

GAZETA DE FISICA

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FISICA

VOL. 11, FASC. 3

Publicação Trimestral

Julho a Setembro 1988

Domínios Magnéticos •
Estruturas visualizadas
por Efeito de Faraday

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 1000\$00 ; estrangeiro US\$20.

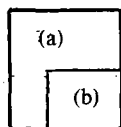
Preço do fascículo avulso (sede e delegações da SPF) : 250\$00.

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

Tiragem: 2200 exemplares

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

- Na Capa :
- (a) Domínios magnéticos à temperatura ambiente num filme ferromagnético de Fe-Y-Ga-O, observados através do efeito Faraday; $T_c=410$ K, espessura $7,2 \mu\text{m}$; gravura à escala $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ (J. Porteseil, Lab. Louis Néel—CNRS, Grenoble, 1988).
 - (b) Regiões de alteração dos domínios magnéticos (áreas a branco; obtidas por processamento de imagem) após a aplicação de um campo magnético transitório de 63 Oe. As áreas de alteração decrescem como 2^{-n} após n ciclos de aplicação do mesmo campo.



Os cristais líquidos. Suas propriedades e aplicações^(*)

A. C. RIBEIRO e J. L. FIGUEIRINHAS

Centro de Física da Matéria Condensada (INIC)
Av. Prof. Gama Pinto, 2, 1699 Lisboa, Codex, Portugal
Departamento de Física (IST-UTL)
Av. Rovisco Pais — Lisboa

M. H. GODINHO

Centro de Física da Matéria Condensada (INIC)
Av. Prof. Gama Pinto, 2, 1699 Lisboa, Codex, Portugal
Secção de Ciência dos Materiais (FCT-UNL)
Monte da Caparica

Neste trabalho são descritas algumas das fases líquido cristalinas conhecidas e são apresentados os métodos usualmente utilizados para a identificação e caracterização das mesmas. Igualmente se apresentam algumas das aplicações, com interesse tecnológico, dos cristais líquidos.

1. Introdução

Algumas substâncias ao passarem do estado sólido ao estado líquido apresentam uma ou várias fases intermédias (designadas mesofases) com propriedades mecânicas idênticas às dos líquidos mas com propriedades ópticas anisótropas próprias dos cristais. Assim, as fases líquidas intermédias destas substâncias quando observadas num microscópio entre polarizadores cruzados, revelam magníficas texturas características da anisotropia do meio, extinguindo-se a imagem se a substância transitar para a fase líquida isotrópica. Às substâncias que exibem estas fases intermédias foi dado o nome de cristais líquidos.

A obtenção de mesofases pode conseguir-se por variação da temperatura (mesomorfismo termotrópico), ou por influência de um solvente (mesomorfismo liotrópico).

O primeiro liotrópico conhecido foi observado casualmente pelo biólogo Virchow [1] em 1854 quando estudava a estrutura de soluções de mielina em água usando um microscópio. O primeiro termotrópico foi descoberto em 1888 pelo botânico Reinitzer [2] que ao sintetizar o benzoato de colesterilo verificou que esta substância apresentava «dois pontos

de fusão» com características distintas; a 145,5°C a substância fundia e apresentava um aspecto turvo mas a 178,5°C tornava-se transparente. Entre aquelas temperaturas o benzoato de colesterilo exibia uma fase colestérica líquida cristalina tornando-se líquido isotrópico a partir de 178,5°C.

Após estas descobertas históricas muito se avançou no domínio da síntese química e conhecimento das propriedades físicas de novos destes materiais. Nos nossos dias são conhecidas múltiplas fases líquidas cristalinas, com características estruturais distintas, algumas das quais com aplicações imediatas na indústria electrónica, na biologia, na medicina e noutros campos.

2. Cristais líquidos liotrópicos

Os cristais líquidos liotrópicos são obtidos a partir de determinadas substâncias misturando-as com um solvente em determinadas condições de concentração, pressão e temperatura.

(*) Este trabalho foi prometido ser publicado na Revista Técnica antes da realização do Encontro sobre o Ensino da Física. A direcção Científica da Técnica concordou com a sua publicação em simultâneo na Gazeta de Física.

Os liotrópicos mais correntes são soluções de moléculas anfifílicas em água. Os compostos anfifílicos têm uma cabeça polar geralmente solúvel em água e uma cauda orgânica insolúvel.

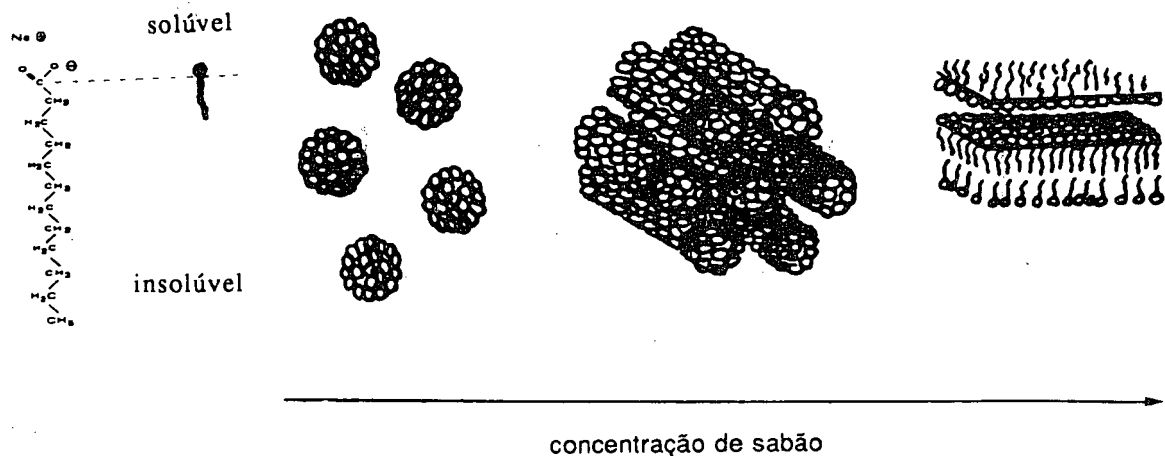


Fig. 1 — Algumas das estruturas liotrópicas que se obtêm quando se mistura um sabão em água [3].

Para uma dada temperatura e pressão as moléculas destas substâncias exibem diferentes estados de agregação consoante a concentração do solvente. Claro está que variações de pressão e temperatura podem igualmente provocar mudanças do estado de agregação. A maior parte dos sabões e detergentes dão origem a estruturas liotrópicas quando misturadas com água. Na Fig. 1 pode ver-se um exemplo de algumas estruturas que é possível obter quando se dissolve um sabão em água.

Refira-se que o conhecimento da física dos cristais líquidos liotrópicos tem grande importância em biologia. Como exemplo citamos o caso das membranas celulares que são estruturas formadas essencialmente por lípidos, proteínas e água e são sistemas liotrópicos.

3. Cristais líquidos termotrópicos

Vamos referir-nos sobretudo às estruturas e aos estudos de caracterização de mesofases não macromoleculares termotrópicas, sendo de notar que os materiais que as exibem são obtidos por síntese em química orgânica.

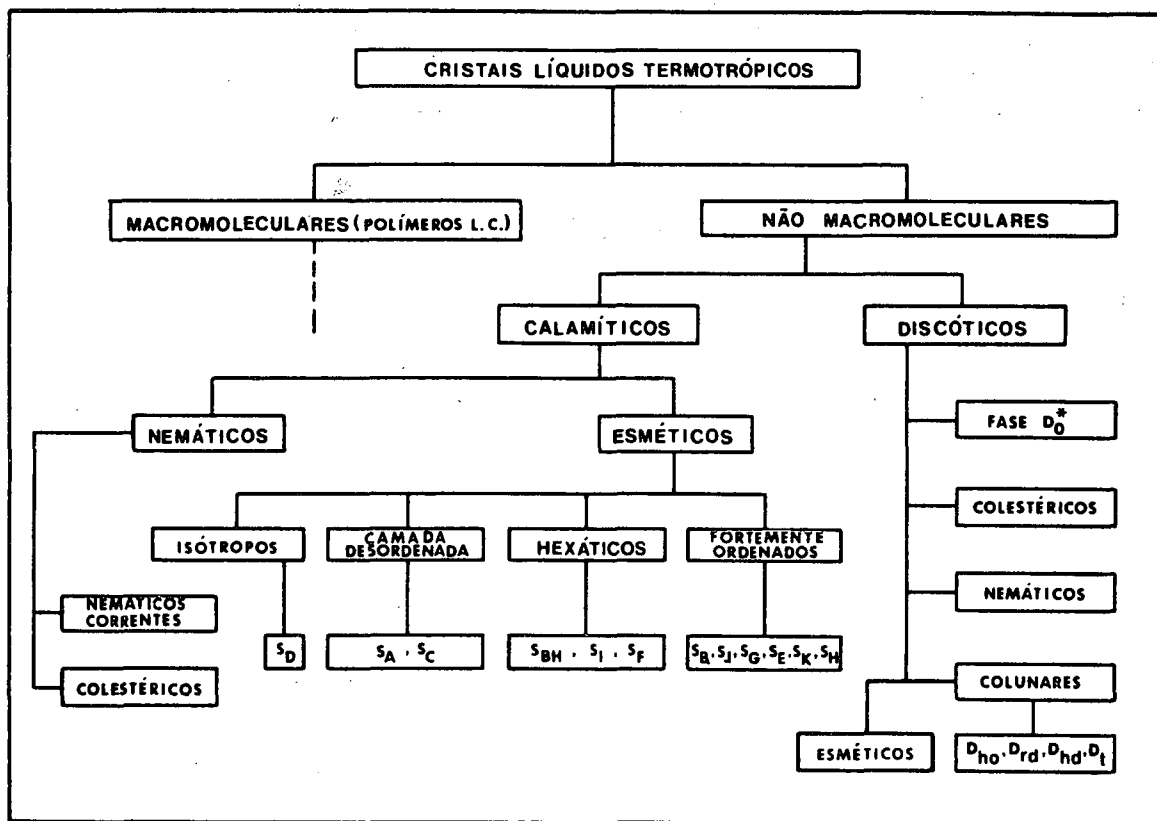
Tendo em conta a forma das moléculas que os constituem os cristais líquidos termotrópicos podem ser subdivididos em calamíticos e discóticos (ver Quadro I). Os calamíticos são

constituídos por moléculas alongadas possuindo uma parte central relativamente rígida chamada corpo e cadeias alifáticas flexíveis nas extremidades (exemplo na Fig. 2). Nos discóticos as moléculas têm a forma de discos tendo igualmente um corpo central ao qual estão ligadas várias cadeias alifáticas que têm tendência a dispor-se no plano do corpo (exemplo na Fig. 3).

Os cristais líquidos calamíticos podem apresentar diferentes tipos de polimorfismos exibindo nomeadamente fases nemáticas esmécticas e colestéricas.

Nas fases nemáticas as moléculas têm em média tendência para (em domínios macroscópicos) se alinharem segundo uma direcção preferencial n , designada por director [7], encontrando-se os centros de gravidade das mesmas distribuídos de forma aleatória (Fig. 4). Esta orientação das moléculas estende-se a longa distância podendo obter-se «monocristais» nemáticos usando agentes externos como campos eléctricos ou campos magnéticos. Os nemáticos são usualmente meios uniaxiais (*) positivos sendo as fases deste

(*) Recentemente foram sintetizados nemáticos biaxiais.



tipo pouco viscosas (viscosidades típicas da ordem de 0.1 P). Numa escala decrescente de temperaturas a fase nemática ocorre habitualmente a seguir à fase isotrópica, embora existam exceções devido ao fenómeno da reentrância descoberto em 1975 [8].

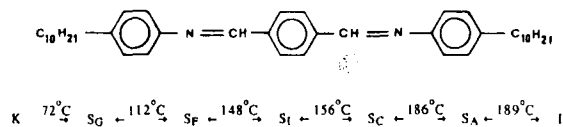


Fig. 2 — Molécula calamítica do cristal líquido TB10A e esquema de transições de fase [5].

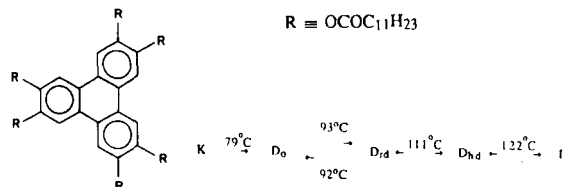


Fig. 3 — Molécula discótica de um hexa-n-alkanoato de trifenileno e esquema de transições de fase [6].

As fases colestéricas são fases nemáticas torcidas em que no seu estado normal as moléculas dispõem-se segundo configurações

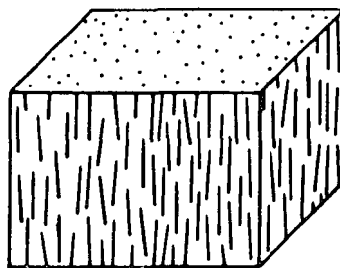


Fig. 4 — Representação esquemática da fase nemática dos calamíticos.

helicoidais (Fig. 5). Estas fases podem obter-se com moléculas quirais ou ainda por dissolução de moléculas quirais em nemáticos. O passo da hélice colestérica é uma função da pressão, da temperatura e também de campos exteriores

nomeadamente campos eléctricos e magnéticos [7, 9]. São, como os nemáticos, pouco viscosos mas são uniaxiais negativos, coincidindo o eixo óptico com o eixo da hélice. Estas fases são opticamente activas exibindo poderes rotatórios milhares de vezes superiores aos da sacarose [10].

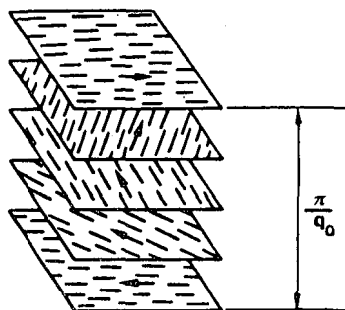


Fig. 5 — Representação esquemática da fase colestérica dos calamíticos.

As fases esmélicas são muito mais viscosas do que as fases nemáticas e têm como característica fundamental comum o facto de as moléculas se disporem em camadas. Consoante o modo de orientação e disposição das moléculas dentro das camadas, a correlação entre as posições das moléculas dentro das camadas e de camada para camada e ainda a ordem orientacional de ligação [11] entre as moléculas, assim se podem considerar diferentes tipos de fases esmélicas. Tanto quanto é do conhecimento dos autores existem doze tipos de fases esmélicas distintas (Quadro I). Como exemplos iremos descrever as fases esmélica A e esmélica B podendo a descrição detalhada dos diferentes tipos de fases esmélicas ser encontrada na referência [12].

Os esmélicos A (S_A) assemelham-se a nemáticos em camadas. Assim as moléculas dispõem-se em média perpendicularmente às camadas, sendo aleatória a distribuição dos centros de gravidade das mesmas dentro das camadas (Fig. 6). A ordem de posição e a ordem orientacional de ligação são a curta distância não havendo correlação entre camadas.

A fase esmélica B (S_B) é uma fase quase cristalina. As moléculas dispõem-se perpendi-

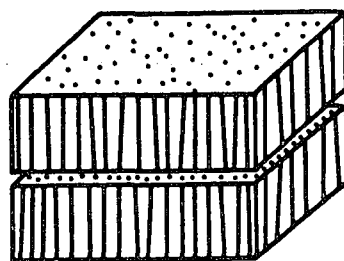


Fig. 6 — Representação esquemática da fase S_A .

cularmente às camadas em redes hexagonais centradas (Fig. 7). A ordem posicional e a ordem orientacional de ligação estendem-se a longa distância existindo de um modo geral uma forte correlação entre camadas.

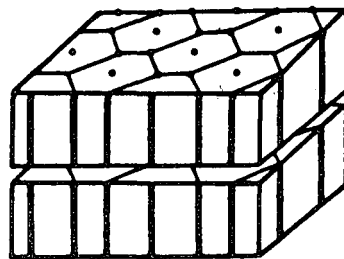


Fig. 7 — Representação esquemática da fase S_B .

A terminar esta descrição sobre os cristais líquidos calamíticos deve referir-se que num mesmo material podem observar-se diferentes mesofases líquidas cristalinas (ver o esquema de transições de fase representado na Fig. 2).

Os cristais líquidos de moléculas discóticas são de descoberta recente tendo o primeiro destes materiais sido sintetizado em 1977 pelo grupo de Chandrasekhar [13]. Nos nossos dias já são conhecidas oito fases distintas deste tipo de materiais (ver Quadro I). Citaremos como exemplos as fases do tipo D_h e também os nemáticos.

i) Nas fases D_h as moléculas dispõem-se em colunas na perpendicular aos eixos das mesmas e estas formam uma rede hexagonal centrada. Existem dois tipos destas fases: a fase D_{ho} [14] em que a distância entre moléculas de uma mesma coluna é constante e igual para todas as colunas e a fase D_{hd} [6] em que não existe ordem ao longo do eixo

das colunas. Na Fig. 8 está representado como exemplo o esquema estrutural da fase D_{ho} .

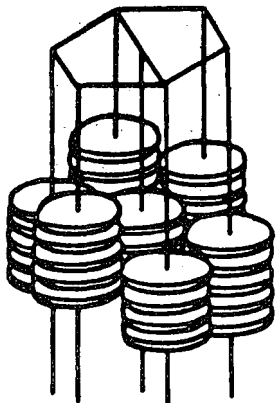


Fig. 8 — Representação esquemática da fase D_{ho} .

ii) Na fase nemática discótica N_D [15] os planos das moléculas têm tendência para se colocarem paralelos uns aos outros distribuindo-se os centros de gravidade das moléculas de forma aleatória (Fig. 9).

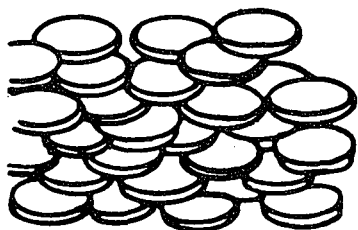


Fig. 9 — Representação esquemática da fase N_D .

Tal como nos calamíticos, num mesmo composto de moléculas discóticas podem detectar-se diferentes mesofases, como se evidencia no exemplo de esquema de transições de fase representado na Fig. 3.

A terminar este parágrafo convém referir que na maior parte das fases líquidas cristalinas as moléculas rodam, difundem, oscilam podendo estes movimentos ser mais ou menos livres, tudo dependendo da natureza da fase. Hoje em dia existem técnicas experimentais poderosas como a Ressonância Magnética Nuclear (R.M.N.), e a difracção de neutrões

que nos permitem conhecer os tipos de movimentos e a escala de tempos em que ocorrem nos diferentes tipos de fases [12].

4. Alguns métodos de análise e caracterização das fases líquidas cristalinas: microscopia polarizante, miscibilidade, calorimetria diferencial e difracção dos raios X

Uma das técnicas mais utilizadas, desde o início do século, para a caracterização dos cristais líquidos é a da observação de texturas usando um microscópio polarizante. Neste campo é de referir um trabalho notável de Friedel [16] publicado em 1922 em que são estudadas exhaustivamente as texturas dos cristais líquidos e proposta com base nessa observação uma classificação destes materiais. É no entanto necessário realçar que a texturas diferentes podem ou não corresponder estruturas diferentes (fases diferentes) pelo que em caso de dúvida torna-se necessário recorrer a outros métodos, nomeadamente a difracção dos raios X. Contudo a análise em microscopia polarizante é extremamente importante sendo o microscópio, acoplado a uma platina de aquecimento, um dos instrumentos fundamentais dos químicos de síntese orgânica destes materiais. Citaremos a seguir algumas das texturas mais comumente encontradas em algumas fases líquidas cristalinas:

i) *Fase nemática dos calamíticos* — as texturas mais comuns são a textura mármore e a estriada. Na Fig. 10 (Estampa I) está representado um exemplo de uma textura nemática estriada na qual se detectam o aparecimento de caudas negras começando em pontos que correspondem a singularidades de orientação do director na preparação. De cada ponto de singularidade partem duas ou quatro caudas negras sendo de referir que na preparação e na zona das caudas negras as moléculas estão paralelas ou perpendiculares ao polarizador ou analisador que estão cruzados. Rodando simultaneamente polarizador e

analisador, as caudas mudam de posição mantendo-se os pontos de singularidade. É também de referir que as variações de cor correspondem a diferentes orientações das moléculas na preparação.

ii) *Fases esméticas* — dada a diversidade das fases esméticas seria fastidioso enumerar todas as texturas [16, 17] observáveis neste tipo de fases pelo que apresentamos na Fig. 11 (Estampa I), como exemplo, uma das texturas mais características das fases em camadas — a textura em leques com cónicas focais.

iii) *Fases de moléculas discóticas* — na fase nemática dos discóticos a textura mais comumente observada é a estriada [15] tal como na fase nemática dos calamíticos. Na fase D_{ho} as texturas mais observadas são germes homeotrópicos e mosaicos [14, 18]. Na fase D_{hd} são leques quebrados e cónicos focais [13, 14]. Na Fig. 12 (Estampa II) está representada como exemplo uma textura em mosaicos observada na fase D_{ho} de um cristal líquido.

