto. André—Santiago do Cacém, Sebastião da Gama—Setúbal, Emídio Navarro—Almada, Alto do Seixalinho—Barreiro, Sta. Maria do Olival—Tomar, Sá da Bandeira—Santarém, n.º 1 de Abrantes, Mação, Jácome Ratton—Tomar, Entroncamento, Cartaxo, Dr. Sousa Martins—Vila Franca de Xira, Sacavém, Rainha D. Leonor, Pupilos do Exército, Paço de Arcos, n.º 1 de Vila Franca de Xira, Mira—Sintra, Machado de Castro, Instituto de Odivelas, Falagueira, D. João de Castro, Colégio Moderno, Colégio Militar, Benfica, Amadora, Teixeira Gomes—Portimão, Ponta Delgada, Prof. Reynaldo Santos—Vila Franca de Xira, Monte da Caparica, n.º 2 de Loures.

Cerca de 200 alunos constituindo 36 equipas do 9.º Ano, e 29 do 11.º Ano, participaram nas provas teórico-experimentais e ainda nas provas originais versando um tema de Física. Foram vencedoras nas diferentes provas as seguintes equipas:

a) Prova Teórica-Experimental

9.º Ano—Esc. Sec. Emídio Navarro—Almada

Ana Pascoal, Sérgio Serra, João Rosa

11.º Ano—Esc. Sec. de Sto. André—Barreiro

António Cabral Capelo, Carlos Manuel Cargaleiro, Nuno Miguel A. Sousa

b) Prova de Criatividade

b.1—Programa de Computador

Esc. Sec. Sto. André—Barreiro

A equipa vencedora desta prova é a mesma equipa vencedora da prova-experimental do 11.º Ano.

b.2—Dispositivo Experimental

Esc. Sec. de Amora—Seixal

Carla M. C. Soares Silvério, M.^a Conceição Ramos Mouro, Paulo Jorge Vieira Vital

b.3—Outros

Escola Sec. Mouzinho da Silveira—Portalegre
Fernanda Filomena Pinheiro, Susana I. Chaves Garcia, Hugo Henriques P. Macedo

Durante a tarde, os alunos e professores acompanhantes efectuaram uma visita guiada a diversos locais de interesse em Sintra.

Pelas 20h do mesmo dia foram distribuídos os prémios às equipas vencedoras e respectivas escolas e ainda prémios de participação a todos os alunos. A Delegação Regional de Lisboa contou com o apoio das seguintes entidades para angariação dos prémios e despesas inerentes à organização: Conselho Directivo da Faculdade de Ciências de Lisboa e respectivos departamentos de Física, Educação, Matemática e Química; Secretaria de Estado de Reforma Educativa; Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa; Tecnodidáctica; Instituto Italiano de Cultura; Editorial Caminho; FOC Escolar; American Cultural Council; Instituto Alemão, CTT—Direcção Regional de Correios; Câmara Municipal de Sintra; Embaixada do Japão; Banco Pinto & Sotto Mayor; Caixa Geral de Depósitos; Gradiva Publicações, Lda; Administração Florestal de Sintra.

Delegação Regional de Coimbra

1—Olimpíadas Regionais de Física

Decorreram no passado dia 14 de Abril, no Departamento de Física da Universidade de

Coimbra, as provas regionais das Olimpíadas de Física 1989, com o seguinte programa:

- 9h00—Recepção das equipas participantes;
- 10h00—Início das provas teórico-experimentais;
- 13h00—Almoço;
- 14h30—Provas facultativas;
- 17h15—Lanche, seguido de distribuição de prémios.