Outro tipo de estudos usados para caracterizar a estrutura dos cristais líquidos são os estudos de miscibilidade. Estes estudos mostram-se muito interessantes na medida em que conhecendo as diferentes mesofases de um dado cristal líquido poderemos identificar as mesofases de outros. Estes estudos baseiam-se na seguinte regra: para cada temperatura, se dois materiais mesomorfos forem miscíveis em todas as proporções, então as mesofases são do mesmo tipo. Contudo a recíproca nem sempre é verdadeira visto que podem existir substâncias com o mesmo tipo de mesofases e estas não serem miscíveis. A análise qualitativa imediata da miscibilidade de dois compostos pode ser feita usando o chamado método de contacto de Kofler [19] que nos permite avaliar o comportamento geral da mistura utilizando apenas uma única preparação a observar ao microscópico. Para isso os dois compostos são postos em contacto sobre a lâmina e fundem-se até ambos atingirem a fase

isótropa. Descendo a temperatura pode observar-se a evolução da região de contacto na qual por difusão se forma uma zona que contém todas as concentrações possíveis que vão de uma substância pura à outra também pura. Por variação da temperatura detectam-se as transições que ocorrem na zona de contacto podendo as mesmas ser registadas fotograficamente (exemplo na Fig. 13; Estampa II). O método de contacto é obviamente limitado uma vez que não se conhece como varia o gradiente de concentrações na preparação.

O estudo e a determinação exacta dos diagramas de fase isobáricos em função da concentração e temperatura reveste-se de grande importância, pois as misturas homogêneas dos cristais líquidos não apresentam em geral as mesmas propriedades que nos compostos puros. Aliás estudos deste tipo têm conduzido a algumas importantes descobertas, entre as quais citamos o fenómeno da reentrância já referido [8] e posteriormente detectado em alguns compostos puros. Para se obterem diagramas de fase do tipo do representado na Fig. 14 preparam-se diferentes mis-

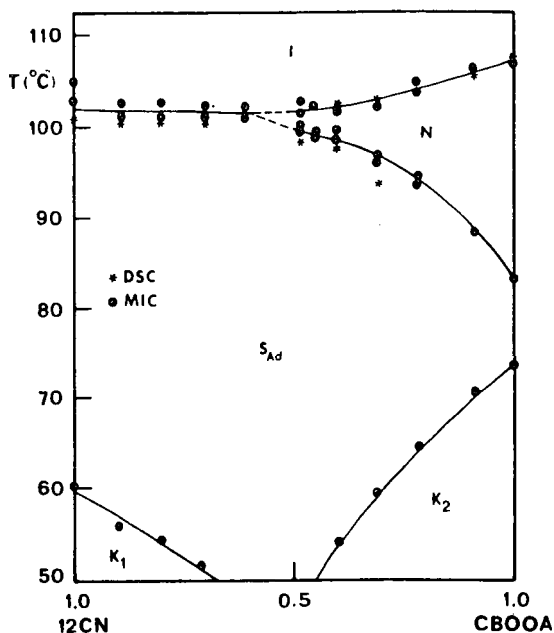


Fig. 14 — Diagrama de fase associado a misturas em diferentes concentrações dos cristais líquidos a que se refere a figura 13 (CBOOA/12CN) [20].

turas homogêneas com concentrações conhecidas e para cada uma delas detectam-se as temperaturas de transição usando o microscópio polarizante e/ou a análise calorimétrica diferencial (DSC). A análise calorimétrica diferencial é um dos métodos mais precisos utilizados para detectar transições de fase tanto em compostos puros como em misturas. Com

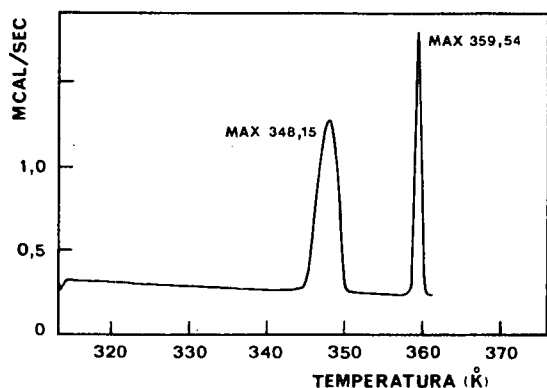


Fig. 15 — Perfil obtido por análise calorimétrica diferencial (DSC) obtido em temperatura crescente. Os dois picos detectados correspondem a uma transição cristal esmético B e a outra esmético B isotrópico [21].

esta técnica é, em geral, possível determinar as temperaturas de transição e para as transições de fase de 1.^a ordem as entalpias de transição (Fig. 15).

A técnica experimental por excelência usada para determinar a estrutura das fases líquidas cristalinas é contudo a difração dos raios X (exemplo na Fig. 16). Esta técnica conjugada com as já descritas permite na maior parte dos casos definir com clareza o tipo de fases que um dado composto exhibe.

5. Algumas aplicações dos cristais líquidos

Seria fastidioso apresentar uma lista de todas as aplicações que podem ser dadas aos cristais líquidos. Apresentamos como exemplos três.

5.1. Os colestéricos como detectores térmicos

Como foi referido em 3. os colestéricos têm importantes propriedades ópticas. Em

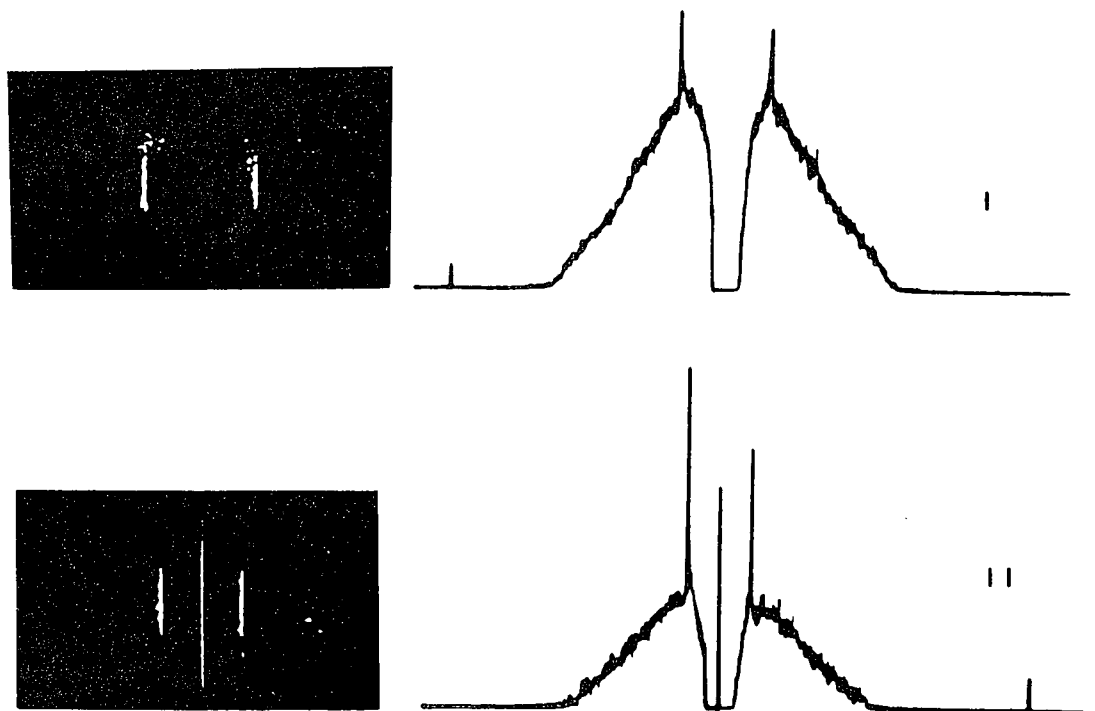


Fig. 16 — Figuras de difração de Raios X obtidas na fase cristalina (I) e na fase esmética A (II) de um cristal líquido [20] e correspondente microdensitogramas.

especial é de referir que quando um feixe luminoso em certos comprimentos de onda, incide sobre um monocristal colestérico paralelamente ao eixo da hélice do material o feixe é decomposto de um modo geral em duas componentes com polarização circular (uma esquerda e a outra direita) uma das quais é quase totalmente reflectida sendo a outra transmitida, tudo dependendo da concordância ou discordância entre o «sentido» da hélice descrita pelo vector luminoso E num dado instante t e o «sentido» natural de torção da hélice do colestérico. Para a incidência nas condições definidas verifica-se que a reflexão máxima ocorre para um comprimento de onda $\lambda_m = p.n$ sendo p o passo da hélice e n o índice de refração médio de uma camada de colestérico. De um modo geral os colestéricos exibem um aspecto colorido quando iluminados com luz branca sendo a cor observada função dos comprimentos de onda reflectidos (reflexão de Bragg). Como o passo da hélice é uma função da temperatura, variando esta podem obter-se variações de cor correspondentes à zona de comprimentos de onda de reflexão máxima. Hoje em dia conseguem-se obter colestéricos ou misturas de colestéricos [10, 22, 23] que exibem mudanças de cor do vermelho ao violeta em domínios desejados de temperatura (grandes ou pequenos intervalos). Esta propriedade é usada, entre outras aplicações, no teste de febre, na detecção do cancro da mama e na detecção de sobreaquecimentos em máquinas. Como exemplo na Fig. 17 (Estampa III), encontra-se representado um depósito de colestérico sobre um fundo negro, sendo a imagem obtida após contacto com a mão. As variações de cor correspondem a variações locais de temperatura.

5.2. «Displays» alfanuméricos de cristais líquidos. TV a cores com cristais líquidos.

Existem várias técnicas para construir os displays alfanuméricos a cristal líquido que são usados em relógios, calculadoras, letreiros

informativos, painéis de bordo de automóveis, etc.

Na técnica TN (nemática torcido) que é uma das mais conhecidas [24] usa-se um cristal líquido nemático que é introduzido numa célula limitada nos topos por dois vidros transparentes, cada um deles com um depósito condutor também transparente. A distância entre os vidros situa-se habitualmente entre os 10 e os 20 micron. As faces das placas de vidro que ficam em contacto com o cristal líquido são previamente preparadas de forma a forçarem que junto às mesmas as moléculas do nemático se orientem paralelamente aos vidros mas com o director rodado de 90° quando se passa de uma placa à outra (Fig. 18).

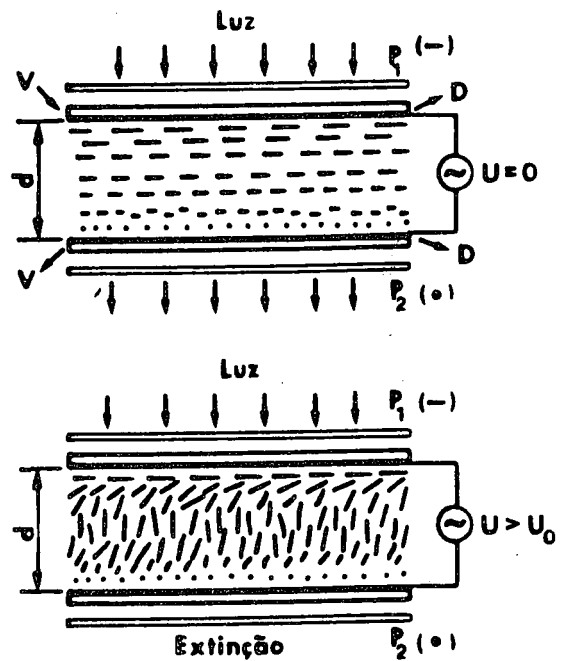


Fig. 18 — Princípio de funcionamento dos displays de nemático torcido (TN).

Deste modo as duas condições fronteiras induzem as moléculas do cristal líquido a dispor-se, no interior da célula, segundo uma configuração helicoidal (Fig. 18) semelhante à observável espontaneamente nos colestéricos. A célula é limitada por dois polarizadores cruzados de tal forma que radiação luminosa

despolarizada que incide sobre um deles abandona-o com o vector luminoso E a vibrar segundo a direcção de alinhamento das moléculas junto da face de vidro mais próximo. Esta direcção de vibração é no entanto rodada, devido à estrutura helicoidal adoptada pelo cristal líquido, de tal forma que a luz emergente encontra o segundo polarizador em condições de transmissão total (Fig. 18). No nemático utilizado na Fig. 18 a anisotropia dieléctrica é positiva ($\Delta \epsilon > 0$) e deste modo quando se aplica um campo eléctrico entre as placas de células, as moléculas têm tendência a alinhar-se segundo o campo (configuração homeotrópica). Nestas condições luz linearmente polarizada proveniente do 1.º polarizador atravessa a célula sem que se verifique rotação da direcção de polarização da mesma, provocando assim o segundo polarizador a extinção (Fig. 18). Nestas condições o *display* apresenta-se escuro.

A descrição apresentada permite compreender o princípio físico de funcionamento das células TN embora seja necessário esclarecer que na realidade só uma das placas de vidro tem uma face inteiramente condutora tendo a outra segmentos condutores sobre uma base não condutora. Assim, quando se aplica tensão entre os segmentos e a base condutora, são visualizados caracteres escuros sobre um fundo claro sendo o contraste assim obtido notável (ver Fig. 19). Este princípio é usado em letreiros iluminados posteriormente ou não. No caso dos grandes letreiros informativos existe iluminação posterior enquanto que nos mostradores dos relógios e outros não existe este tipo de iluminação. Nestes, na face posterior da célula sob o polarizador inferior existe uma superfície que reflecte a luz ambiente que a atinge podendo assim observar-se os efeitos descritos.

Nos últimos anos começaram a ser introduzidos no mercado televisores a cores com écran a cristal de pequena e média dimensão [24 e]. Têm em relação aos televisores convencionais de raios catódicos a vantagem imediata de ocuparem um muito menor volume,

pois não é necessária a espessura considerável absolutamente indispensável nos televisores convencionais para aceleração e focalização dos electrões. Um écran a cores de cristal líquido é dividido em unidades elementares. Um écran de 20×15 cm tem aproximadamente 100 000 destas unidades elementares. Cada unidade elementar é formada por três

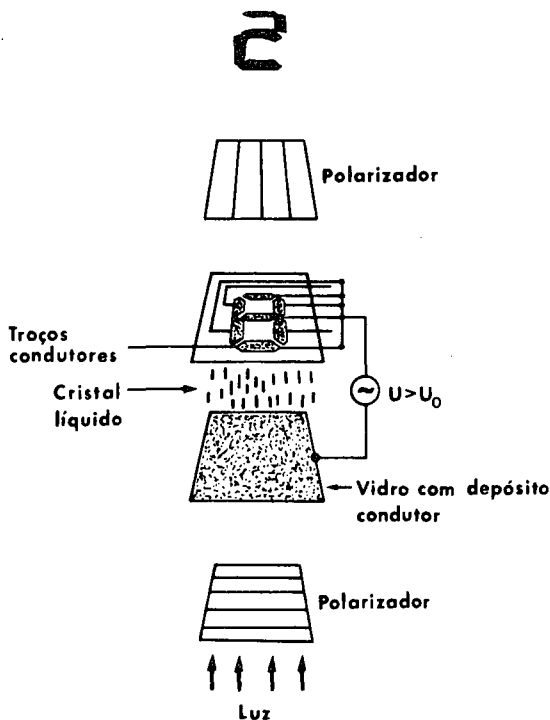


Fig. 19 — Representação esquemática de uma célula real numérica de nemático torcido (TN).

células de nemático torcido (TN). Uma célula possui um filtro azul, outra um filtro verde e a outra um vermelho. Quando nenhuma voltagem é aplicada cada célula reflecte a cor do filtro que possui; quando é aplicada tensão a célula fica preta. As diferentes cores obtêm-se por diferentes combinações on-off de cada unidade elementar. Na Fig. 20 (Estampa III), está representada, como exemplo, uma imagem obtida num televisor a cores portátil que usa a técnica TN.

Tudo aponta para que nos próximos anos a tecnologia de multiplexagem e comando elec-

trónico se desenvolvam de forma a ser possível construir e comercializar écrans deste tipo de grandes dimensões.

parente com um índice de refacção igual ao índice de refacção ordinário do nemático contido nas bolhas. Na ausência de qualquer

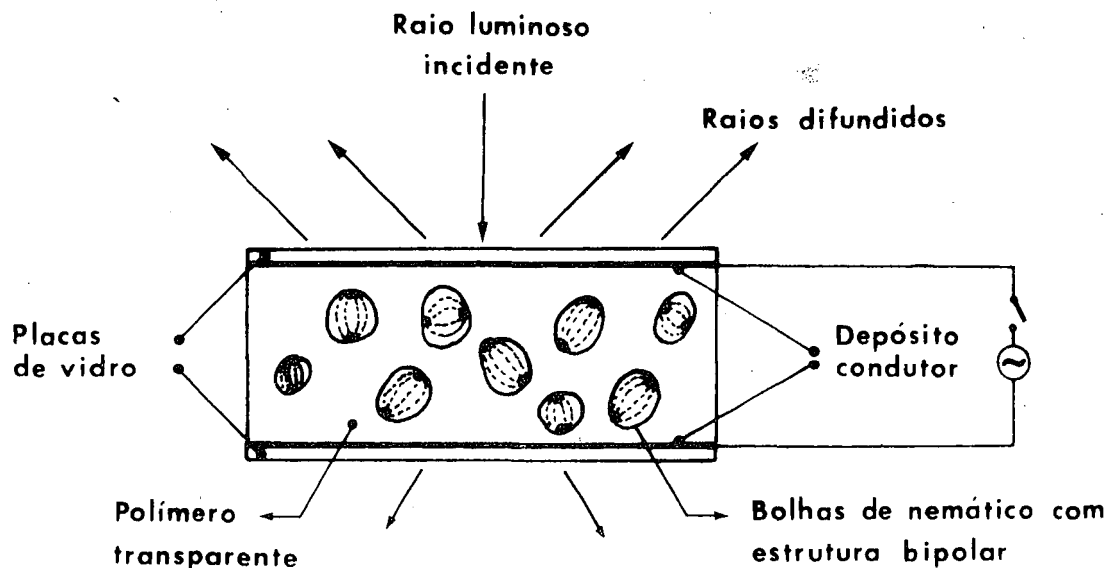


Fig. 21 — Display de bolhas de cristal líquido dispersas num polímero transparente na situação de difusão (sem campo aplicado).

5.3. Nova tecnologia de displays a cristal líquido

Uma nova tecnologia de displays que faz uso de cristais líquidos começou recentemente a ser desenvolvida em vários laboratórios nos EUA e Japão [25]. Nos displays fabricados usando esta tecnologia, a modulação da luz é obtida controlando a difusão luminosa causada por bolhas de cristal líquido na fase nemática dispersas num polímero transparente. O princípio de funcionamento destes displays é baseado na birrefringência da fase nemática e no facto de que o campo do director no interior das bolhas, para certos cristais líquidos e certos polímeros, apresentar uma estrutura bipolar com dois defeitos pontuais em pontos opostos da bolha.

Um display construído segundo esta tecnologia está exemplificado na Fig. 21. As placas de vidro contêm o depósito metálico transparente já referido em 5.2 que permite aplicar um campo eléctrico perpendicular às mesmas. Entre as placas encontra-se um polímero trans-

parente, as estruturas do director no interior das diferentes bolhas estão orientadas ao acaso, sendo a orientação imposta pela morfologia local. Um raio luminoso incidindo normalmente no display encontra no seu percurso variações do índice de refacção ao passar em bolhas que não estejam alinhadas com a normal ao display e é difundido. Para bolhas com um diâmetro da ordem do micron o display é opaco e apresenta uma cor branca. Quando um campo eléctrico suficientemente intenso é introduzido no display, por aplicação de voltagem entre os eléctrodos, as estruturas do director nas diferentes bolhas alinham com o campo eléctrico e os raios luminosos passam pelo display sem encontrarem variações do índice de refacção e não são difundidos. O display torna-se transparente. A aplicação do campo eléctrico muda o display de um estado de difusão para um estado transparente.