Estiveram presentes quarenta equipas (22 do 9.º Ano e 19 do 11.º Ano) em representação das seguintes Escolas:

Homem Cristo (Aveiro), José Estevão (Aveiro), Dr. Manuel Gomes de Almeida (Espinho), Ihavo, Coelho e Castro (Fiães—Feira), n.º 1 de Ovar, Esmoriz, Infanta D. Maria (Coimbra), Quinta das Flores (Coimbra), Avelar Brotero (Coimbra), D. Dinis (Coimbra), Dr. Bernardino Machado (Figueira da Foz), Dr. Joaquim de Carvalho (Figueira da Foz), «C+S» do Paião, Raul Proença (Caldas da Rainha), Francisco Rodrigues Lobo (Leiria), Peniche, Sátão, Alves Martins (Viseu), Emídio Navarro (Viseu), n.º 2 de Abrantès, Alcanena, Afonso de Albuquerque (Guarda), Nuno Álvares (Castelo Branco), «C+S» da Sertã, n.º 1 da Marinha Grande, Figueiró dos Vinhos.

Os vencedores destas provas foram:

a) Provas teórico-experimentais

9.º Ano—Escola Secundária Dr. Manuel Gomes de Almeida—Espinho

Rui Luís Vieira Marques Pires, Pedro Manuel Castro Pereira, Rui Miguel Dias de Sá Monteiro

11.º Ano—Escola Secundária Dr. Manuel Gomes de Almeida—Espinho

Marta Esmeralda Simões Rola, Glória Maria Pires da Silva, Rui Miguel Neto Marinheiro

b) Provas de criatividade

b.1—*Programas de Computador e Vídeo*: Equipa do 9.º ano da Escola Secundária n.º 2 de Abrantès, com o trabalho «Lei de Joule»; Carlos M. G. Maia Alves, Miguel Jorge Duque Baltazar e Pedro Pinto Vasco.

b.2—*Dispositivos Experimentais*: Equipa do 11.º ano da Escola Secundária Dr. Bernardino Machado

—Figueira da Foz, com o trabalho «Balança Eléctrica»; Amílcar Carvas Fernandes, Carlos José Silva Gil e Carlos Manuel de Oliveira Gaudêncio.

b.3—*Teatro*: Equipa do 9.º ano da Escola Secundária Afonso de Albuquerque—Guarda, com o trabalho «A Procura da Física»; João Pedro Brás Pereira, Patrícia Matos Amaral e Maria Teresa M. R. Lima Raposo.

O júri decidiu atribuir ainda uma menção honrosa à equipa do 9.º ano da Escola Secundária Francisco Rodrigues Lobo—Leiria, constituída por Daniel Conceição Valente Rei, Alexandra Margarida Rei e João Carlos Seguro Nogueira, pelo trabalho «Os milagres do Estudo».

A Delegação Regional de Coimbra da SPF agradece o apoio e patrocínio das seguintes entidades: Departamento de Física e Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Sistmatic, Sociedade Central de Cervejas, Dan Cake, Cafés Delta, Bolachas Triunfo, Sperkitanda, Banco de Fomento Nacional, Banco Espírito Santo e Comercial de Lisboa, Banco Pinto e Sotto Mayor, Carvalho e Sobrinho e Cafés Estrela da Beira (FEB), de Coimbra, e M. T. Brandão, Lda. (Porto) e Proleite (Oliveira de Azeméis). Agradece ainda a colaboração prestada por elementos do Departamento de Física que, com o seu esforço e dedicação, contribuíram decisivamente para o êxito desta jornada. Merece especial apreço o trabalho dos elementos do júri na preparação, acompanhamento da realização e correcção das provas.

2 — Acções

Com o patrocínio desta Delegação, foram realizadas as seguintes acções destinadas a alunos e professores do Ensino Secundário:

— «Campos», pelo Prof. Doutor Alte da Veiga, na Escola Secundária de Seia, em 14/3/89.

— «A Física e a Cor», pelo Prof. Doutor Alte da Veiga, na Escola Secundária Adolfo Portela de Águeda, em 17/3/89.

- «Origem do Universo», pelo Prof. Doutor Manuel Fiolhais, na Escola Secundária Jácome Ratton de Tomar, em 12/4/89.
- «Física das Partículas», pelo Prof. Doutor Manuel Fiolhais, na Escola Secundária n.º 1 de Ovar, em 13/4/89.
- «Natureza da Luz», pela Prof.^a Doutora Maria Helena Caldeira Martins, na Escola Secundária da Marinha Grande, em 16/4/89.
- «Mecânica Quântica, o que é?», pela Prof.^a Doutora Maria Helena Caldeira Martins, na Escola Secundária de Figueiró dos Vinhos, em 16/5/89.
- «Partículas Elementares», pelo Prof. Doutor Manuel Fiolhais, na Escola Secundária de Seia, em 18/5/89.
- «A Física e o Desporto», pela Prof.^a Doutora Margarida Ramalho, na Escola Secundária de Viriato de Viseu, em 2/6/89.
- «Partículas Elementares», pelo Prof. Doutor Manuel Fiolhais, na Escola Secundária José Estevão de Aveiro, em 8/6/89.
- «A Física e o Desporto», pela Prof.^a Doutora Margarida Ramalho, na Escola Secundária da Mealhada, em 22/6/89.
- «Origem do Universo», pelo Prof. Doutor Manuel Fiolhais, na Escola C+S de Armamar, em 24/6/89.

EJP - European Journal of Physics

O EJP é uma revista editada pela Sociedade Europeia de Física destinada ao tratamento científico e original de questões não especializadas de Física e do seu ensino. Publica 4 números por ano num total de cerca de 320 páginas.

Vide Gaz. Fis., 11, 79 (1988)

Delegação Regional do Porto

Olimpiadas de Física

Nos dias 9 e 10 de Maio, realizaram-se as Provas Regionais das Olimpíadas de Física 1989, no Laboratório de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, com o seguinte resultado:

A equipa vencedora do 11.º ano representou a Escola Secundária do Cerco (Porto) sendo constituída por:

Joaquim Fernando Fernandes Silva
Manuel António Moreira Alves
Manuel António Silva Monteiro

A equipa vencedora do 9.º ano representou a Escola Secundária dos Carvalhos (Vila Nova de Gaia), sendo constituída por:

Lisete Cláudia Santos R. Ferreira
Márcia Gaio de Castro Nery
Anabela Guedes Correia

A melhor prova de Criatividade (Computadores) foi conseguida pela equipa do Externato de Nossa Senhora do Perpétuo Socorro (9.º ano) constituída por:

João Carlos Espinheira G. F. Silva
José Albano Moura Pinto
Manuel Jorge Rezende P. S. Alves

Curso Livre

«Tópicos de Física Moderna»

Por iniciativa do Laboratório de Física da Universidade do Porto realiza-se no corrente ano lectivo um curso livre sobre «Tópicos de Física Moderna». O objectivo deste curso é o de difundir ideias científicas e os desenvolvimentos tecnológicos mais recentes, procurando-se desse modo contribuir para um melhor esclarecimento do público interessado.

A Sociedade Portuguesa de Física convida os seus associados a participar nas sessões deste curso, que terão lugar às 4.^{as}-feiras, das 14h00

às 15h00 no Anfiteatro de Física da Faculdade de Ciências.

Anunciam-se desde já as palestras previstas para 1989:

- 8 de Novembro — «O Raio Verde»
—Dr. José Luís Santos
- 15 de Novembro — «Como ver a 100 km»
—Dr. António Pereira Leite
- 29 de Novembro — «Os Lasers; o que são e como funcionam?»
—Dr. José António Salcedo
- 6 de Dezembro — «Aplicações Industriais de Lasers»
—Dr. Dietmar Appelt
- 13 de Dezembro — «Materiais Magnéticos (data ainda a confirmar)
—Dr. João Bessa e Sousa
- 20 de Dezembro — «Mecânica Quântica»; «Gato Escondido com Rabo de Fora?»
—Dr. João Lopes dos Santos

DIVISÃO TÉCNICA DE EDUCAÇÃO

Foi celebrado um protocolo de colaboração entre a Divisão Técnica de Educação (DTE) da SPF e a Direcção Regional de Educação de Lisboa (DREL). No âmbito deste protocolo irão realizar-se Acções de Formação (privilegiando o aspecto experimental da Física) para professores convocados pela DREL e cuja organização será da inteira responsabilidade da DTE.