Existem basicamente quatro processos de produzir o polímero transparente com as bolhas de cristal líquido dispersas no seu interior:

a) Encapsular o nemático por acção de um agente químico dentro de pequenas bolas que são depois misturadas com o polímero transparente [26].

b) Separação de fases entre o cristal líquido e o polímero induzida por polimerização [27]. As resinas epoxídicas podem ser usadas nesta aplicação. O cristal líquido é misturado uniformemente com o componente A da resina e é feita seguidamente a mistura com a componente B, obtendo-se inicialmente uma mistura homogénea. À medida que a polimerização vai ocorrendo o cristal líquido torna-se insolúvel e concentra-se em bolhas que surgem dispersas no polímero. O processo de formação das bolhas pode ser regido quer por nucleação e crescimento [28], quer por decomposição spinodal [29]. Controlando a temperatura a que se dá a polimerização é possível controlar o diâmetro das bolhas assim como a dispersão neste valor.

c) Separação de fases induzida pela temperatura [27]. Usa-se um polímero termoplástico que se torna solúvel com o cristal líquido a alta temperatura. Quando a temperatura é reduzida o cristal líquido torna-se insolúvel e formam-se bolhas no polímero. Controlando a taxa de arrefecimento é possível controlar o diâmetro das bolhas assim como a dispersão neste valor.

d) Separação de fases induzida por evaporação [27]. Prepara-se uma mistura homogénea de cristal líquido e polímero transparente usando um solvente. Este solvente é depois evaporado e o cristal líquido torna-se insolúvel concentrando-se em bolhas que aparecem uniformemente dispersas no polímero.

Um ponto de particular interesse no desenvolvimento destes displays são os tempos *on* e *off* assim como a voltagem necessária para mudar o estado do display de difusão para transparente. Valores típicos para os tempos *on* e *off* são da ordem de alguns milisegundos. O campo eléctrico necessário para actuar o display é presentemente da ordem de 1.5 Volt/ μm [30]. Estes pontos são pre-

sentemente foco de intensa pesquisa. O contraste nestes displays pode ser controlado quer variando a espessura, quer ajustando o índice de refração do polímero de modo a ser tão próximo quanto possível do índice ordinário do cristal líquido.

Estes displays apresentam um campo bastante vasto de possíveis aplicações, que não é acessível aos displays do nemático torcido (TN). A técnica de fabrico é bastante simples e presta-se facilmente à produção de displays de grande área. Uma das aplicações é em sinalização de baixo conteúdo informativo: sinais de tráfego, anúncios para estabelecimentos, letreiros informativos, etc. Estes materiais têm também uma grande potencialidade na construção de edifícios, pois é possível obter vidros que mudam de opacos a transparentes por simples aplicação de uma pequena voltagem. Um outro campo de aplicação com grandes possibilidades é a indústria de automóveis, quer para as janelas, quer para os mostradores.

Em aplicações de alto conteúdo informativo, estes materiais requerem uma matriz activa pois possuem um campo eléctrico crítico mal definido. Usando uma matriz activa estes displays podem ser usados em sistemas de projecção de imagem e também como écrans planos para televisão.

BIBLIOGRAFIA

- [1] R. VIRCHOW-VIRCHOW — Arch. Pathol. Anat. Physical, **6**, 562 (1854).
- [2] F. REINITZER — Wiener Monatsh Chem., **9**, 421 (1988).
- [3] K. FONTEL — Mol. Cryst., **63**, 83 (1981).
- [4] PETER PRESHAN — Physics Today, **35**, 34 (1982).
- [5] J. J. BENATTAR, F. MOUSSA, M. LAMBERT — J. Physique Lett., **42**, L-67 (1981).
- [6] C. DESTRADE, M. C. MONDON-BERNARD, N. H. TINH — Mol. Cryst. Liq. Cryst., **49**, 169 (1979).
- [7] S. CHANDRASEKHAR — *Liquid Crystals*. Cambridge, University Press. (1977).
- [8] P. E. CLADIS — Phys. Rev. Lett., **35**, 489 (1975).

- [9] HANS KELKER, ROLF HATZ — Handbook of Liquid Crystals, Verlag Chemie (1980).
- [10] PETER L. CARROL — *Cholesteric Liquid Crystals*, Ovun Ltd., London (1973).
- [11] B. HALPERIN, D. NELSON — *Phy. Rev. Lett.*, **41**, 121 (1979).
- [12] A. C. RIBEIRO — Tese de Doutorado, UNL (1985).
- [13] S. CHANDRASEKHAR, B. H. SADASHIVA, K. SRESH — PRAMANĀ, **9**, 471 (1977).
- [14] C. DESTRADE, M. C. MONDON, J. MALTHETE — *J. Phys. Colloq.* C3, **40**, 17 (1979).
- [15] N. H. TINH, H. GASPAROUX, C. DESTRADE — *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **68**, 101 (1981).
- [16] G. FRIEDEL — *Ann. Physique*, **18**, 273 (1922).
- [17] DEMUS RICHTER — *Textures of Liquid Crystals*, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig (1978).
- [18] C. DESTRADE, N. H. TINH, I. MALTHETE, A. M. LEVELUT — *J. Physique*, **44**, 597 (1983).
- [19] M. SACKMANN, D. DEMUS — *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **2**, 81 (1966).
- [20] A. C. RIBEIRO, M. H. GODINHO, P. J. SEBASTIÃO, D. GUILLON e M. VILFAN — Submetido para publicação.
- [21] A. C. RIBEIRO, J. B. BONFIM, A. F. MARTINS, D. GUILLON, A. SKOULIUS, C. DIMITROPOULOS, J. V. KLINK — A publicar.
- [22] J. L. FERGASON — *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **1**, 293 (1966); *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **1**, 309 (1966); *Appl. Optics*, **7**, 1729 (1968).
- [23] BDH — *Thermochronic Liquid Crystals*.
- [24] a) A. G. FISHER — IEE Conf. Display Devices, N. Y. (Oct., 1972);
 b) T. P. BRODY et al. — IEEE Trans. ED-20 (1973);
 c) G. LABRUNE et al. — *Rev. Phys. Appliquée*, **10**, 143 (1975);
 d) A. F. MARTINS — CFMC, E-3/79 (1979).
 e) Publicação F. Hoffman la Roche — 212-92857 (1985).
- [25] a) Liquid Crystal Institute, Kent State University, Kent — Ohio, EUA.
 b) General Motors Research Center, Detroit — Michigan, EUA.
 c) Hughes Aircraft Company, Malibu — Califórnia, EUA.
- [26] J. F. FERGASON — *SID Int. Dig. Tech. Papers*, **16**, 68 (1985).
- [27] H. STRATHMANN — *Em Material Science of Synthetic Membranes*, D. R. Leoyd Ed., ACS, Washington DC (1985).
- [28] I. M. LIFSHITZ, V. V. SLYOZOV — *J. Phys. Chem. Lett.*, **19**, 35 (1961).
- [29] V. N. FILIPOVICH — *Em Phase Separation in Glass*, O. V. Mazurin, E. A. Porai — Koshits Edts., North Holland, Amsterdam (1984).
- [30] J. W. DOANE, N. A. VAZ, B. G. WU, S. ZUMER — *Appl. Phys. Lett.*, **48** (4), 269 (1986).

EUROPEAN PHYSICAL SOCIETY

IX GENERAL CONFERENCE ON CONDENSED MATTER PHYSICS

Nice, 6-9 March 1989

As usual the scientific sessions will cover the entire field of Condensed Matter Physics, basic and applied. The purpose is to provide a large overview of the research activity in Europe and to promote discussions and scientific exchange between participants.

The Conference will include contributed papers (mainly posters) and a large number of symposia and individual invited talks. Special attention will be paid to «hot topics». The Conference is open to all interested Physicists from Europe and abroad.

Deadlines:

Registration: 31st December 1988
 Abstracts : 15th January 1989

Inf: DR. F. RAYMOND
 CNRS, bât. 3
 Rue Albert Einstein
 Phone: 93954222

F - 06560 Valbonne - France
 Telex: CNRSGRP 970006 F

Novas Quotas da SPF

A vigorar a partir de 1-1-1989:

Sócios Efectivos : 2.000 Esc.
 Sócios Estudantes : 750 Esc.



Fig. 10 — Textura nemática estriada observada ao microscópio óptico com polarizadores cruzados.



Fig. 11 — Textura em leques quebrados com cónicas focais observada, entre polarizadores cruzados, na fase S_B de um cristal líquido.



Fig. 12 — Textura em mosaicos observada, com microscópio polarizante, na fase D_{ho} de um cristal líquido.



Fig. 13 — Método de contacto. Exemplo de texturas observáveis na zona de contacto entre dois cristais líquidos distintos (CBOOA/12CN) [20].



Fig. 17 — Imagem revelada por um colestérico, colocado entre um plástico negro e outro transparente, após contacto de uma mão [23].

Fig. 20 — Imagem obtida num televisor portátil a cristais líquidos que usa a técnica TN [24 e].





A Teoria da Relatividade no Ensino Secundário (*)

II — A Relatividade Geral

FERNANDO CABRITA

Escola Secundária de Mafra

ANTÓNIO ARMANDO DA COSTA

Centro de Electrodinâmica - Instituto Superior Técnico

A Teoria da Relatividade Geral permanece totalmente desconhecida dos alunos do Ensino Secundário, apesar da sua importância para o desenvolvimento da Física. O presente artigo desenvolve uma proposta de acções de formação de professores, sob a forma de Seminários especializados visando a médio prazo a eventual integração deste tema nos Curricula dos alunos.

1. Introdução

Num artigo anterior [1] (subsequentemente designado por Artigo I), foi justificada a necessidade e interesse da introdução da Teoria da Relatividade (TR) nos curricula reformados do Ensino Secundário. As razões apontadas foram de natureza científica e cultural, pois que no final do Século XX não é mais admissível que a formação adquirida desconheça estes importantes assuntos.

As naturais limitações da formação dos professores de Física, consequência do Ensino Universitário andar arredio destas matérias, obrigam a que numa primeira fase só se considere a introdução da Teoria da Relatividade Restrita (TRR), cujo curriculum foi apresentado no Artigo I, visto que são necessários dois tipos de acções também aí programadas tendo como objectivo a prazo a introdução da Teoria da Relatividade Geral (TRG) nos curricula: acções de formação nesta área para os professores de Física já a trabalhar no sistema de Ensino, e a reforma curricular dos cursos de formação de professores em Física.

Neste artigo será apresentado o esquema programático das acções de formação no âmbito da TRG, que poderão revestir a forma de seminários extracurriculares, abertos à participação dos alunos mais interessados, o que permitirá ainda aferir da adequação e do peso relativo dos temas num curriculum definitivo.

O conteúdo programático proposto para as acções de formação referidas não deverá ser diferente do que se pensa venha a ser o curriculum definitivo, quando este for introduzido no curriculum global. As únicas diferenças significativas deverão ser a maior profundidade de tratamento de todas as questões, bem como a junção de alguns módulos temáticos que pela sua dificuldade não poderão ser colocados nos programas específicos para os alunos. Esta forma de trabalhar permitirá que os formandos forneçam a sua própria opinião sobre a didáctica mais adequada à transmissão desta matéria, bem como o seu grau de dificuldade.

Desta forma o conteúdo programático e metodologia das acções aqui propostas no âmbito da TRG não pode afastar-se do que for o programa de ensino da TRR. No Artigo I foi referenciada a necessidade de apresentar estes temas partindo da explicitação das inconsistências das concepções galileanas entre si e com os dados da experiência, procurando ultrapassá-las. Este desiderato foi aí atingido no âmbito da TRR. O programa aqui proposto generaliza os conceitos apresentados em I a qualquer referencial, gravíticos em particular e não inerciais em geral, partindo das referidas inconsistências e da impossibili-

(*) A parte I deste artigo foi publicada em Gaz. Física, 10, 99-107 (1987).

dade de aplicação da TRR a esses referenciais. Tal como sucedeu em I, e aqui por maioria de razão, deverá ser privilegiado o rigor de conceitos e a sua visualização por métodos gráficos e/ou geométricos intuitivos. Esta temática é, aliás, propiciadora dum aprofundamento de conceitos fundamentais da Física, tais como espaço, tempo, movimento, velocidade, massa, interações e outros. Este artigo destina-se a dar um contributo para a consecução destes objectivos.

2. Esquema programático

O esquema programático da TRG aqui apresentado começa por fazer a generalização dos conceitos fundamentais da TRR a referenciais não inerciais (RNI), ou seja aqueles em que é possível, através de experiências, exhibir diferentes comportamentos dinâmicos de partículas idênticas próximas no seu interior. Em seguida proceder-se-á ao seu estudo detalhado, com especial incidência no estudo dos referenciais gravíticos, ou seja aqueles em que não existe nenhuma transformação de coordenadas que permita reduzir toda a região a que se aplica a um referencial de inércia, e que constituem um caso particular de RNI, embora os mais importantes.

A gravitação, no seu duplo aspecto de fenómeno na vizinhança de massas e na larga escala do Universo (Cosmologia Física), será privilegiada. Ela será estudada separando estas duas grandes componentes, diversas mas complementares. Após a caracterização das questões próprias de cada domínio, e expondo em cada um deles por que motivo a Relatividade restrita não pode ser aplicada, apresentar-se-á a teoria geral que os conjuga, constituindo um todo coerente e consistente, não esquecendo de explicitar de que modo a TRG alterou as nossas concepções cosmológicas.

Os métodos geométricos utilizados para visualização das propriedades do espaço-tempo são alguns deles esquemas topológicos simplificados. Assim não lhes deve ser atribuída outra virtude que não seja permitir essa mesma visualização. De facto alguns deles constituem uma simplificação extrema.

2.1. Covariância das Leis da Física

Como já foi afirmado, a nova Teoria deve ser uma generalização da TRR. Assim os dois postulados em que esta se baseia devem ser generalizados a todos os referenciais quaisquer que eles sejam. A ideia de covariância associada a transformações globais de coordenadas, independente do ponto em que nos encontramos, será substituída por um conceito mais geral de covariância que diz respeito a transformações locais, isto é, que dependem das coordenadas de vários pontos, pelo que daqui resulta:

- a) O Princípio da Covariância das leis da Física em todos os referenciais, ou seja, em qualquer transformação de coordenadas no espaço-tempo, as leis da Física mantêm a mesma forma e o mesmo conteúdo físico;
- b) O Princípio da Invariância da velocidade da luz no vácuo.

Associado à covariância das leis da Física, deverá ficar explícito que com este princípio, e formando com ele um todo indissolúvel, temos:

- a.1) A equivalência entre massa gravítica e massa inerte;
- a.2) O princípio da equivalência formal entre todos os RNI, tendo em atenção a objecção de Bondi (1986).

2.1.1. Massa Inerte e Massa Gravítica

A equivalência entre massa inerte e massa gravítica apresentar-se-á como consequência das acelerações no campo gravítico serem independentes da natureza do corpo. Na verdade, segundo Einstein [2]

$$\text{aceleração} = (\text{massa gravítica}) / (\text{massa inerte}) \times (\text{intens. do campo gravítico}) \quad (1)$$

e a aceleração só será independente da natureza do corpo se

$$\frac{(\text{massa gravítica})}{(\text{massa inerte})} = 1 \quad (2)$$

através duma criteriosa escolha de unidades.

Aqui deverá ser referido que estas considerações se encontram de acordo com a experiência, como vem referido em Misner et al [3].

A equivalência entre massa gravítica e massa inerte pode ser exibida através duma experiência simples. Um feijão a germinar num vaso em repouso cresce na vertical. Porém se o vaso estiver sujeito a uma força centrífuga, criada por um movimento circular uniforme, então ele cresce em direcção oposta à composição da força centrífuga com a força da gravidade.

2.1.2. O Princípio de Equivalência

O princípio de equivalência deverá ser apresentado através de uma experiência conceptual simples, referida por Einstein [4]. Sopunhamos uma cabine a ser içada por uma força constante numa região de gravidade nula. Os passageiros no interior da cabina com os pés assentes no lado oposto ao sentido do movimento sentiriam uma acção semelhante à gravidade e interpretá-la-iam como tal. Isto é consequência da covariância das leis da Física e mostra a indescernibilidade entre massa gravítica e massa inerte.

Deverá no entanto ser aqui apontada a verdade parcial deste princípio, já que, pela sua própria definição, o campo gravítico não se encontra mergulhado em outros ambientes inerciais, é ele próprio um ambiente «ab-initio» [5].

2.2. Inaplicabilidade da TRR à Gravitação

São os seguintes os motivos que impedem a aplicação da TRR ao fenómeno da Gravitação e que devem ser transmitidos aos formandos, admitindo a existência dum campo gravítico, ideia que será abandonada mais adiante:

a) A lei de Newton da Atracção Universal (LNAU) pressupõe acções a distância transmitidas com velocidade infinita o que é incompatível com a TRR, e por isso mesmo, não é invariante numa transformação de Lorentz.

Será apontado que $F = Gmm'/r^2$ (em que F é a força de atracção, r a distância entre as massas m e m') pressupõe que esta acção é instantânea, ou seja que a energia associada se propaga com velocidade infinita, o que é impossível. Daqui resultam duas consequências. Por um lado não pode ser invariante numa transformação de Lorentz, violando o princípio da invariância das leis da Física com generalidade; por outro lado, a LNAU impõe que a interacção entre massas não obedeça ao princípio da acção e reacção subjacente à Lei em apreciação.

b) Um raio luminoso passando numa zona de campo gravítico será naturalmente atraído pela massa que dá origem ao campo, o que cria problemas suplementares [6].

Suponhamos uma lanterna num campo gravítico lançando um feixe luminoso. Como esse feixe é energético tem massa e é atraído. Donde para que as frentes de onda sejam sempre perpendiculares à direcção de propagação, haverá raios do feixe que percorrerão maiores distâncias (Fig. 1). Porém se quisermos manter constante o tempo, teremos de violar o princípio da invariância da velocidade da luz.

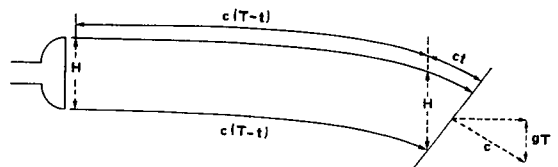


Fig. 1 — Curvatura dos raios luminosos na presença de massas — A figura mostra o comportamento dum feixe luminoso na proximidade dum corpo massivo. O raio superior encontra-se a maior distância do corpo. Verifica-se que a distância percorrida pelo raio superior é maior que a do raio inferior. Se admitirmos que a velocidade da luz é constante, então o tempo do raio superior é maior que o do raio inferior e a razão é $t/T = gH/c^2$.

c) A larga escala do Universo não suporta a teoria da gravitação de Newton, e a TRR também não lhe é aplicável.

Este problema será abordado independentemente de todos os outros.

Daqui se conclui que é necessário uma teoria mais geral que englobe: a teoria da TRR

válida e aplicável a campos gravíticos nulos e referenciais não acelerados; e a Gravitação Newtoniana aplicável a campos gravíticos fracos, baixas velocidades e zonas restritas do Universo.

2.3. Curvatura do Espaço-Tempo na vizinhança de massas

A curvatura do espaço-tempo na vizinhança de massas deverá ser apresentada a partir do problema suscitado pela alínea b) do ponto 2.2.

2.3.1. A Curvatura do Tempo

O problema da alínea b) do ponto 2.2. pode ser resolvido de duas maneiras, admitindo:

a) Ou que a velocidade da luz não é um invariante;

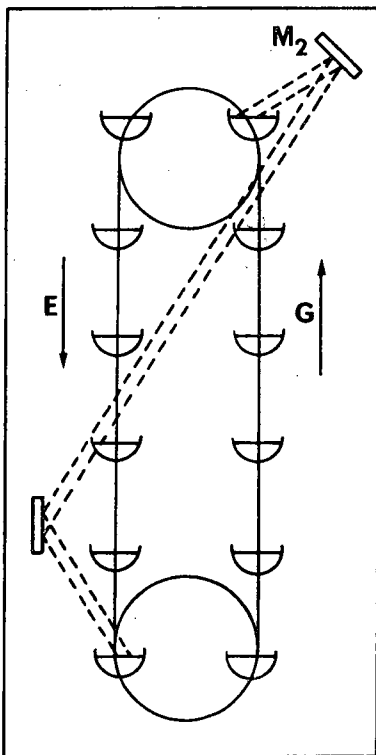


Fig. 2 — Experiência dos Alcatruzes — Os alcatruzes do lado esquerdo contém átomos excitados, que ao chegarem ao ponto mais baixo desexcitam-se para o nível mais baixo de energia, perdendo um fóton, que é reabsorvido no ponto mais alto. A experiência mostra que os fótons têm de se deslocar inexoravelmente para o vermelho, pois que a não ser assim estaríamos perante um «moto contínuo».

b) Ou que o tempo se escoia mais lentamente quanto mais intenso é o campo gravítico.