A DTE está a envidar esforços no sentido de estabelecer protocolos semelhantes com as Direcções Regionais SPF (Norte, Centro e Sul).

7.ª CONFERÊNCIA NACIONAL DE FÍSICA

Física 90 — Lisboa, 24 - 27 Set. 1990

Organização da Delegação Regional de Lisboa da SPF

Comissão Organizadora:

Prog. Científico — *Fernando Parente*
— *Margarida Cruz*
— *Rui Silva*
— *J. Pires Ribeiro*

Rel. Públicas e Prog. Social — *C. Cardoso*

Participantes — *Viriato Esteves*
— *Luís Teixeira*

Logística — *Miguel Reis*
— *Rui Silva*
— *Eduardo Alves*

Finanças — *Viriato Alves*
— *Eduardo Alves*

Informações: Sociedade Portuguesa de Física
Delegação Regional de Lisboa
Av. República, 37-4.º
1000 Lisboa
Tel. 773251

ACORDO SPF / GRADIVA

A Sociedade Portuguesa de Física e a editora Gradiva assinaram um acordo que permite, entre outras coisas, que os sócios da SPF possam adquirir com um *desconto de 20 %* sobre o preço de capa um certo número de obras editadas pela Gradiva. Para isso, os sócios da SPF apenas se terão que dirigir por carta ou pessoalmente, à editora Gradiva (Rua Almeida e Sousa, 21 r/c esq. 1300 Lisboa), indicando a sua qualidade de sócio da SPF. No caso de publicações enviadas pelo correio, as despesas são suportadas pela Gradiva. Os títulos das obras abrangidas pelo acordo acima são (*é indicado o preço de capa*):

<i>As navegações e a sua projecção na Ciência e na cultura</i> , Luís Albuquerque	750\$00
<i>Um pouco mais de azul. A evolução cósmica</i> , H. Reeves	980\$00
<i>O nascimento do homem</i> , Robert Clarke ...	980\$00
<i>A prodigiosa aventura das plantas</i> , Jean Pierre Cuny e Jean Marie Pelt	1100\$00
<i>A medusa e o caracol</i> , Lewis Thomas	850\$00