A segunda hipótese é a correcta. A sua justificação deverá ser apresentada através da experiência dos alcatruzes apresentada na Fig. 2 (ref. [5]) e que permite concluir que o tempo se escoia mais lentamente à superfície da Terra do que a uma altitude H. Esta conclusão é, aliás, coerente com aquilo que seria de esperar dum fóton lançado em queda livre de uma altura H [3]. À superfície ele teria uma massa dada por

$$m_{\text{sup}} = m_{\text{topo}} \left(1 + \frac{gH}{c^2} \right) \quad (3)$$

atendendo a que a sua energia teria que ser a energia à altura H mais a energia potencial entretanto transformada em energia cinética. Ou seja, e porque $m = hv/c^2$

$$v_{\text{sup}} = v_{\text{topo}} \left(1 + \frac{gH}{c^2} \right) \quad (4)$$

Isto só será possível se a coordenada tempo for curva (Fig. 3). Estas conclusões serão aproveitadas para referir:

a) O que se passa com gémeos nascidos ao nível do mar e em que um deles foi viver para o Tibet, por exemplo;

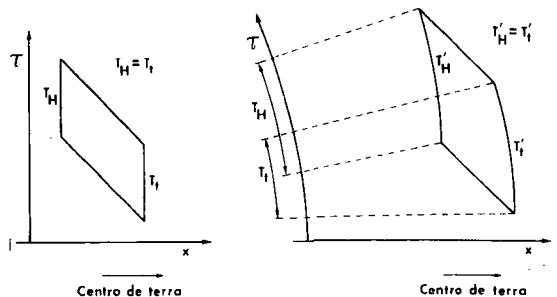


Fig. 3 — Curvatura da Coordenada Tempo — A coordenada tempo tem de ser curva porque em espaço de Minkowski uma onda monocromática enviada da Terra para uma altura H tem período na Terra T_t , e na altura H, T_H , com $T_t < T_H$. Ora isto é contraditório com as propriedades do paralelogramo que representaria a deslocação dos extremos do período da superfície da Terra para a altura H, pelo que a coordenada tempo tem de ser curva [3].

b) As observações do ritmo de funcionamento de relógios atômicos conforme a distância à Terra, e a observação do efeito Mossbauer, por exemplo, que verificam estes factos [3];

c) O desvio gravitacional para o vermelho das anãs-brancas, ou de qualquer onda monocromática que se afaste de qualquer corpo celeste;

d) A causa real da gravidade que tem a ver com o facto de sendo as trajectórias linhas rectas no quadri-espaço e com esta aproximação, então se o tempo é curvo os corpos têm de mudar obrigatoriamente de posição no espaço (Fig. 4);

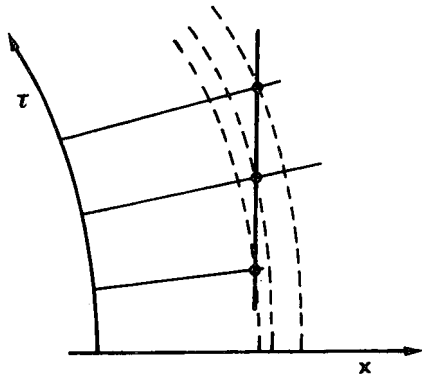


Fig. 4 — A explicação da Gravidade — Os corpos entregues a si mesmos num campo gravítico caem porque têm de deslocar-se no espaço-tempo segundo linhas rectas se admitirmos que não existe curvatura do espaço associado à curvatura do tempo. Porém como o tempo é curvo, os corpos deslocam-se no espaço. Daqui se conclue que não existe qualquer força associada à gravitação, e, portanto, não existe, de facto, campo gravítico.

e) Associado ao ponto anterior o facto de que se a distância a percorrer pelo corpo for longa, ou o corpo for muito massivo, então ele pode atingir a velocidade da luz num tempo próprio finito, embora no referencial de observação nunca a possa atingir, e que esta curiosa propriedade está associada à ideia de buraco negro.

2.3.2. A Curvatura do Espaço

A curvatura do espaço será apresentada em primeira aproximação como consequência da curvatura do tempo (o que faz com que a Fig. 4 não esteja correcta, visto que as rectas têm de ser substituídas por geodésicas). Posteriormente deverá ser assumida como complemento indissociável da curvatura do tempo.

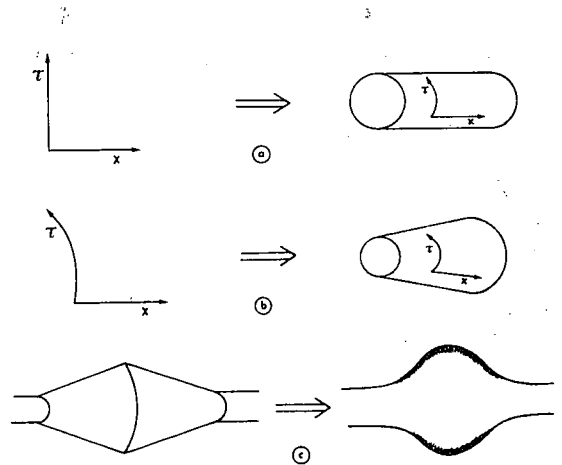


Fig. 5 — Topologia do Espaço-tempo ao longo duma direcção Radial a partir do centro da Terra — A figura mostra os passos topológicos para definir a topologia em epígrafe. Na figura (a) estabelece-se a homologia entre o espaço-tempo plano e a sua representação cilíndrica; a figura (b) é a homologia entre a representação dum espaço-tempo com coordenada tempo curva e um cone; a figura (c) é a homologia entre a primeira aproximação da representação da topologia do espaço-tempo para uma recta passando pelo centro da Terra, e que corresponde à sobreposição de dois cones pela base, e a sua representação final depois de fazer o alizamento das superfícies [6].

O primeiro aspecto pode ser apresentado usando a representação da Fig. 5, que mostra o comportamento topológico duma recta passando pelo centro da Terra. A figura mostra claramente a existência de uma curvatura da coordenada de espaço que está associada à coordenada tempo.

A curvatura própria do espaço deverá ser mostrada a partir da deflexão da luz num campo gravítico (Fig. 6). A conjugação desta curvatura própria do espaço, com o efeito da curvatura do tempo, ou seja, a curvatura global do espaço-tempo, faz com que a deflexão da

luz seja o dobro do previsto, pelo que é intrínseca das diferenças no fluir no tempo. Esta curvatura foi confirmada pela primeira vez em 1919 por Sir Arthur Eddington para a deflecção da luz nas proximidades do Sol, e constitui

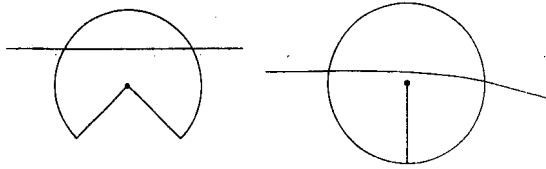


Fig. 6 — Deflecção da luz num Campo Gravitico — A curvatura própria do espaço pode ser simulada através dum filtro de papel no qual se corta um triângulo e depois se unem os lados cortados. Se antes de os lados serem unidos se traçar uma recta, então depois de unidos aparece uma curva. É esta curvatura um dos aspectos da curva dos raios. A outra tem a ver com a curvatura própria do tempo.

uma das formas de se exibir a curvatura do espaço-tempo. Esta curvatura do espaço é ainda responsável pelo efeito da precessão do periélio de Mercúrio (Fig. 7).

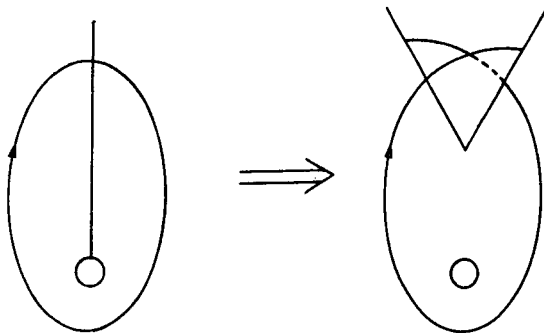


Fig. 7 — Precessão do Periélio de Mercúrio — O mesmo método usado na figura anterior permite explicar este fenómeno. Tome-se a trajectória dum planeta num espaço sem curvatura. Faça-se uma incisão na trajectória. Se se dobrar as duas pontas como indicado na figura, então verifica-se que há precessão da órbita.

Viu-se que o fenómeno da gravitação na presença de massas impõe a curvatura do espaço-tempo. Então isso implica o abandono do espaço de Minkowski, e teremos que usar geometrias não-euclidianas.

2.3.3. Os Buracos Negros

O buraco negro pode ser apresentado como uma catástrofe na estrutura do espaço-tempo, uma singularidade consequência da extrema curvatura do tempo (Fig. 8).

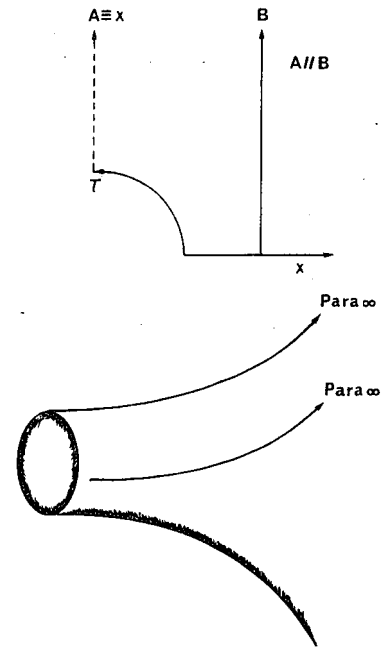


Fig. 8 — Topologia dos Buracos Negros — A topologia dum buraco negro pode ser indicada partindo da topologia do espaço-tempo vista na Fig. 5. Se se aumentar a massa do corpo esférico, o raio da circunferência associada ao centro aumenta, e a partir duma certa massa o seu raio torna-se infinito.

Deverá ser aqui apresentado um dos aspectos mais interessantes dos buracos negros: embora os viajantes consigam mergulhar neles, o observador de referência vê eternamente o viajante a aproximar-se deles (Fig. 9).

2.4. A Questão Cosmológica

A Cosmologia e seus problemas básicos serão apresentados partindo da descoberta de Hubble, a expansão do Universo. Esta conclusão deverá ser exposta pela seguinte ordem:

- a) Desvio para o vermelho da luz oriunda das galáxias;

b) Admitindo o efeito Doppler, então a velocidade é directamente proporcional à distância (Lei de Hubble);

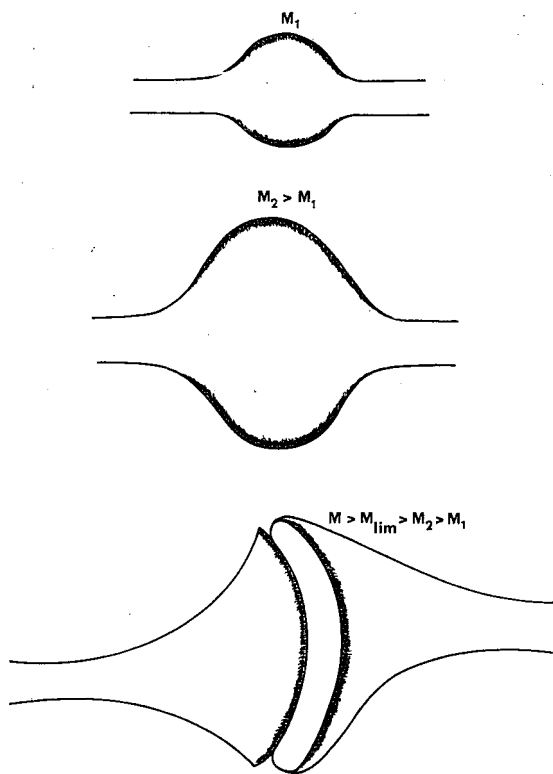


Fig. 9— Viajante a aproximar-se de um buraco negro — A figura (a) mostra como a extrema curvatura do tempo permite explicar os buracos negros: a trajetória no espaço-tempo torna-se paralela à direcção do espaço e, portanto, embora o corpo no referencial de observação nunca atinja o buraco negro, no seu referencial próprio atinge-o.

c) Daqui se conclui que o Universo se expande e que existe um instante inicial.

A exposição deverá continuar com a apresentação dos seguintes dados de observação:

a) O Universo contém um número finito de galáxias;

b) Obedece ao Princípio Cosmológico, ou seja, é homogéneo e isotrópico em larga escala;

c) Tem uma radiação de fundo, que é uma radiação fóssil do instante inicial.

Nós estamos interessados em construir um modelo do Universo. Portanto este modelo terá que obedecer aos seguintes pressupostos:

- 1) O Universo é finito;
- 2) É homogéneo e isotrópico e portanto sem fronteiras (se as tivesse, na vizinhança da fronteira não seria isotrópico e haveria uma descontinuidade da homogeneidade);
- 3) Pretende-se reproduzi-lo num modelo à escala.

O modelo do Universo-ilha de Newton (admite o espaço infinito, mas o número de objectos finito, concentrando-se estes numa região desse mesmo espaço) que nos é sugerido pela observação, não serve pois que:

- a) Tem tendência para se exaurir de energia, visto apresentar uma fronteira;
- b) Viola o princípio Cosmológico;
- c) Tem dificuldade em explicar como continuamos a receber radiação de fundo.

A alínea c) poderia talvez ser explicada usando a TRR (Epstein, 1983). O tempo próprio das galáxias que se movem em relação a nós com velocidade próximas da da luz é muito menor que o nosso tempo. Porém, para além de não ser compreensível como este movimento pode ser explicado pela TRR realizando-se no quadro de interações gravíticas no qual ela não é válida, esta tentativa de explicação gera três dificuldades adicionais:

1) A simetria de situações como consequência do princípio cosmológico torna difícil coordenar a noção de tempo;

2) Não é compreensível por que motivo as galáxias mais longínquas têm maior velocidade;

3) As velocidades de recessão dos objectos distantes são tão próximas da da luz que não poderiam ser estáveis, pelo que a explicação do desvio para o vermelho não pode ser a do desvio para o vermelho não pode ser a do efeito Doppler.

Porém o modelo do Universo de Newton assenta na Geometria de Euclides, válida na

zona do Universo que habitamos. Ora para que se possa fazer um modelo global do Universo, é necessário que a sua geometria seja a da região onde se pretende fazer o modelo à escala; daí que [7]

«as leis da geometria euclideana serão válidas no Universo não porque sejam directamente verificáveis, mas porque este pode ser reproduzido num modelo à escala».

Mas a afirmação contra-recíproca também é verdadeira ou seja

«se não puder ser feito modelo à escala, não existe geometria euclideana».

Donde se pode concluir que sendo o modelo de Newton a única saída viável para fazer um modelo à nossa escala, então como ele não se aplica à larga escala do Universo, a geometria deste é globalmente não euclideana [7].

A afirmação anterior e a sua conjugação com o que nos é sugerido pela observação directa, implicam que o Universo se nos apresenta como Newtoniano em todos os pontos de observação, isto é, a descrição em cada ponto corresponde a cartas cuja sucessão permite descrever o Universo na sua globalidade [7].

2.5. A crise da Geometria de Euclides

Viu-se que o espaço-tempo, tanto na vizinhança de corpos massivos como na larga escala do Universo, tem de ser descrito por uma geometria não-euclideana. Devido às propriedades métricas do espaço-tempo, isto pressupõe a apresentação das ideias-base da geometria Riemanniana.

2.5.1. Introdução à Geometria de Riemann

Os alunos deverão adquirir a percepção de que a geometria à superfície da Terra não é euclideana em larga escala. Isto implica que

as curvas mais curtas entre dois pontos são círculos máximos, e as distâncias não podem ser medidas da forma euclideana usual. Este exemplo permite apresentar as ideias base das geometrias riemannianas.

Em geometria euclideana, e estando a trabalhar em coordenadas cartesianas, as distâncias são dadas por

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 \equiv (dx_1)^2 + (dx_2)^2 + (dx_3)^2 \quad (5)$$

Ora suponhamos que o espaço não é euclideano (exemplificado com generalidade através do caso dum espaço bidimensional como o que está afecto a uma chapa ondulada). Então podemos generalizar o conceito anterior e fazer

$$ds^2 = g_{ik} dx_i dx_k \quad (6)$$

$g_{ii} = 1$, $g_{ik} = 0$, $i \neq k$, em geometria euclideana e coordenadas cartesianas. Ora os g_{ik} são fundamentais para estabelecer distâncias. Os g_{ik} podem ser muito bem compreendidos passando em geometria euclideana de coordenadas cartesianas para coordenadas esféricas, embora aqui o espaço permaneça euclideano. Estes coeficientes caracterizam o espaço e o conceito geométrico fundamental passa a ser o de distância.

Deverá ser aqui referido que os espaços de Riemann apresentam dois tipos de geometria: intrínseca e extrínseca. A geometria intrínseca diz respeito a propriedades do espaço que resultam de medições interiores ao próprio espaço. A geometria extrínseca diz respeito a todas as outras propriedades. Exemplifiquemos com o caso da esfera. A sua superfície é um espaço limitado mas sem fronteiras. Esta propriedade pode ser medida à superfície da esfera. Trata-se duma propriedade geométrica intrínseca. A sombra que projecta é uma propriedade geométrica extrínseca.

A curvatura é uma propriedade geométrica intrínseca dos espaços de Riemann. Ela pode ser exibida, por exemplo, através das distorções obtidas com representações Euclidianas de porções do espaço em estudo, a que chamaremos mapas. Vejamos as consequências sobre a TRG.

2.5.2. A Geometria de Riemann-Minkowski

Em TRR tínhamos

$$ds^2 = c^2 dt^2 - (dx_1)^2 - (dx_2)^2 - (dx_3)^2 \quad (7)$$
$$= (dx_0)^2 - (dx_1)^2 - (dx_2)^2 - (dx_3)^2$$

A comparação com a métrica Euclideana

$$ds^2 = (dx_1)^2 + (dx_2)^2 + (dx_3)^2 \quad (8)$$

permitiu definir os Espaços de Minkowski.

Como em TRG o espaço-tempo apresenta curvatura podemos pôr com generalidade

$$ds^2 = g_{ik} dx_i dx_k \quad (9)$$

em que $i, k=0... 3$. Esta expressão de ds^2 corresponde à generalização do espaço de Minkowski, combinando-o com as ideias dos espaços de Riemann. A expressão (9) pode ser exemplificada com um referencial acelerado: o referencial associado a um disco centrado no seu eixo de rotação. Ainda no caso do disco, poderá mostrar-se por meio de um raciocínio físico simples que a relação entre a circunferência e o raio é maior que 2π .

Comparando (5) com (7) teremos $g_{ik} = \eta_{ik} = \text{diag}(1, -1, -1, -1)$ onde η é a matriz de Minkowski. Os espaços de Riemann têm a propriedade de ser possível encontrar localmente uma transformação de coordenadas que os apresente euclidianos, pelo que os espaços de Riemann-Minkowski têm localmente o espaço de Minkowski associado (concepção de espaço tangente).

No que diz respeito às geometrias intrínseca e extrínseca do espaço da TRG, verifica-se que neste caso não existe geometria extrínseca. A curvatura dos vários tipos de espaço será feita não através de mapas, o que no caso do Universo seria mesmo impossível, mas de propriedades mensuráveis nos nossos pontos de observação.

2.6. A medição de distâncias e a simultaneidade de acontecimentos

A possibilidade de medir distâncias, de forma tradicional, está intimamente relacionada

com o facto de estas serem independentes do instante de medida, isto é, a possibilidade de sincronizar os relógios nos extremos da distância a medir. Este facto deverá ser referido aos alunos como uma impossibilidade de o fazer em TRG, com esta perspectiva. O tempo flui de forma diversa em vários pontos do espaço e os referenciais têm um carácter local.

Este carácter local da estrutura do espaço-tempo deverá servir para apresentar a parábola da maçã (Misner et al, 1973, pág. 3), que exhibe o Princípio geodésico, ou seja, as trajetórias dum corpo entregue a si próprio no espaço-tempo são geodésicas. Ao mesmo tempo deverão ser reformulados os conceitos de distância e de simultaneidade de acontecimentos na perspectiva de Landau e Lifschitz [8], concluindo que quando a métrica varia no tempo, em geral é impossível medir distâncias.

No que diz respeito às distâncias no Universo, o único procedimento correcto é:

- a) Abandonar a noção de distância universal como consequência da criação de espaço, ou seja, da variação da sua matéria com o tempo;
- b) Visto não podermos definir distâncias não podemos definir velocidades;
- c) Explicar o desvio para o vermelho numa perspectiva cosmológica em que é consequência da criação de espaço entre os corpos;
- d) Aceitar o modelo newtoniano em distâncias muito curtas.

2.7. O paradoxo dos gémeos em referenciais acelerados e gravíticos

O paradoxo dos gémeos deverá ser aqui apresentado como generalização do que se passa em TRR. Deverá ainda ser apresentado o caso do que se passa quando um dos gémeos está no centro da Terra e o outro oscila em torno do centro, comparando a evolução deste caso com a dum referencial acelerado (Fig. 10).

Como no caso gravítico apontado a reunião dos gémeos faz com que não haja mudança

de idade entre eles; isto mostra bem que o Princípio de Equivalência não tem aplicação universal.