<i>Os dragões do Eden</i> , Carl Sagan	980\$00	<i>A espuma da Terra</i> , Claude Allegre	2200\$00
<i>Um mundo imaginado. Uma história de descoberta científica</i> , J. J. Goodfield	980\$00	<i>Breve história do tempo. Do big bang aos buracos negros</i> , Stephen W. Hawking	1200\$00
<i>O polegar do Panda</i> , Stephen Jay Gould ...	1200\$00	<i>O jogo. As leis naturais que regulam o acaso</i> , Manfred Eigen e Ruthild Winkler ...	2400\$00
<i>A hora do deslumbramento: terá o universo um sentido?</i> , H. Reeves	980\$00	<i>Einstein tinha razão?</i> , Clifford M. Will ...	1200\$00
<i>A nova aliança</i> , Ilya Prigogine e Isabelle Stengers	1400\$00	<i>Para uma nova ciência</i> , Steven Rose e Lisa Appignanesi	1200\$00
<i>Pontes para o infinito. O lado humano das Matemáticas</i> , Michael Guillen	850\$00	<i>A mão esquerda da criação</i> , John D. Barrow e Joseph Silk	1200\$00
<i>O fogo de Prometeu</i> , Charles Lumsden e Edward O. Wilson	980\$00	<i>Do mundo fechado ao Universo infinito</i> , Alexandre Koyre	1200\$00
<i>O cérebro de Broca</i> , Carl Sagan	1200\$00	<i>O nascimento de uma nova Física</i> , I. Bernard Cohen	1300\$00
<i>Origens</i> , Robert Shapiro	1500\$00	<i>Galileu e Platão</i> , Alexandre Koyre	450\$00
<i>A dupla hélice</i> , James D. Watson	1200\$00	<i>Galileu, Descartes e o Mecanismo</i> , Ferdinand Alquié, Pierre Costabel e outros	450\$00
<i>Os três primeiros minutos</i> , Steven Weinberg	850\$00	<i>Contacto</i> , Carl Sagan	550\$00
<i>Está a brincar Sr. Feynman!</i> , Richard P. Feynman	1300\$00	<i>Diálogo dos grandes Sistemas</i> , Galileu Galilei	550\$00
<i>Nos bastidores da Ciência. Resistência dos cientistas à inovação científica</i> , Sebastião J. Formosinho	980\$00	<i>Crianças e computadores. Manual do microcomputador para pais e professores</i> , Eugène Galanter	750\$00
<i>Vida. O mistério da sua origem e natureza</i> , Francis Crick	1100\$00	<i>Planeta Terra</i> , Jonathan Weiner	3600\$00
<i>Superforça. Em busca de uma teoria unificada da natureza</i> , Paul Davies	1500\$00	<i>Pensar a ciência</i> , Vários autores	850\$00
<i>QED. A estranha teoria da luz e da matéria</i> , Richard P. Feynman	980\$00	<i>História Concisa da Matemática</i> , (acabado de publicar)	1500\$00

O sócio pode fotocopiar e enviar o seguinte cupão de pedido à Editora Gradiva, R. Almeida e Sousa, 21 r/c esq.º, 1300 Lisboa:

Queiram enviar-me pelo correio as seguintes obras:

.....

.....

ao abrigo do acordo SPF / Gradiva. Para o efeito envio cheque

no total de

Nome

Endereço

Sócio da SPF n.º..... Delegação Regional de

Data:...../...../..... Assinatura:

metrologia... fundamental, industrial, legal

**Já pensou numa carreira profissional
como metrologista?**

O Ministério da Indústria e Energia,
através do Instituto Português da Qualidade,
com o apoio da Comissão das Comunidades Europeias,
está actualmente envolvido na criação de
uma rede nacional de laboratórios metrológicos.

A rede integrará o Laboratório Central de Metrologia,
sediado no Porto (Viso), com uma extensão sul (Pragal, Plano Integrado de Almada).
Comportará, ainda, cinco Laboratórios Regionais
(Coimbra, Évora, Faro, Lisboa, Porto).

O investimento total, superior a 6 milhões de contos,
será executado entre 1989 e 1993.

O Instituto Português da Qualidade
está a iniciar uma campanha de formação de Metrologistas
para a rede nacional de laboratórios metrológicos.

Estamos, também, interessados em docentes do Ensino Secundário.

Se a hipótese lhe interessa contacte, para informação adicional,
o Engenheiro António Cruz, Director dos Serviços de Metrologia.

Instituto Português da ualidade

Rua Professor Reinaldo dos Santos, lote 1378
1500 Lisboa
Tel: 78 61 58 / 59
Telefax 78 19 80



VOL. 12 • FASC. 3 • JULHO 1989

SUMÁRIO

O Interferómetro de Neutrões	81
<i>J. M. B. Lopes dos Santos</i>	
Fusão Fria	90
<i>Carlos Fiolhais</i>	
Big Bang e inflação (II)	94
<i>A. L. L. Videira</i>	
Os estudantes portugueses do Lab. Curie no Instituto do Rádio, em Paris, e os Pioneiros do Estudo do Cancro em Portugal	102
<i>Krystyna Kabzinska</i>	
Conteúdos programáticos integrados de Ciências Físico-Químicas para o Ensino Secundário	116
<i>Fernando Cabrita e António Armando da Costa</i>	
Noticiário da Sociedade Portuguesa de Física	123