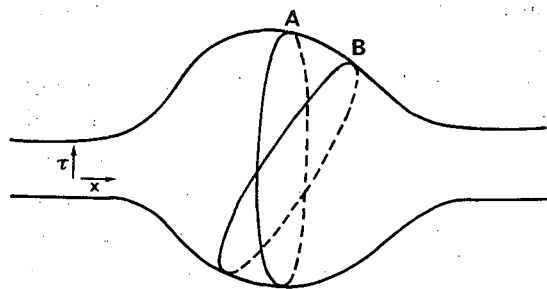


Fig. 10 — Paradoxo dos gémeos em referencial gravítico — Apesar da sua aceleração, os gémeos no caso em apreço na altura da sua reunião têm sempre a mesma idade. Um referencial acelerado não goza desta propriedade.

3. A Formulação Rigorosa da TRG

A formulação rigorosa do carácter geométrico dos espaços de Riemann-Minkowski deverá ser apresentada nas acções de formação de professores, na perspectiva de Bondi [5], mas devido à sua complexidade não poderá ser incluída nos currícula dos alunos.

Trata-se de mostrar como as variações de aceleração em espaço livre dependem dum tensor de quatro índices, que pode ser assimilado ao tensor de Riemann-Christoffel para um espaço curvo quadridimensional. A seguir introduz-se o tensor de Einstein por considerações de ordem física e finalmente estabelecem-se as equações de Einstein que permitem relacionar a curvatura do espaço-tempo com as fontes dessa curvatura.

Esta exposição necessita da apresentação de noções rudimentares de Cálculo Tensorial, que permitam definir espaços de Riemann numa forma muito mais rigorosa do que em 2.5. Por outro lado deverá ser apresentado o conceito fundamental de transporte paralelo e o seu significado físico.

4. Conclusões

O esquema programático exposto constitui a formação mínima indispensável para que os

professores do ensino secundário possam no futuro, que se deseja próximo, leccionar estas matérias aos alunos nos currícula normais. As matérias propostas foram apresentadas na perspectiva de serem leccionadas a jovens, embora a própria prática das acções de formação venha a sugerir uma melhoria desta apresentação.

Nas acções de formação não poderão ser esquecidos os temas de Astronomia (Astrofísica e Cosmologia Física) em que a TRG desempenha um papel importante. Eles deverão ser referidos com generalidade, na perspectiva de Kourganoff (1980).

Todo o trabalho aqui proposto implica que a formação dos professores nos seus cursos de Licenciatura contenha a TR e a Astronomia. Só isso tornará estes cursos de formação a longo prazo desnecessários.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Prof. Manuel José de Abreu Faro o encorajamento para a realização dos dois artigos desta série e a sua leitura crítica. Agradecem ainda a valiosa cooperação do Sr. Manuel Quintas, desenhador gráfico do Complexo Interdisciplinar I do Instituto Nacional de Investigação Científica na realização dos desenhos de ambos os artigos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] CABRITA, F. e DA COSTA, A. A. — *Gazeta de Física*, **10**, 99 (1987).
- [2] EINSTEIN, A. e INFELD, L. — *A Evolução da Física*, Livros do Brasil Editores (1939).
- [3] MISNER, C. W.; WHEELER, J. A. and THORNE, K. S. — *Gravitation*, p. 16, Freeman & Co. (1973).
- [4] EINSTEIN, A. — «Relativity: The Special and the General Theory» Methuen & Co. Ltd. (1952).
- [5] BONDI, H. — *Eur. J. Phys.*, **7**, 106 (1986); reproduzido de French, A. P., ed. (1979) «Einstein: a Centenary Volume» Heinemann London.
- [6] EPSTEIN, L. C. — «Relativity Visualized» Insight Press (1983).
- [7] CALLAHAN, J. J. — *Sci. Am.*, **235** (2), 90 (1976).
- [8] LANDAU, L. e LIFSCHITZ, E. — «Théorie des Champs» Editions Mir Moscovo (1970).

Avaliação no Ensino da Física

JORGE ANTÓNIO VALADARES

Projecto Universidade Aberta

VÍTOR DUARTE TEODORO

Faculdade de Ciências e Tecnologia (UNL)

Nas últimas décadas a investigação educacional mostrou o papel extremamente importante que desempenha a avaliação no processo de ensino-aprendizagem. A avaliação, anteriormente reduzida a uma mera formalidade administrativa por muitos professores, passou a ser encarada como um processo que, se bem conduzido, pode melhorar significativamente o processo de ensino-aprendizagem, facilitando a tomada de decisões ajustadas e atempadas.

Neste texto apresenta-se uma breve síntese de algumas ideias desenvolvidas durante a Oficina de Trabalho «Avaliação no Ensino da Física» realizada durante o 1.º Encontro Regional sobre o Ensino da Física. Estas ideias foram concretizadas com base em documentos diversos (Testes de Física, glossários, exemplos de itens, etc.) oferecidos aos participantes e que podem ser obtidos do 2.º autor.

1. Algumas ideias fundamentais em avaliação

A avaliação desempenha múltiplos e diversificados papéis. Não se restringe à recolha de informação para decisões administrativas.

Os momentos de avaliação são momentos privilegiados de aprendizagem. Devem ser, por isso, frequentes e enquadrados nas restantes actividades.

Avaliar pressupõe a formulação de juízos de valor. Mas um juízo de valor, apesar de subjectivo — diferentes pessoas têm diferentes quadros de valores — não é uma opinião arbitrária. Um juízo de valor é uma opinião fundamentada, que pressupõe a identificação correcta das características (qualidades, conhecimentos e capacidades) a avaliar, bem como a escolha ou o desenvolvimento de técnicas de avaliação apropriadas [Anderson *et. al.*, 1976]. Estas técnicas baseiam-se nos instrumentos de avaliação (que não se restringem aos testes) para os quais há uma metodologia própria de desenvolvimento, em que os pontos chave correspondem à determinação da sua *validade* — em que medida se encontram adequados ao fim em vista? — e também da sua *fidelidade* — a informação que permitem obter está sujeita a uma

grande ou a uma pequena margem de erro?

Se a avaliação correcta procura fundamentar os juízos de valor, também é um facto que a formulação destes nunca será isenta de factores subjectivos. A subjectividade é inerente ao processo de avaliação.

Um outro facto importante a reconhecer em todo o processo de avaliação é o de este nunca ter carácter definitivo. Toda a avaliação é localizada no tempo e tem, portanto, um carácter transitório, tal como toda a aprendizagem humana.

2. A procura de uma definição

Como processo complexo e multifacetado que é, a avaliação não é fácil de definir. Uma possível definição [Gronlund, 1971], reforça o papel da definição de objectivos: *A avaliação é um processo sistemático de determinar o grau de consecução dos objectivos educacionais.* Note-se que esta definição considera a avaliação como um *processo sistemático*, o que pressupõe que a observação não controlada e ocasional dos alunos não constitui a avaliação.

Uma outra definição, quanto a nós mais completa, é a seguinte: *a avaliação é um*

processo de recolha e interpretação sistemática de informação que conduz à formulação de juízos de valor que fundamentam a tomada de decisões [Beeby, 1977]. Um aspecto importante que esta definição destaca é a formulação de *juízos de valor*, avaliar é, portanto, diferente de medir quantitativamente. Concretizando, não basta concluir que um aluno teve 60 % num dado teste. É necessário inferir se esse resultado é fraco ou excelente, se indica que o aluno atingiu ou não os objectivos de nível mínimo, em que medida atingiu os objectos de desenvolvimento, que capacidades estão satisfatoriamente desenvolvidas ou por desenvolver, que conceitos estão assimilados ou por assimilar, que dificuldades na aprendizagem traduz, que deficiências em pré-requisitos revela, etc..

Outro ponto a considerar é o que concerne às decisões a tomar. O resultado da avaliação de cada aluno não se pode restringir a um mero elemento numérico ou qualitativo. Deve indicar, também, as actividades de remediação que o aluno deve realizar de modo a suprir as deficiências que revelou bem como as correcções a introduzir no processo individual de aprendizagem. Scriven [1967], utilizou o termo *avaliação formativa* para designar a avaliação vista sobre este aspecto.

3. Objectivos e avaliação

Definir objectivos é uma forma de comunicar intenções de ensino. Existe uma diversidade de processos de definir objectivos, alguns mais adequados ao ensino programado e/ou a processos de *treino profissional* [Mager, 1962] e outros mais adequados à *educação*, entendida esta nos seus aspectos globais. Os diferentes níveis de definição de objectivos — objectivos do sistema de ensino, objectivos de curso, objectivos de disciplina, objectivos de unidade de ensino — são formulados por diferentes intervenientes no processo educativo. Durante a década de 70 deu-se considerável importância à definição de objectivos comportamentais — i.e., objectivos que traduzem comportamentos que o aluno deve manifestar para demonstrar

que os atingiu. Actualmente, os educadores relativizam a importância da definição de tal tipo de objectivos, uma vez que as extensas listas de comportamentos a alterar com a aprendizagem se revelaram de pouca utilidade e até nocivas em formativos níveis de aprendizagem.

4. Características fundamentais de uma prova de avaliação

Já atrás se afirmou que as características fundamentais que uma prova de avaliação deve possuir são a sua *validade* — deve permitir avaliar o que se pretende avaliar — e a sua *fidelidade* — deve permitir avaliar com um mínimo de erro, isto é, se repetida em condições idênticas (na mesma forma ou sob formas equivalentes) deve fornecer resultados análogos.

Para que uma prova possua estas características, deve, entre outros aspectos, abranger uma amostra representativa da matéria, e ser constituída por itens correctamente escritos, sem ambiguidades, com poder discriminante positivo (o poder discriminante de um item indica em que medida o item diferencia os *bons* alunos dos *maus* alunos) e com facilidade não muito elevada nem muito reduzida.

Um dos processos de determinar a validade de uma prova consiste em submeter a prova a um *painel de validação* constituído por docentes experientes não envolvidos na sua elaboração. Estes devem confrontar as *finalidades e as especificações da prova* com o seu conteúdo.

As *especificações de um teste* dependem da finalidade do mesmo. Por exemplo, um teste que se destina a *seleccionar* alunos para acederem ao ensino superior deve possuir uma maioria de itens de facilidade média (i.e., próxima dos 60 %). São precisamente os itens de facilidade média que mais contribuem para a variância de resultados e, portanto, para a existência de notas significativamente diferentes entre os candidatos. Este critério não é aplicável, por exemplo, a testes de domínio ou competência.

5. Testes, itens e notas nos testes

Os diferentes tipos de itens apresentam diferente complexidade na sua elaboração. Em geral, quanto mais complexa for a sua elaboração, mais fácil e mais fiel é a sua correcção.

É possível classificar os itens em dois grandes grupos: *itens de produção de resposta* (ex.: *itens de ensaio* e *itens de resposta curta*) e *itens de selecção de resposta* (ex.: *itens de escolha múltipla* e *itens verdadeiro-falso*). Na generalidade das situações de avaliação na sala de aula, os itens de produção de resposta apresentam características que os tornam mais adequados. Assim, são mais fáceis de elaborar — embora mais difíceis de corrigir — e, principalmente, permitem avaliar algumas capacidades que dificilmente podem ser avaliadas por itens de selecção de resposta. Os bons itens de selecção de resposta, em particular os de escolha múltipla, são de difícil elaboração. Por outro lado, a utilização excessiva e indiscriminada de itens de selecção de resposta influencia negativamente a capacidade de expressão escrita, um dos principais objectivos da escola formal. Isto não significa que o professor não deva utilizar testes de escolha múltipla, por exemplo. Desde que conhecedor das técnicas da construção e consciente das suas limitações e do seu enquadramento educativo, é possível ao professor utilizar com proveito tal tipo de testes. Um bom proveito resulta, em particular, da análise das respostas dos estudantes, das conclusões dessa análise e das correcções que pode induzir no próprio processo de ensino-aprendizagem.

Tem sido tradição na cultura pedagógica em Portugal a utilização de um critério fixo para a nota mínima satisfatória num teste — o critério do *meio da tabela*: 50 % ou 10 na escala de 20. Este critério não tem qualquer justificação plausível: porquê 50 % e não 70 %? A transformação de dados quantitativos em qualitativos é um passo essencial no processo de avaliação. Não existe, no entanto, um único modo de o fazer. Assim, 50 % pode corresponder a uma informação de *insatisfatório* ou de *satisfatório*, consoante a finalidade e as características do teste. Num teste cujo

objectivo é avaliar conhecimentos e capacidades mínimas essenciais, um resultado de 50 % é claramente insatisfatório. Num teste cuja finalidade é avaliar capacidades de elevado nível, estando pressuposto que as de nível essencial mínimo já estão satisfatoriamente avaliadas, 50 % pode corresponder a uma informação bastante satisfatória.

6. O ensino e a avaliação a nível de desenvolvimento versus ensino e avaliação a nível essencial mínimo

Quando se pretende que os estudantes desenvolvam determinadas capacidades cognitivas básicas e dominem determinados pré-requisitos de aprendizagem subsequentes, há necessidade de se efectuar uma avaliação numa base de *um para um*. Consciencializam-se os alunos dos objectivos essenciais a atingir, desenvolvem-se estratégias adequadas à sua consecução e avaliam-se esses objectivos um a um.

Mas não se pode nem deve, num ensino que se pretende muito para além do nível de treino, ficar por aí. Neste caso, torna-se necessário ter presente as finalidades mais gerais que se pretende atingir com a aprendizagem e, como tal, devem formular-se questões baseadas em tarefas que não foram explicitamente formuladas, desde que essas tarefas apontem para esses objectivos mais gerais. Daí o facto de ser indesejável tentar explicitar todo o tipo de tarefas que podem constar dos momentos de avaliação.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, Ball *et al.* — Enciclopédia de Avaliação Educacional. São Francisco (1976).
- GRONLUND, N. — Measurement and Evaluation in Teaching. New York (1971).
- BEEBY, R. — The Meaning of evaluation (*in Current Issues in Education*: n.º 4, Evaluation). Wellington (1977).
- SCRIVEN, M. — The Methodology of Evaluation (*in R. Tyler, R. Gagné & M. Scriven* (eds), Perspectives of curriculum evaluation). Chicago (1967).
- MAGER, R. — Preparing Objectives for Programmed Instruction. California, (1962).
- POPHAM, J. — Two decades of Educational Objectives, *Int. J. of Educat. Res.*, 11, 31 (1987).

Ciência Integrada: uma inovação curricular para a reforma do ensino das ciências (*)

ANA ESGALHADO

Departamento de Educação, Faculdade de Ciências de Lisboa

Introdução

Está prevista na proposta de Reforma do Sistema Educativo, actualmente em discussão, uma disciplina de Ciência Integrada para substituir, ao nível do 3.º ciclo da escola básica, as disciplinas de Físico-Química, Ciências da Natureza e Biologia.

Os professores presentes no 1.º Encontro Regional de Lisboa sobre o Ensino da Física, mostraram-se preocupados com a criação desta disciplina e com as consequências que ela pode vir a ter no ensino da Física, levantando questões a propósito da definição do seu currículo.

Este artigo pretende responder à questão «O que pode vir a ser uma disciplina de Ciência Integrada?», que animou o debate final do referido Encontro; são sugeridos alguns elementos de reflexão necessários para qualquer inovação curricular: a ligação entre objectivos da educação e conteúdos do ensino, os problemas postos pela natureza do conhecimento científico, a investigação sobre as dificuldades na aquisição de conceitos, o sentido da escolaridade obrigatória.

1. Questões sobre a Reforma do Sistema Educativo

O debate final do 1.º Encontro Regional de Lisboa sobre o Ensino da Física articulou-se em torno de dois aspectos principais da Reforma do Sistema Educativo: os meios humanos e materiais e a renovação curricular.

A principal preocupação ali manifestada diz respeito à reciclagem e à formação contínua dos professores em actividade embora fosse acentuado que é essencial uma melhoria das

condições de trabalho nas escolas do ensino básico e secundário. O ensino experimental da Física foi considerado indispensável, e formulada a exigência de laboratórios bem aparelhados que o permitam.

Sobre a renovação curricular foi referido que esta deve ter como principal objectivo a diminuição do insucesso escolar em Física, considerado muito elevado, e sobretudo a necessidade de se discutir a viabilidade de uma disciplina de ciência integrada.

A propósito da disciplina de ciência integrada os professores levantaram um conjunto de questões quanto à sua definição e quanto às pessoas ou comissões que vão ser responsáveis pela sua organização curricular. As reacções manifestadas podem resumir-se:

— numa adesão aos princípios de interdisciplinaridade e do ensino simultâneo das diferentes ciências experimentais;

— numa recusa de considerar o ensino da Física juntamente com outras ciências porque os fenómenos físicos têm uma especificidade própria;

— numa dificuldade em conceber situações de ensino-aprendizagem que integrem efectivamente a Física, a Química, a Biologia e a Geologia.

2. O que é ciência integrada?

A criação da disciplina de ciência integrada inclui-se na intenção mais vasta de diminuir o número de disciplinas imposto aos alunos do

(*) Comunicação apresentada no I Encontro Regional de Lisboa sobre o Ensino da Física, 10-12 Fevereiro 1988; Vide Gaz. Física, 11, 41 (1988).

3.º ciclo da escolaridade obrigatória. Os objectivos considerados essenciais para uma cultura científica a transmitir neste nível de escolaridade são o *desenvolvimento de atitudes científicas* e a *aquisição de um saber científico relevante para a interpretação do mundo actual*.

Mas, criar por decreto uma disciplina de ciência integrada não define o seu funcionamento. Torna-se necessário definir o seu âmbito.

Trata-se de desenvolver um programa que justaponha um pouco de Física, de Química, de Biologia e de Geologia?

Trata-se de eleger uma destas disciplinas como linha condutora e referir pontualmente as outras, à medida que forem sendo necessárias?

Trata-se de partir de fenómenos da vida quotidiana ou de interesses específicos dos alunos para mostrar como as várias ciências são necessárias para abordar a complexidade dos problemas reais?

Trata-se de desenvolver situações-problema onde o modo como diversos modelos científicos interagem na construção de soluções seja posto em evidência?

3. A ligação entre conteúdos e objectivos da educação

Os professores que encaram positivamente o ensino simultâneo das ciências experimentais pensam que este pode mais facilmente contribuir para o desenvolvimento de atitudes científicas; por outro lado, os defensores do rigor científico, argumentam que só o ensino individualizado das disciplinas pode fazer adquirir um saber científico relevante.

Mas o que é um saber científico relevante e quais as condições da sua aquisição? E quais são as atitudes científicas? As vantagens apontadas para a disciplina de ciência integrada dizem respeito às finalidades da educação científica enquanto que a sua recusa se justifica pela necessidade de rigor científico e também pelas dificuldades na escolha das actividades adequadas para a sua implementação.

A definição da disciplina de ciência integrada repõe o problema da articulação entre objectivos e conteúdos no ensino das ciências. A criação de um currículo passa necessariamente pela articulação dos objectivos com as actividades realizadas na sala de aula; estas não podem ser planificadas apenas para reunir várias ciências num mesmo espaço disciplinar, mas têm que ser a expressão dos objectivos enunciados.

Cada actividade realizada na sala de aula concretiza objectivos precisos (explícitos ou implícitos) sobre conteúdos particulares; mas têm também que ser a expressão dos objectivos definidos para a iniciação científica. Como é que a intenção de desenvolver atitudes científicas e a intenção de fazer adquirir um saber científico relevante para a interpretação do mundo actual podem ser consideradas simultaneamente?

A disciplina de ciência integrada para ser um espaço de articulação entre os conteúdos e os objectivos do ensino das ciências não pode ser definida em termos de *pontos de um programa*, que se resume a uma lista de assuntos. É necessário criar um conjunto de *situações pedagógicas* que explicitem quais são as atitudes científicas a desenvolver e que definem quais são os saberes científicos relevantes e quais as condições da sua aquisição.

As situações pedagógicas são problemáticas; devem ser escolhidas em função dos processos que permitem a construção das soluções. Assim, os conteúdos respondem a uma questão cuja relevância reside nos objectivos da iniciação científica; por outro lado, esses conteúdos devem pôr em evidência a necessidade de modelos científicos na construção de soluções.

O conhecimento das diferentes ciências não é estanque, isto é, a Física, a Química, a Biologia e a Geologia podem relacionar-se entre si; mas esta possibilidade de relacionamento não quer justamente dizer que elas são distintas? A definição de situações pedagógicas permitiria separar a utilização dos modelos das diferentes ciências sem isolar a aquisição dos conceitos fundamentais comuns.

A definição da disciplina de ciência integrada como um espaço de articulação conceptual passa pela resposta às perguntas:

— como é que os alunos vão trabalhar nas aulas de ciências?

— que actividades é que a integração das ciências vai permitir realizar na sala de aula e fora dela?

— sobre que objectos científicos vão incidir essas actividades?

4. A reflexão epistemológica sobre a ciência

O desenvolvimento de atitudes científicas é fundamental; em particular alguns autores referem-se à «compreensão da natureza da ciência», como a maior finalidade da educação científica, sobretudo quando as modificações curriculares introduzem uma diminuição da carga horária para as disciplinas de ciências (Anderson, Harty e Samuel, 1986).

A crença de que a ciência procede apenas de forma indutiva é combatida actualmente por várias epistemologias, embora seja defendida por outras. Assim, não podemos considerar que o desenvolvimento de atitudes científicas ao nível da iniciação científica se possa limitar à necessidade de formular hipóteses e de realizar experiências.

As ciências constroem representações do real. Cada ciência começa por decompor, isolar, seleccionar para construir os seus objectos; os objectos científicos são objectos construídos, que em nenhum caso se confundem com a realidade.

Uma ciência não é um amontoado de factos objectivos; a relevância do conhecimento científico está nos conceitos e teorias fundamentais de cada ciência; os factos que elas põem em evidência não são operacionais, não resolvem problemas nem permitem fazer previsões (Thom, 1988).

O conhecimento científico é uma passagem de um nível superficial de entendimento dos fenómenos (saber comum) para um outro mais

profundo, mais focado e mais universal. São as ideias do saber comum que permitem colocar um problema, mas é *contra* elas que, segundo Bachelard, o conhecimento científico se constrói; esta ruptura entre saber comum e conhecimento científico dá-se no quadro conceptual restrito de uma disciplina.

Vários autores como Popper e Kuhn apresentaram teorias para explicar o crescimento dos conhecimentos científicos nas quais a experiência científica tem um estatuto fundamental, embora diferente (Gil, 1979); por outro lado os cientistas defendem que a interação entre teoria e experiência é a chave do avanço dos conhecimentos científicos.

De acordo com alguns autores (Ruegg, 1983, Astolfi e col., 1978) a ciência já feita é distinta da ciência que está em vias de ser elaborada: a investigação em curso é anárquica, explora todas as vias sugeridas pela actividade. Quando a ciência está em constituição a relevância dos conceitos e das soluções encontradas para os problemas postos não aparece de imediato.

Assim, a reflexão sobre a natureza do conhecimento científico coloca questões importantes à definição em termos pedagógicos das atitudes científicas e da escolha dos saberes científicos relevantes.

Uma disciplina de ciência integrada não pode desenvolver atitudes científicas se a dimensão epistemológica da construção do conhecimento científico não for devidamente considerada.

5. As dificuldades na aquisição dos conceitos

O conhecimento científico adquirido é uma *reconstrução à posteriori* dos caminhos que fizeram aparecer as soluções certas, onde os conceitos principais se apresentam como evidentes. Mas nenhum conceito aparece como essencial fora de uma teoria que o torna necessário. Por exemplo, os conceitos físicos só são relevantes na problemática que os físicos constroem para interpretar o mundo.

Existem, no entanto, conceitos utilizados em várias ciências, como o de temperatura, que têm a sua génese nas experiências da vida quotidiana; outros são transdisciplinares como o conceito de energia. Todavia os conceitos transdisciplinares nascem numa ciência; quando o seu poder explicativo é muito grande são então utilizados noutros contextos.

De um modo geral, várias investigações mostraram que existem obstáculos conceptuais à apropriação dos conhecimentos científicos pelos alunos em situação escolar; estes constroem representações alternativas dos conceitos às quais são simultaneamente atribuídas características do saber científico e características do saber comum. Como A. Tiberghien (1.º Encontro Regional de Lisboa sobre o Ensino da Física, 1988) mostrou, os problemas físicos aparecem aos alunos numa perspectiva própria, que nada têm a ver com a problemática do físico. Nesses contextos os alunos utilizam concepções diferentes dos modelos físicos, mais ou menos próximas destes, mas que são operacionais e relevantes para os contextos em que os alunos funcionam.

Será possível pensar que os conceitos fundamentais, podem ser construídos correctamente fora da lógica de um modelo científico?

6. O sentido da escolaridade obrigatória

Finalmente esta disciplina de ciência integrada é a disciplina de iniciação científica da escolaridade obrigatória. Este aspecto da questão não é certamente o menos importante.

A iniciação científica não deve ser uma forma explícita ou camuflada de selecção, pois a escola obrigatória é fundamentalmente uma promoção de capacidades que são necessárias a todos os alunos. Por isso, a iniciação científica na escolaridade obrigatória tem como meta criar atitudes positivas relativamente à ciência, necessárias a todos os cidadãos integrados na sociedade actual em que vivem.

As aprendizagens idênticas para toda a população escolar embora legitimamente fundamentadas, colocam o problema complexo da

diferenciação dos ritmos, gostos e capacidades de aprendizagem.

Será que todos os alunos devem ser obrigados a conhecer todas as ciências? Não seria desejável, no âmbito da escolaridade obrigatória, permitir aos alunos uma opção entre blocos de conteúdos científicos?

É possível conceber blocos de ciência integrada, onde o grau de integração seja menor do que o previsto na actual proposta de Reforma do Sistema Educativo. Estes blocos seriam constituídos por conjuntos de situações-problema, onde fossem apresentados em maior número modelos científicos de duas ciências experimentais.

Esta alternativa garantiria uma iniciação às atitudes e métodos das ciências experimentais em qualquer dos blocos de ciência integrada; mas exigiria uma reflexão profunda sobre os esquemas conceptuais organizadores de cada bloco pois os conceitos mais relevantes, como o conceito de energia, deveriam estar presentes em todos eles.

7. Alguns desafios para concluir

A criação de uma ou de várias disciplinas de ciência integrada aparece como um desafio interessante na área da inovação curricular, em que é necessário considerar:

- que a meta para a iniciação científica na escolaridade obrigatória é a criação de atitudes positivas relativamente à ciência, independentemente dos blocos de ciência integrada estudados;
- uma opção pedagógica sobre o tipo de actividades que os alunos devem realizar na iniciação científica;
- a dimensão epistemológica da construção do conhecimento científico;
- os resultados da investigação em didáctica das ciências que consideram que as dificuldades no acesso aos conceitos científicos se devem ao facto de os alunos não se apropriarem do contexto do cientista.

Um currículo de ciência integrada deve incluir um conjunto suficientemente vasto de situações-problemas onde diversos modelos científicos sejam postos em evidência e definir quais as atitudes e processos científicos a desenvolver; sobretudo deve constituir um currículo adaptável, estruturado em termos de actividades essenciais (obrigatórias) e de actividades de extensão ou de desenvolvimento.

A definição da(s) disciplina(s) de ciência integrada deveria ser preparada no âmbito de um grupo de inovação curricular constituído por especialistas em educação científica e em filosofia das ciências, suficientemente pequeno para que uma opção pedagógica unificada fosse possível e deveria poder contar com o apoio efectivo de especialistas na análise dos conteúdos das várias disciplinas e, ainda, com a colaboração dos especialistas em psicologia da educação e sociologia da educação que deverão apoiar todos os projectos de renovação curricular previstos na actual proposta de Reforma do Sistema Educativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, HANS, HARTY, HAROLD e SAMUEL, K. V. — Nature of Science, 1969 and 1984: Perspectives of Preservice Secondary Science Teachers, *School Science and Mathematics*, Vol. 86 (1) January (1986).
- ASTOLFI, GIORDAN, GOHAU, HOST, ARTINAND, RUMELHARD, ZADOUNAÏSKY — *Quelle éducation scientifique pour quelle société*, P.U.F., Paris (1978).
- D'HAINAUT, LOUIS — *Des fins aux objectifs de l'éducation*, Editions Labor, Bruxelles (1980).
- GIL, FERNANDO — História das Ciências e Epistemologia, in Carrilho, M. (org.) *História e Prática das Ciências*, A Regra do Jogo, Lisboa (1979).
- LEGRAND, LOUIS — *L'école unique à quelles conditions*, Editions du Scarabée, Paris (1981).
- RUEGG, H. — Les critères de vérité dans la recherche en physique, in Buscaglia, Lalive d'Epiney, Morel Ruegg, Vonèche (org.) *Les critères de vérité dans la recherche scientifique*, Maloine s.a. éditeur, Paris (1983).
- Les actes du premier atelier international — *Recherche en Didactique de la Physique*, éditions du C.N.R.S., Paris (1984).
- THOM, RENÉ — O método experimental: um mito dos epistemólogos (e dos sábios), in Hamburger, Jean (coord.) (1988) *A Filosofia das Ciências Hoje*, Editorial Fragmentos, Lisboa.

O prémio Nobel de Física foi este ano atribuído aos cientistas americanos Leon Lederman, Melvin Schwartz e Jack Steinberger, pelos seus trabalhos pioneiros na produção de feixes de neutrinos, que realizaram na Universidade de Columbia, New York, no início da década de 60, e no seu uso para descobrir outras partículas do mundo sub-atómico.

O neutrino é uma partícula sem carga eléctrica e praticamente sem massa (se é mesmo nula ou apenas extremamente pequena é uma questão em aberto). Enquanto os electrões, com a sua carga eléctrica, sofrem os efeitos das interacções electromagnéticas, os neutrinos são apenas sensíveis às chamadas interacções fracas (além das gravíticas, a que todas as partículas estão sujeitas).

Nos fins da década de 50 os físicos de Partículas Elementares tinham plena consciência da importância e oportunidade do desenvolvimento de técnicas experimentais para a produção de feixes de neutrinos com vista ao estudo das Interacções Fracas às altas energias. Tanto o CERN na Europa como o Brookhaven National Laboratory dos Estados Unidos iniciaram então projectos com vista à produção desses feixes de neutrinos.

Seria o Grupo americano, com os três galardoados Nobel então na Universidade de Columbia, que conseguiria realizar no Brookhaven National Laboratory o primeiro feixe de neutrinos e sua utilização em trabalhos de investigação. Em breve Lederman descobria o neutrino muónico iniciando uma nova via de acesso ao mundo fascinante das partículas sub-atómicas.

Lederman, de 66 anos, é hoje o Director do prestigioso Laboratório Fermi em Illinois, Schwartz, de 55 anos, é o Presidente da sua própria companhia de comunicações por computador, na Califórnia, e Steinberger, de 67 anos, trabalha no CERN em Genève.

Em próximo número, *Gazeta de Física* fará uma mais extensa referência aos neutrinos e suas propriedades, produção de feixes de neutrinos e sua importância no campo das Partículas Elementares, como homenagem, embora singela, aos três laureados Nobel de 1988.

VI Conferência Nacional de Física

Aveiro 27 a 30 de Setembro de 1988

Intervenção do Secretário-Geral, Filipe Duarte Santos na sessão de encerramento.

Estamos a terminar mais uma Conferência Nacional de Física — a 6.^a — e creio bem poder dizer que se cumpriram os objectivos visados. Tivemos 4 dias de agradável convívio científico entre os cerca de 540 participantes: pessoas que fazem da Física a sua actividade profissional na investigação e desenvolvimento experimental, no ensino e estudantes de Física. Estudantes de Física penso que, na prática, somos todos porque trata-se de uma ciência exigente com uma evolução e diversificação muito rápidas que exigem uma actualização permanente para se poder ser interveniente.

O modelo adoptado para esta Conferência teve a vantagem de dar uma grande liberdade de participação aos que nela se inscreveram. Apesar da Conferência não ser temática, a correlação entre os temas das palestras e dos posters permitiu uma fácil organização e economia do tempo por parte dos participantes. Quem esteve presente durante os 4 dias ficou com uma panorâmica actual da física nas suas várias especializações: física das altas energias e partículas elementares, astrofísica, onde tivemos a magnífica palestra do Dr. Hubert Reeves que nos levou até aos primeiros instantes da criação do Universo, física nuclear, física atómica, física molecular, física dos plasmas, ensino da física, metrologia, meteorologia e geofísica. Houve a preocupação de escolher conferencistas de grande qualidade, bem conhecidos internacionalmente na sua área científica e de fazer um contraponto entre especialistas portugueses e estrangeiros. Relativamente a cada área da Física os posters apresentados revelaram uma panorâmica do que se realiza em Portugal.

E a conclusão é que não estamos mal, embora esta constatação sirva apenas para reconhecer que temos já um razoável ponto de partida para fazer muito melhor, o necessário para atingir os padrões do centro da Europa. É importante salientar que a física, a física de boa qualidade, não conhece fronteiras e quando um português publica um artigo numa revista especializada com verdadeira projecção internacional ele está na vanguarda da ciência a abrir caminhos novos. Neste contexto é bem agradável ler uma recente publicação do Instituto Nacional de Investigação Científica contendo os títulos dos trabalhos científicos publicados de 1975 a 1988 pelos investigadores portugueses dos Centros de Física do INIC. Isto é apenas uma parte do total dos trabalhos de Física publicados por investigadores portugueses. Contudo é uma parte que constitui já um conjunto apreciável e de bom nível; 1780 trabalhos no total!

Nos últimos anos tem-se aumentado de modo espectacular a colaboração entre investigadores portugueses e estrangeiros no domínio da Física. É já significativo o número de físicos de outros países que vêm aos nossos Laboratórios e Universidades realizar estágios, efectuar visitas mais ou menos longas, colaborar em experiências e até, em alguns casos, ficar em Portugal.

O número de comunicações apresentadas na Física 88 que resultaram de uma colaboração com grupos de outros países é um reflexo eloquente daquela tendência. É um desenvolvimento positivo e promissor, sobretudo na perspectiva de uma mais efectiva integração europeia em 1992.

É grato verificar que a percentagem das comunicações apresentadas nas Conferências

Nacionais que tratam de problemas de Física Aplicada continua a aumentar. Isto dá-se apesar de existir em Portugal uma barreira muito pronunciada entre as actividades de Física e de Engenharia. Tal barreira praticamente não existe em países como a Holanda (onde a Philips é uma das principais fontes de emprego para os físicos) ou o Reino Unido. Em Portugal é ainda insignificante o número de físicos que exercem a sua actividade na indústria. É um aspecto negativo que tem a ver com o nosso conservadorismo. As pessoas não são avaliadas pelo que efectivamente sabem fazer mas sim prioritariamente através de análises curriculares formais. Mais tarde ou mais cedo havemos de assistir a uma corrente de jovens físicos que, após o mestrado ou o doutoramento, tomam a iniciativa de estabelecer a sua pequena empresa baseada em ideias e métodos novos que desenvolveram. A possibilidade de isto se dar tem a ver com muitos factores, entre eles o ensino tanto a nível secundário como superior. Será que as nossas Universidades preparam físicos tendo em vista o fomento daquela corrente voltada às iniciativas práticas? Creio que não.

É essencial que o Governo e a Indústria reconheçam por meio de acções concretas que a investigação e o desenvolvimento experimental na área da Física são rentáveis a curto, a médio e sobretudo a longo prazo. O aumento recente do investimento na investigação, gerador de grande entusiasmo e vontade de progredir, deve continuar. É extremamente prejudicial uma política que na prática progrida aos solavancos, com oscilações bruscas nos orçamentos de ano para ano. São precisos mais investigadores e é necessário que tanto no ensino como na investigação os vencimentos sejam atraentes. Ouvimos ontem aqui nesta sala que a fracção da população activa em actividades de investigação e desenvolvimento experimental é apenas de 2 por mil em Portugal enquanto que na Irlanda é de 4, Itália 5, Holanda 10, etc. A qualidade da actividade

em ciência e tecnologia e a sua contribuição para o desenvolvimento do país dependerá sempre e de modo crucial dos incentivos que forem dados aos investigadores e docentes. É um truismo que é necessário repetir com frequência.

A Física ocupa uma posição chave no caminho para o desenvolvimento científico e tecnológico do país.

Bastará lembrar as suas aplicações na electrónica, computadores, telecomunicações, robótica, ciência dos materiais, instrumentação nuclear, óptica, medicina, metrologia, ciências do ambiente, etc. São pois necessários físicos com boa formação, dispostos a enfrentar problemas novos e a aceitar os desafios de um desenvolvimento tecnológico acelerado. Como se obtém? Penso que a motivação profunda para seguir uma carreira profissional em Física é essencialmente de carácter lúdico. A Física é realmente fascinante; as suas fronteiras estão em constante expansão e tanto no espaço como no tempo vão desde o infinitamente grande ao infinitamente pequeno. A descoberta das leis físicas da natureza nos seus mais variados e profundos detalhes é uma tarefa apaixonante. É pois essencial que o ensino da Física contenha o reflexo da sua dinâmica no mundo actual, revele a sua espectacular variedade e mostre que a Física é fundamentalmente uma ciência de carácter experimental em que o espírito de observação atenta desempenha um papel primordial. Como nos dizia ontem Sir Brian Pippard os grandes físicos são pessoas muito atentas, interessadas e motivadas pelo mundo que os rodeia e pela observação dos fenómenos que nele se dão.

Infelizmente a situação do ensino da Física a nível secundário no nosso país é muito má. Os problemas fundamentais estão identificados. Há suficiente consenso sobre o que há a fazer para melhorar a qualidade do ensino da Física e a imagem negativa que esta disciplina projecta nos alunos. É urgente passar à acção. Um dos principais problemas é a necessidade de formação e actualização de professores. Neste

domínio a Sociedade Portuguesa de Física (SPF) tem dado um contributo importante através da realização de cursos e encontros a nível regional e nacional. Desde a Física 86 em Braga a acção da SPF tem sido mais empenhada e profunda e creio que ela vai continuar a intensificar-se no futuro.

Gostaria de aproveitar esta oportunidade para referir brevemente algumas informações sobre a SPF. Na Assembleia Geral que se realizou na passada 2.^a-feira, 26, foi decidido dissolver a Divisão Técnica de Cristalografia. Os poucos sócios que nela estavam inscritos concordaram em pertencer à Divisão Técnica de Física da Matéria Condensada. Por outro lado criaram-se duas novas Divisões; a Divisão Técnica de Física Atómica e Molecular e a Divisão Técnica de Meteorologia, Geofísica e Astrofísica. As Divisões da SPF são pois actualmente 6: Física Nuclear e Partículas Elementares, Física Atómica e Molecular, Física da Matéria Condensada, Óptica, Meteorologia, Geofísica e Astrofísica e Educação. Os sócios interessados nos temas das duas novas Divisões devem inscrever-se nelas nas Delegações a que pertencem. Eles serão os eleitores do coordenador. Eleições que de acordo com o regulamento das Divisões Técnicas devem realizar-se até Fevereiro de 1989. Importa salientar que a actividade de uma Divisão depende essencialmente do dinamismo e da dedicação dos sócios que nela participam.

As outras informações que gostaria de dar referem-se à realização de futuras conferências.

A European Physical Society (EPS) decidiu realizar anualmente uma conferência de Física nos países do Sul da Europa. Esta série de conferências tem o nome de Southern European Physics Conference sendo a 1.^a na Turquia em 1990 com o tema de semicondutores. Há grande probabilidade de que em 1991 tal conferência se realize em Portugal. Em 1990 realiza-se em Lisboa a Conferência Europeia de Física da Matéria Condensada patrocinada pela EPS e de cuja organização a SPF foi

encarregada. Esta é uma das grandes conferências europeias de Física com uma participação da ordem das 1000 pessoas. Estão ainda programadas duas conferências em Portugal sobre temas específicos de ensino da Física: uma da série «Europhysics Study Conference» e a outra organizada pelo «Groupe International de Recherche sur l'enseignement de la Physique».

Finalmente a Física 90! Regressamos ao Sul; depois de Braga em 86 e Aveiro em 88 é a vez da Delegação Regional do Sul organizar a Conferência Nacional. A Conferência deverá realizar-se em Lisboa fechando assim o ciclo iniciado em 1978 quando se realizou a 1.^a Conferência Nacional de Física.

Penso que não há qualquer exagero em afirmar que a Física 88 foi um grande sucesso. A organização da conferência foi exemplar. Desde a escolha dos conferencistas até ao programa social tudo foi planeado e realizado com grande empenho e correu do melhor modo. Isto deve-se ao trabalho e ao empenhamento da Comissão Organizadora e muito em especial ao Prof. Manuel Fernandes Thomaz que dedicou muitas horas do seu tempo a planejar e a organizar a conferência em todos os seus aspectos. E não é fácil organizar uma conferência em que se esperam cerca de 500 participantes e para a qual, à partida, não há subsídios garantidos. Em nome dos participantes na Física 88 e em nome da SPF queremos agradecer a todas as entidades nacionais e internacionais que apoiaram a realização da conferência. Tenho a honra de mencionar em especial a Universidade de Aveiro e a Câmara Municipal de Aveiro que contribuíram decisivamente para tornar a nossa estadia muito agradável e útil profissionalmente.

Em nome dos participantes e da SPF queremos agradecer à Comissão Organizadora da Física 88 e a todos aqueles que de algum modo participaram na sua organização, o seu trabalho e entusiasmo por esta iniciativa. Vamos com boas recordações da magnífica conferência de Aveiro.

4.^{as} Olimpíadas de Física

Provas Regionais 1988

1. Delegação de Lisboa

(Fac. Ciências, 28-5-88)

9.º Ano

Actividade 1 (duração 1 hora)

1. Verifiquem se sobre a vossa mesa de trabalho dispõem do seguinte material: Prato (1); Copo (1); Moeda (1); Garrafa de água (1).

2. Vertam água no copo até cerca de 2/3 e coloquem dentro a moeda. Coloquem o prato sobre o copo com água e invertam cuidadosamente o conjunto.

3. Podem observar uma ou mais imagens da moeda, conforme a posição em que se encontrarem relativamente ao copo.

4. Descrevam as diferentes situações observadas.

5. Apresentem uma justificação possível para cada uma das situações observadas.

Actividade 2 (duração 1 hora e 30 minutos)

Olhando o Rio Tejo podem ver-se barcos das mais variadas dimensões.

Porque flutuam os barcos?

Nesta actividade irão encontrar uma resposta para a questão colocada.

1. Verifiquem se têm ao vosso dispor o seguinte material: Esfera de plasticina (1); Berlindes (3); Cubo de madeira (1); Chumbada (1); Dinamómetro (1); Copo cónico graduado; Água.

2. De entre os objectos fornecidos distingam os que flutuam dos que não flutuam.

3. Modelem a porção de plasticina com que trabalharam na questão 2. de modo a que flutue.

4. Planeiem e descrevam uma situação experimental com a finalidade de determinarem os valores da impulsão (ver nota) para os diferentes objectos incluindo a plasticina, nas duas formas com que trabalharam.

Nota sobre a Impulsão:

Todo o corpo sólido mergulhado num líquido fica sujeito a uma impulsão, isto é, uma força de direcção vertical e sentido de baixo para cima, cuja intensidade é igual ao valor do peso do volume de líquido deslocado.

5. Realizem a situação experimental planeada anteriormente.

6. Registem todos os dados recolhidos e determinem os valores da impulsão para os diferentes casos.

7. Tendo em conta os resultados encontrados anteriormente, tentem responder à questão colocada no início da actividade.

8. Prevejam possíveis diferenças nos resultados experimentais se tivessem trabalhado com água salgada de densidade 1,2.

9. Imaginem que passeavam à beira de um pequeno lago e que viam ao largo um pescador retirar pedras do seu barco e lançá-las à água.

Será que o nível da água no lago se alteraria devido ao ocorrido? Que vos parece? Fundamentem a vossa resposta.

11.º Ano

Actividade 1 (duração 1 hora e 45 minutos)

Nesta actividade vão investigar os vários factores que podem afectar o período de oscilação de um pêndulo.

1. Verifiquem se têm ao vosso dispor o seguinte material: Massas pendulares; Suporte (1); Cronómetro (1); Régua (1); Transferidor (1); Papel milimétrico.

2. Planeiem várias situações experimentais que permitem identificar os vários factores que podem afectar o período de oscilação de um pêndulo.

3. Descrevam cuidadosamente as situações experimentais que planearam e enumerem as precauções a serem tomadas em cada caso.

4. Realizem as experiências relativas às várias situações planeadas por vós.

5. Construam tabelas onde registem os valores obtidos para cada um dos factores estudados.

6. Elaborem gráficos a partir dos valores que registaram nas tabelas.

7. A partir da análise dos gráficos elaborados tentem estabelecer uma relação que traduza a forma como o período de oscilação do pêndulo varia com os factores estudados.

8. Qual o factor que vos parece afectar mais o período de oscilação do pêndulo?

9. Determinem experimentalmente o período de oscilação dum pêndulo de 25 cm de comprimento. Comparem este valor com o obtido a partir da relação que estabeleceram na alínea 7. Comentem os resultados obtidos.

10. Um determinado relógio de pêndulo atrasa sistematicamente.

O que fariam para o acertar?

Actividade 2 (duração 1 hora)

1. Mencionem, no mínimo, cinco aplicações da Física na vida quotidiana e na sociedade.

Para cada uma delas refiram o(s) princípio(s) da Física em que se baseia, bem como as vantagens e desvantagens a elas associadas.

2. Delegação de Coimbra

(Fac. Ciências e Tecnologia, 15-4-1988)

9.º Ano

Parte I (duração 1 hora)

Sobre a mesa de trabalho têm à vossa disposição o seguinte material:

- uma bobina;
- uma fonte de tensão que permite aplicar uma diferença de potencial (V) à bobina;
- um prego de aço;
- uma mola elástica;
- uma escala vertical em papel milimétrico;
- fios de ligação.

1) Liguem os terminais da fonte aos da bobina.

2) Suspendam o prego na mola elástica e esta no grampo do suporte vertical associado à bobina.

Quando a mola estiver em equilíbrio tomem, como referência, um ponto da parte

superior do prego. Marquem a posição desse ponto sobre a escala milimétrica.

Verifiquem se o prego entra parcialmente na cavidade cilíndrica (sem tocar as paredes).

3) Liguem a fonte de alimentação. Na bobina passa agora uma corrente eléctrica.

Façam variar lentamente o valor da diferença de potencial (V) lida no voltímetro (entre 0 e 12 V, no máximo).

a) — Descrevam o que observaram.

b) — i) Porque se deformou a mola?

ii) Qual terá sido a causa do movimento do prego?

iii) Porque é que a elongação da mola varia quando varia V lido no voltímetro?

c) — Registem as elongações sofridas pela mola, para 5 valores diferentes de V.

Nota — Não considerem os valores de V para os quais o prego fica encostado à parede interior da bobina.

d) — Representem graficamente a elongação da mola em função da intensidade da corrente que passa na bobina, sabendo que a resistência total do circuito é de 15 Ω .

4) Dispõem agora de um processo de conhecer a intensidade de corrente que passa na bobina, através de uma simples leitura da elongação da mola na escala vertical.

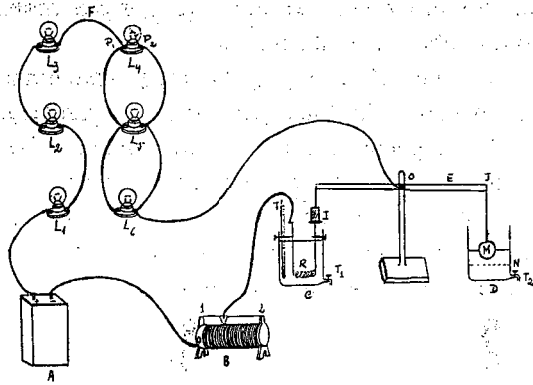
Se tivessem observado uma elongação de 5 mm, qual seria a intensidade da corrente que passava então na bobina?

Parte II (duração 1 hora)

Observem com atenção a montagem representada na figura anterior, pois, com base nela, vão responder às questões apresentadas. Poderão ver como algumas leis físicas que conhecem permitem prever o resultado da experiência e interpretar esse resultado.

Nas justificações que apresentem recorram, sempre que possível, a essas leis.

1) — a) Façam o esquema do circuito eléctrico, usando os símbolos convencionais.



- A — Bateria;
 B — Reóstato;
 C — Recipiente contendo água, com uma torneira (T₁), um termómetro (T') e uma resistência (R);
 D — Recipiente contendo água, com uma torneira (T₂);
 E — Alavanca metálica de fulcro O e com os dois braços iguais, cada um deles com 24 cm;
 M — Esfera de cortiça suspensa de uma extremidade da barra por um fio flexível;
 I — Corpo metálico suspenso da outra extremidade da barra E por um fio metálico flexível. O corpo contacta um dos extremos da resistência R.
 L₁ ... L₆ — Lâmpadas.

b) Indiquem, e situem no circuito, os instrumentos de medida que utilizariam para medir:

- i — a intensidade da corrente que percorre a lâmpada L₄;
 ii — a diferença de potencial nos terminais da lâmpada L₅.

2) — Se, nas condições da figura, as lâmpadas estiverem todas acesas, indiquem, justificando, o que aconteceria:

- a) se desenroscassem a lâmpada L₁;
 b) se desenroscassem a lâmpada L₅;
 c) se o fio F fosse ligado ao ponto P₂ em vez de ao ponto P₁;
 d) se deslocassem o cursor do reóstato para a extremidade 1;
 e) se deslocassem o cursor do reóstato para a extremidade 2.

3) — O corpo metálico (I) tem a massa de 10 g e a esfera M tem a massa de 30 g.

a) Indiquem o comportamento do circuito se a torneira T₂ for aberta, de modo a fazer

descer o nível da água até N. Apresentem a interpretação do comportamento que prevêm.

b) Em que zona da alavanca pode ser suspensa a esfera de cortiça (M) para que o circuito nunca seja interrompido?

4 — Admitam que, antes de fechar o circuito, a água do recipiente C estava à temperatura ambiente.

a) Que esperam que aconteça à temperatura marcada pelo termómetro T', 2 minutos depois de fechado o circuito? Justifiquem.

b) Indiquem, justificando, três procedimentos diferentes para poderem obter uma variação de temperatura superior à registada na alínea a).

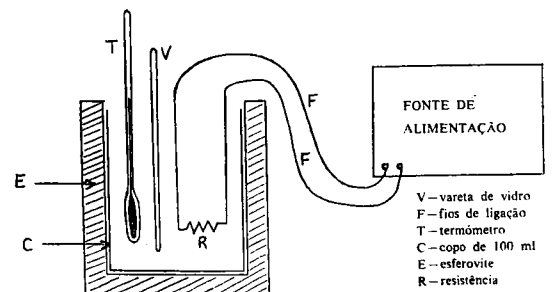
11.º Ano

Parte I (duração 1 hora e 45 minutos)

Sobre a tua mesa de trabalho encontras o seguinte material:

- fonte de alimentação;
- resistência com o valor indicado;
- termómetro;
- vareta de vidro;
- copo de 100 ml;
- vaso cónico de 150 ml;
- fios condutores;
- água desionizada e duplamente destilada;
- glicerina;
- bloco de esferovite.

Utiliza-o para preparar a montagem do calorímetro esquematizada na figura. Poderás assim estudar os efeitos térmicos da corrente eléctrica.



FONTE DE ALIMENTAÇÃO

- V — vareta de vidro
 F — fios de ligação
 T — termómetro
 C — copo de 100 ml
 E — esferovite
 R — resistência

A quantidade de calor Q , absorvida por uma massa m de determinada substância com calor específico c , é proporcional à variação de temperatura ΔT que experimenta ($Q = m c \Delta T$).

Os dois líquidos de que dispões são:

água	$\left\{ \begin{array}{l} \text{massa volúmica, } \rho = 1,0 \text{ g cm}^{-3} \\ \text{calor específico, } c = 4185,5 \text{ J Kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \end{array} \right.$
glicerina	
	$\left\{ \begin{array}{l} \text{massa volúmica, } \rho = 1,26 \text{ g cm}^{-3} \\ \text{calor específico a determinar} \end{array} \right.$

Na primeira parte do trabalho, enche o copo de vidro com 100 ml de água, faz as ligações para a montagem do circuito eléctrico e, a seguir, introduz cuidadosamente a resistência dentro da água. Após teres fechado o circuito, observa a evolução da temperatura, registando as leituras com intervalos de 1 minuto e durante um período de 10 minutos.

Numa segunda fase do trabalho, faz idêntico registo de leituras, após teres substituído a água por igual volume de glicerina.

Nota—O líquido deve ser cuidadosamente agitado com a vareta de vidro antes de cada leitura da temperatura. Deve também evitar-se aproximar demasiado o termómetro da resistência.

Realiza agora os cálculos necessários para responder às seguintes questões:

a) Qual a energia eléctrica dissipada pela resistência durante o intervalo de tempo que consideraste?

b) Que quantidade de calor foi perdida para o meio circundante (vaso, agitador, ar...) durante o mesmo intervalo de tempo?

c) Admitindo que as perdas de calor para o meio exterior são as mesmas no caso da água e da glicerina, qual o valor que prevê para o calor específico da glicerina líquida?

d) Supõe que podes dispôr de outra resistência igual àquela com que trabalhaste. Será mais vantajoso associar as duas resistências em série ou em paralelo para, no mesmo intervalo de tempo, e aplicando a mesma tensão, obter uma maior elevação da temperatura do líquido? Justifica a tua resposta.

e) A partir da relação $Q = m c \Delta T$ define a grandeza *calor específico*, c , de uma substância.

Parte II (duração: 1 hora)

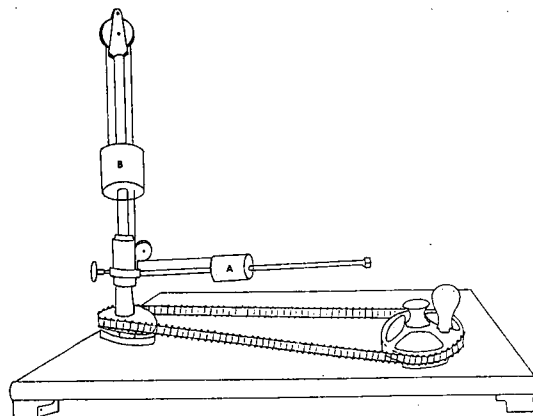
Observaste atentamente o modo de funcionamento do dispositivo esquematicamente representado na figura. Procura expor as tuas interpretações sobre aquilo que observaste nas respostas aos seguintes pontos:

a) Mostra que a aceleração centrípeta do movimento do bloco A tem sempre o mesmo valor, qualquer que seja o raio da trajectória circular por ele descrita e exprime esse valor em função de m_A e m_B .

b) Prova que se, de algum modo, fizermos aumentar o módulo da velocidade v , então o raio de curvatura da trajectória circular descrita por A irá também aumentar.

c) Estabelece a correspondência entre as forças que actuam num carro ao descrever uma curva e as forças aplicadas ao corpo de massa m_A .

d) Explica de que modo o estado dos pneus e o facto de o pavimento da estrada estar ou não molhado influi na segurança com que o automóvel pode descrever uma curva apertada com determinada velocidade.



3. Delegação do Porto

9.º Ano

Parte I (duração 1 hora e 30 minutos)

Pretende-se caracterizar, o mais completamente possível, o objecto (maciço e homogéneo) que vos é fornecido. Para tal está disponível o seguinte material: Amperímetro; Voltímetro; Pilhas (caixa de alimentação);

Fios de ligação; Bússola; Dinamómetro; Cra-veira; Proveta; Esguicho com água; Balança.

A — Medir e/ou calcular os valores de todas as grandezas físicas, relativas ao objecto fornecido, que for possível obter com o material disponível.

B — Apresentar um relatório sucinto dos procedimentos utilizados para a determinação dos valores de cada grandeza.

Parte II (duração 1 hora)

Identificar o material de que é feito o objecto que vos foi fornecido, com base nos dados do quadro seguinte que se refere a amostras de diferentes materiais.

Amostra de Material	Volume (cm ³)	Resistividade (x 10 ⁻⁸ Ω-cm)	Massa (g)	Calor específico ou mássico (cal/g °C)	Massa Volumica (g/cm ³)	Peso (N)	Cor Brilho
A	2.2	3.0	6.0	0.23	2.7	0.06	cinzenta metálico
B	1.6	9.0	3.0	0.25	1.9	0.30	— cinzenta
C	3.0	61.5	13.5	0.13	4.5	0.14	—
D	5.5	3500	6.0	0.16	1.1	0.06	—
E	3.0	6.3	19.6	0.11	6.6	0.20	metálico —

Indicar o material de que é feito o objecto fornecido. Justificar convenientemente a escolha feita.

Algumas indicações úteis

Calor específico ou mássico — é definido como a quantidade de calor Q que é necessário fornecer a um corpo de massa de uma unidade (por exemplo, 1 g) para que a sua temperatura aumente de 1 °C.

$$C = Q/m\Delta t.$$

Unidade mais usual: cal/g °C.

Massa volúmica — é definida como o quociente entre a massa de um corpo de uma dada substância e o seu volume.

$$\text{Massa volúmica} = m/V.$$

Unidade mais usual: g/cm³.

Pressão — é definida pelo quociente entre a intensidade da força F que actua perpendicular e uniformemente a uma superfície e a área dessa superfície, S.

$$\text{Pressão} = F/S.$$

Unidades mais usuais: atm, Pa.

Resistividade eléctrica — mede a resistência específica de um material condutor. Sendo R a resistência de um corpo de comprimento L e área de secção S a resistividade ρ é,

$$\rho = RS/L.$$

Unidade mais usual: Ω cm.

11.º Ano

Parte I (duração 1 hora e 30 minutos)

Pretende-se determinar a partir da queda de gotas de água de uma bureta:

- a aceleração de gravidade;
- a velocidade e a quantidade de movimento de uma gota no fim da queda.

1.1 — Procedimento experimental.

a) Executa a montagem ilustrada.

b) Ajusta cuidadosamente a torneira da bureta de modo a que 1 gota atinja a caixa no mesmo instante em que a seguinte comece a cair (observa a queda das gotas enquanto ouves o ruído que provocam na caixa). Deste modo, o tempo de queda de 1 gota é igual ao tempo que decorre entre a saída de 2 gotas consecutivas.

c) Procedes de modo a determinar o tempo de queda de 1 gota.

d) Determina a massa de uma gota.

e) Mede a altura de queda.

2.2 — Elaboração de um relatório.

Na elaboração do relatório deverás:

2.2.1 — Referir:

a) Como procedeste para medir as grandezas referidas em 1.1 c) d).

b) Como calculaste o valor das grandezas pretendidas.

2.2.2 — Fazer uma análise crítica dos resultados.

Tendo por base apenas o material a seguir referido, planeia uma experiência que permita determinar a resistência do condutor X, a f.e.m. e a resistência interna do gerador.

Material:

- 1 gerador electroquímico cuja f.e.m.(E) e resistência interna (r) são desconhecidas.
- 1 condutor de resistência conhecida (R).
- 1 condutor X de resistência desconhecida (R).
- 1 amperímetro de resistência desprezável.
- fios de ligação.

Descreve pormenorizadamente o planeamento adoptado.

NOVAS DIVISÕES TÉCNICAS DA SPF

- Meteorologia, Geofísica e Astrofísica
- Física Atómica e Molecular

Os sócios cuja actividade se relacione com as temáticas destas novas Divisões terão todo o interesse em se inscreverem nas mesmas. Os boletins de inscrição podem obter-se nas 3 Delegações Regionais, que também recebem os processos de inscrição.

Em Fevereiro de 1989 terão lugar as eleições dos respectivos Coordenadores, sendo eleitores os sócios inscritos nas Divisões até Dezembro de 1988.

O Regulamento das Divisões Técnicas está publicado na Gazeta de Física, vol. 8, 39 (1985).

Noticiário SPF

1. FÍSICA 88

Tal como estava anunciado, realizou-se em Aveiro, de 26 a 29 de Setembro passado, a 6.^a Conferência Nacional de Física — Física 88.

Embora a totalidade dos inscritos rondasse os 600, nunca terão estado presentes em simultâneo mais do que 300 participantes, dados os interesses especiais por certos temas e porque houve reuniões envolvendo físicos na mesma semana (Reunião Internacional DELPHI de 26 a 30 de Setembro em Lisboa e a 1.^a Reunião Ibérica do Vazio e suas Aplicações de 28 de Setembro a 1 de Outubro em Braga).

À sessão inaugural, presidida pelo Director Geral do Ensino Superior, em representação do Ministro da Educação, seguiu-se a conferência inaugural a cargo de Hubert Reeves sobre «Les premiers instants de l'Univers». Esta conferência foi aberta ao público e teve lugar no Teatro Aveirense. Todas as restantes sessões decorreram no edifício do CIFOP da Universidade de Aveiro.

Às conferências plenárias da tarde de 26 por E. Recknagel e J. Urbano sobre Física Nuclear e de H. B. Nielsen e J. Dias de Deus sobre Física Teórica, seguiu-se uma Recepção com Porto de Honra, oferecida pela Câmara Municipal de Aveiro.

No dia 27 de manhã foram as Conferências sobre Física da Matéria Condensada por G. Davies, M.^a Margarida Ramalho Costa, W. Hayes e J. Bessa Sousa e à tarde, na área de Física Atómica e Molecular, foram conferencistas H. Haberland e M. Laranjeira. A terminar o dia A. Quintanilha e R. Correia da Silva abordaram temas de Biofísica. Seguiram-se as visitas às caves de vinhos da Bairrada que terão ajudado a amenizar o programa.

Na 4.^a-feira, 28, houve pela manhã lições sobre Física dos Plasmas por J. Tachon e C. Matos Ferreira, a que se seguiram Sir Brian Pippard e João Caraça que abordaram temas de Ensino e da relação da Física com o Desen-

volvimento. A tarde desse dia era livre, tendo-se proporcionado aos participantes e acompanhantes um passeio ao Buçaco, visitas ao Museu da Vista Alegre e visitas ao Museu da Cidade. A Câmara Municipal convidou a Comissão Organizadora e os conferencistas convidados para um passeio de lancha na Ria de Aveiro que decorreu em ambiente de grande alegria e descontração. Para ajudar, o tempo estava óptimo. À noite foi o Jantar da Conferência, no Hotel Imperial, animado com a exibição do Rancho Folclórico de Eixo.

No último dia, 5.ª-feira, houve que fazer uma pequena alteração do programa, começando o dia com a sessão dedicada à Metrologia com conferências por D. Kind e Silvestre Antunes, às quais se seguiram J. Dépireux e J. Andrade e Silva que abordaram tópicos de Ensino da Física. Após o almoço a conferência de encerramento esteve a cargo de J. Pinto Peixoto e a finalizar houve uma sessão presidida pelo Secretário de Estado da Ciência e Tecnologia.

Em paralelo com as conferências decorriam as sessões dos «posters» correspondentes às quase 250 comunicações apresentadas.

Houve ainda exposições de equipamentos científicos e didácticos, livros, demonstrações de «software» para ensino da Física e uma exposição evocativa de João Jacinto de Magalhães, físico do séc. XVIII, natural de Aveiro.

Tal como nas anteriores conferências foi cunhada uma medalha comemorativa da Física 88.

M. FERNANDES THOMAZ

2. Divisões Técnicas da SPF

Após a eleição havida no ano em curso para os Coordenadores das Divisões Técnicas e as deliberações tomadas pelo Conselho Directivo da Sociedade, na sua reunião de 13 de Julho (de acordo com o Reg.º das Divisões Técnicas da SPF; Gaz. Fís., **8**, 39, 1985) ficaram assim constituídas as Comissões das diferentes Divisões:

Matéria Condensada

Coord. — João Bessa Sousa

Vogais — M. Margarida Ramalho Costa
— José Monteiro Moreira

Educação

Coord. — Jorge António Valadares

Vogais — Luís Lemos Alves

— Guilherme de Almeida

Óptica

Coord. — António Pereira Leite

Vogais — Luís Miguel Bernardo

— Manuel J. Bastos Marques

Física Nuclear e Partículas

Coord. — Augusto M. Barroso

Vogais — Ainda a designar.

3. Assembleia Geral da SPF

Realizou-se em Aveiro, no dia 26-9-88 a Assembleia Geral da Sociedade que tomou as seguintes deliberações:

Alteração das quotas

As novas quotas anuais, a vigorar a partir de 1-1-1989, são as seguintes:

Sócios Efectivos : 2.000 Esc.

Sócios Estudantes: 750 Esc.

Divisões Técnicas

a) Foram criadas as Divisões Técnicas de:

- Meteorologia, Geofísica e Astrofísica
- Física Atómica e Molecular

b) Foi extinta a Divisão Técnica de Cristalografia

4. Comissão Nacional de Cristalografia

A nova Comissão Nacional de Cristalografia na International Union of Crystallography é constituída por:

Presidente — Manuel Amaral Fortes

Secretária — M. Margarida Ramalho Costa

Membros — Maria Ondina Figueiredo

— Ricardo Quadrado

5. Delegação Regional de Lisboa

Colóquios de Outono
Recentes Desenvolvimentos da Física Moderna
(às 3.^{as}-feiras, 18 horas, na sede da SPF)

18 de Outubro

J. Ferreira da Silva (Fac. Ciências do Porto)
Supercondutores de alta temperatura crítica: características e potenciais aplicações.

25 de Outubro

E. Bodenstedt (ISK, Univ. Bona)
The Renaissance of γ -spectroscopy.

8 de Novembro

Teresa Lago (Fac. Ciências do Porto)
Astrofísica.

15 de Novembro

Margarida Tello da Gama (Fac. de Ciências de Lisboa)
O que há de novo em Física da Matéria Condensada.

22 de Novembro

J. Dias de Deus (Instituto Superior Técnico)
A Física das altas energias e o mundo das partículas elementares.

6. Delegação Regional do Porto

Olimpiadas de Física

Por lapso, de que pedimos desculpa, no último número da Gazeta os nomes da equipa vencedora da prova do 11.º ano estão errados. Os nomes certos são:

- Armando Jorge Miranda de Sousa
- Filipe de Faria Pacheco
- Pedro Margaridó Castro Mota

Acção de Formação

A Electrónica no Ensino Secundário.

Devido ao elevado número de pessoas que nos manifestaram interesse em participar, foi decidido, pelos responsáveis do curso, realizar um curso mais alargado em segunda fase. Nesta primeira fase foi restringida a participação a um número de 10, por convite.

A próxima repetição do curso, que terá a colaboração de alguns dos participantes do primeiro, deverá ser divulgada por circular às Escolas da Zona Norte.

Palestras

12 de Outubro, 17 horas (Anfiteatro do Lab. de Física, Fac. Ciências) — «O Universo Primitivo — teoria de Kaluza-Klein».

Pelo Doutor Paulo Gali de Macedo, da Fac. Ciências Univ. Porto.

31 de Outubro, Escola Sec. Almeida Garrett — «Mistérios Quânticos», repetição das palestras dadas nas Escolas S. de Paredes e Rodrigues de Freitas.

Pelo Doutor João Lopes dos Santos, da Fac. Ciências U. Porto.

7. Visita ao CERN de um grupo de professores do Ensino Secundário

1. Objectivos da visita

De 9 a 13 de Junho de 1988, um grupo de 30 professores de Física e Química dos anos terminais de várias escolas secundárias do país deslocou-se a Genebra com a finalidade de visitar o CERN.

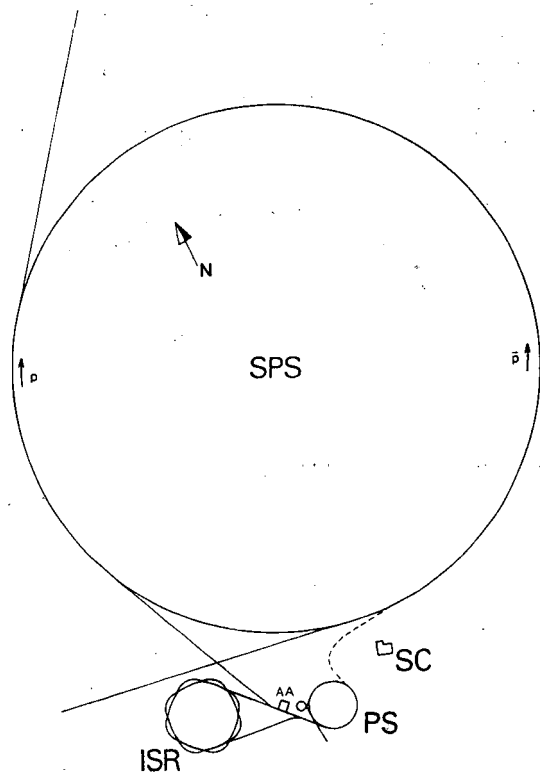
Esta visita contou com o apoio material da JNICT, que cobriu parte das despesas de deslocação, e com a boa vontade dos Conselhos Directivos dessas escolas que dispensaram os seus professores para o efeito.

O primeiro grande objectivo desta visita de estudo era propiciar a um leque variado de professores a oportunidade de contactar «in loco» com a investigação de ponta num domínio da Física em grande e contínuo desenvolvimento: a Física das altas energias.

Foi também considerado um objectivo prioritário que desse contacto directo com um dos maiores centros de investigação em Física das partículas, a nível mundial, resultasse um importante enriquecimento que, «a posteriori», seria disseminado entre os alunos e os restantes professores.

Consideramos que o primeiro objectivo foi devidamente atingido, não só pelo que nos foi dado observar, como pela série de documentos a que passámos a ter acesso.

O nosso presente trabalho já se integra no segundo dos objectivos da visita e estamos certos que será continuado por uma série de acções a desencadear nas escolas e na S.P.F., no próximo ano lectivo.



Esquema que mostra a disposição das máquinas de alta energia do CERN, e que se referem no texto.

2. Descrição sucinta da visita

A visita às instalações do CERN iniciou-se na zona de recepção em frente da qual se encontra uma escultura alusiva ao modelo nuclear do átomo e as bandeiras dos 14 países membros. Despertou a nossa particular atenção uma parte do pavimento da sala de recepção que, de uma maneira artisticamente bela, revelava a existência permanente da radiação cósmica.

A caminho do auditório, onde assistimos a uma palestra bem documentada e ao visionamento de um magnífico filme alusivo ao CERN, pudemos observar, não sem uma ponta de emoção, a primeira câmara de bolhas utilizada no CERN, hoje uma autêntica relíquia da história da ciência.

Do auditório passou-se à zona de controlo onde, continuamente e por turnos, pessoal técnico especializado assegura o bom funcionamento de toda a estrutura complexa do CERN.

Foi-nos dado observar protótipos de diversas máquinas disponíveis para acelerar e detectar partículas.

Em seguida atravessou-se a fronteira para visitar uma das áreas de investigação associadas ao SPS (Supersincrotrão de prótons), situada em território francês, onde pudemos observar de perto detectores de bolhas de efeito Cherenkov e electrónicos, dispositivos de alinhamento de feixes, alvos, poderosos electroímãs, etc., englobados numa complexa e impressionante estrutura destinada a variadas experiências em curso.

A título de exemplo, cite-se que estava em curso uma experiência sobre muões levada a cabo por uma equipa de físicos soviéticos.

A visita terminou com um almoço convívio de todos os professores num dos restaurantes do CERN.

Muitas das ruas por onde passámos ostentam nomes de cientistas célebres de várias nacionalidades que evocam a evolução da história da Física das partículas desde Becquerel a Yukawa, passando por Bohr, Fermi, etc.

Sensibilizou-nos esta maneira tão original de engrandecer a universalidade da ciência e perpetuar os nomes daqueles que lhe deram corpo.

3. O que é o CERN. Uma perspectiva histórica

O CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire), é uma organização que foi criada por meio de uma convenção de 1954, após um processo desencadeado pela UNESCO em 1951, e que tem como principal objectivo assegurar a colaboração, entre vários estados europeus, nas pesquisas nucleares de carácter estritamente científico e nas investigações com elas relacionadas. Os resultados dos seus trabalhos teórico-experimentais são regularmente publicados em revistas da especialidade e em outras publicações acessíveis ao grande público.

Os estados membros fundadores que ratificaram a Convenção de 1954 foram 12: a

Alemanha Federal, Bélgica, Dinamarca, França, Grã-Bretanha, Grécia, Holanda, Itália, Jugoslávia, Noruega, Suécia e Suíça. Posteriormente, a Áustria, a Espanha e Portugal aderiram à organização, respectivamente em 1959, 1961 e 1987. A Jugoslávia, em 1961, deixou de ser estado membro para passar a ter apenas o estatuto de observador. Igual estatuto têm a Turquia (1961) e a Polónia (1963).

O espaço físico do CERN ocupa uma área, atravessada pela fronteira franco-suíça junto a Genebra, com 110 hectares em território suíço e 450 hectares em território francês.

O CERN dispõe actualmente de quatro máquinas fundamentais, o SC (Synchro-Cyclotron) de 600 MeV, o PS (Proton Synchrotron) de 28 GeV, o ISR (Intersecting Storage Rings) e o SPS (Super Proton Synchrotron) de 400 GeV, cujas construções foram decididas, respectivamente, nos anos 1957, 1959, 1965 e 1971.

O sincrociclotrão (SC) é uma máquina independente. Os anéis de armazenamento com intersecções (ISR) e o supersincrotrão de protões (SPS) estão ligados ao sincrotrão de protões (PS).

Actualmente está em fase de acabamento a construção de um grande anel, o LEP (Large Electron-Positron Storage Ring), que terá cerca de 30 Km de perímetro e milhares de componentes de precisão. O estudo detalhado do seu projecto foi publicado pelo CERN em 1979.

Nos laboratórios do CERN trabalham mais de 3000 físicos provenientes de cerca de duas centenas de centros de pesquisa dos estados membros e de outros estados, nomeadamente, dos Estados Unidos, da União Soviética e da República Popular da China.

Trata-se pois de um belo e singular exemplo de uma sã e profícua colaboração internacional para fins científicos e pacíficos.

4. Breve referência às máquinas do CERN

4.1. Sincrociclotrão (SC)

Trata-se dum pequeno acelerador, que entrou em funcionamento em 1957, destinado a acelerar protões a 600 MeV. Os feixes de

protões, com esta energia, hoje considerada baixa, têm desempenhado um papel importante em experiências destinadas ao estudo das propriedades do núcleo. Em 1973 e 1978 foi alvo de reestruturações que permitiram acelerar heliões a 910 MeV.

4.2. Sincrotrão de protões (PS)

O PS é um acelerador circular de 200 m de diâmetro que entrou em funcionamento em 1959, sendo, na altura, o mais potente acelerador do mundo. Os protões, que nele são injectados, provêm de um acelerador linear (LINAC) onde adquirem uma energia de 50 MeV, passando por um sincrotrão de 4 anéis que eleva a sua energia para 80 MeV, sendo, finalmente, acelerado até à energia de 28 GeV.

Actualmente, o PS fornece os protões e os anti-protões que, circulando em sentidos contrários no SPS, colidem com tal concentração de energia que permite o desencadeamento de fenómenos exóticos. Também produz a velocidade dos antiprotões para o anel de antiprotões de fraca energia (LEAR). Futuramente, esta máquina será adaptada de modo a acelerar feixes de electrões e positrões que, após circularem no SPS, vão ser injectados no LEP também em sentidos contrários.

4.3. Anéis de armazenamento com intersecções (ISR)

O ISR consta de dois anéis, entrelaçados, de magnetes, análogos aos do PS e têm 300 m de diâmetro. Nesses anéis são injectados protões com energias da ordem de 26 GeV, provenientes do PS, de modo a circularem em sentidos opostos e a serem acelerados até 31,4 GeV antes da colisão. Com esta colisão frontal consegue-se que praticamente toda a energia cinética dos protões seja transformada em energia de massa e em energia cinética das novas partículas geradas. Por outro lado as colisões frontais dos protões de 31,4 GeV correspondem a colisões de protões de 2000 GeV contra alvos fixos.

O ISR apresenta como desvantagem o facto de permitir só um determinado tipo de interacções e com rendimento baixo.

4.4. Supersincrotrão de protões (SPS)

Este poderoso acelerador entrou em funcionamento em 1976, sendo então o mais potente acelerador do mundo. Os protões que provêm do PS atingem energias da ordem de 450 GeV. O SPS alimenta com feixes de alta energia duas zonas de experiências do CERN, uma situada a Norte e outra a Oeste. O SPS está instalado num túnel com o diâmetro de 2,2 km e à profundidade de 40 m, possui 744 magnetes de 6 m de comprimento, que consomem em média 35 MW.

O SPS foi adaptado para receber feixes de antiprotões pelo que actualmente permite acelerar protões e antiprotões, a 450 GeV, em sentidos contrários, fazendo-os colidir. A elevada concentração de energia que estas colisões têm permitido (equivalem a colisões de 400 000 GeV contra alvos fixos), tornou possível a descoberta dos bosões W e Z com a consequente comprovação da teoria electrofraca de Weinberg e Salam.

Futuramente, este acelerador passará a ter um papel suplementar — o de acelerar feixes de electrões e de positrões até 20 GeV para posterior injeção no LEP.

4.5. Grande Anel de Armazenamento de Electrões e Positrões (LEP)

O LEP, actualmente em construção, constará de um anel com 27 km de perímetro, destinado a colisões de altíssima energia entre feixes de electrões e positrões, injectados a partir do PS e do SPS. Prevê-se que as primeiras experiências arranquem já no próximo ano, começando a funcionar com energias de 50 GeV por feixe, pensando-se conseguir mais tarde feixes com energias superiores a 100 GeV. O LEP disporá de 4 áreas para experiências.

4.6. Detectores de partículas

4.6.1. Contadores de cintilações

Essencialmente possuem um determinado material que regista a passagem duma partícula carregada por meio de uma cintilação luminosa, posteriormente convertida, por um fotomultiplicador, num sinal electrónico, que é posteriormente amplificado.

4.6.2. Câmaras de bolhas

Contêm um líquido a uma temperatura e a uma pressão a que corresponde um estado próximo da ebulição. Quando a pressão é abruptamente reduzida o líquido vaporiza-se originando bolhas ao longo dos trajectos das partículas carregadas, como consequência da ionização provocada pelas partículas.

4.6.3. Contadores de Cherenkov

Baseiam-se no efeito de Cherenkov, que consiste na emissão de uma onda de choque pela passagem de uma partícula carregada que se move com uma velocidade superior à velocidade da luz no líquido do detector.

Agradecimentos

- Ao Excelentíssimo Senhor Professor José Mariano Gago, presidente da JNICT, que facilitou a atribuição da verba para a deslocação, encarou com entusiasmo desde a primeira hora esta visita e previu o seu grande interesse;
- À Dr.^a Isabel Rosa, pelas diligências feitas em nosso nome;
- Ao Doutor Mário Pimenta, pelos contactos efectuados no CERN e em Genebra, que muito facilitaram a visita aos laboratórios e a nossa instalação;
- Ao Doutor Rui Vilela Mendes, que forneceu todas as pistas iniciais estritamente necessárias para ajudar ao arranque atempado da nossa ideia;
- Aos Conselhos Directivos das 21 Escolas envolvidas, pelas facilidades concedidas aos professores que participaram na visita.

Publicações do CERN consultadas

Quand l' énergie devient matière (1986); Le CERN en images (1987); The LEP project (1980); 25 CERN (1979); Some important PHYSICS RESULTS (1980); Document No. CERN/PU-ED79-09 (1978); Courrier CERN (Revistas 5 e 6 do Vol. 28).

JORGE ANTÓNIO VALADARES
ARTUR MARQUES DA COSTA
Colégio Militar, Lisboa

MATERIAIS 89

IV ENCONTRO NACIONAL DA SPM
Coimbra, 20-22 de Março de 1989

Materiais 89 é o IV Encontro Nacional que a Sociedade Portuguesa de Materiais organiza com o propósito de proporcionar a industriais, investigadores e utilizadores a troca de conhecimentos teóricos e experimentais no domínio dos materiais.

É objectivo essencial deste Encontro divulgar estudos recentes no campo dos novos materiais, dando especial relevo à produção, à investigação e às potencialidades de desenvolvimento em Portugal. Propõem-se cinco áreas de intervenção:

1. Cerâmicas, Vidros e Cimentos;
2. Metais;
3. Plásticos e Elastómeros;
4. Madeiras e seus derivados;
5. Compósitos.

O Encontro terá lugar na Universidade de Coimbra, sendo as sessões plenárias por especialistas nacionais e estrangeiros e as sessões sectoriais acompanhadas por uma exposição demonstrativa de realizações nacionais de carácter científico e tecnológico, e por uma exposição bibliográfica.

Datas-limite:

- 15 Nov. 88—recepção de resumos
- 5 Dez. 88—notificação aos autores
- 15 Jan. 89—recepção de comunicações e posters

Informações:

Secretariado «Materiais 89» SAEM-F.C.T.U.C.
Univ. de Coimbra, Largo de D. Dinis
3000 Coimbra Teis. 34863/34880

III ESCOLA IBÉRICA DE FÍSICA DA MATÉRIA CONDENSADA

MAGNETISMO E MATERIAIS MAGNÉTICOS
El Escorial, Madrid, 11-24 de Setembro de 1989

No âmbito do convénio existente entre as Divisões de Matéria Condensada da SPF e de Física do Estado Sólido da Real Sociedade Espanhola de Física, vai realizar-se em Espanha esta III Escola Ibérica, em San Lorenzo de El Escorial, nas imediações de Madrid (45 km noroeste), de 11 a 24 de Setembro de 1989.

Estas Escolas Ibéricas destinam-se prioritariamente à formação de jovens investigadores de ambos os países em temas com marcado interesse científico e actualidade, no âmbito da Física da Matéria Condensada. O número previsto é de cerca de 60 participantes, reservando-se uma quota para participantes da América Latina e Países africanos de expressão portuguesa.

Em futuro próximo será divulgada a 1.ª Circular, estando a organização da III Escola Ibérica a cargo da seguinte Comissão mista:

Domingo Gonzalez, Univ. Zaragoza
(Director da Escola)

Margarida R. Costa, Univ. Coimbra
(Pres. C. Portuguesa)

António Hernando, Univ. Compl. Madrid

José M. Moreira, Univ. Porto

Agustin del Moral, Univ. Zaragoza

Paulo P. Freitas, INESC/CFMC, Lisboa

Eugénio Coronado, Univ. Valência



VOL. 11 • FASC. 3 • JULHO 1988

SUMÁRIO

Os cristais líquidos. Suas propriedades e aplicações	81
<i>A. C. Ribeiro, J. L. Figueirinhas e M. H. Godinho</i>	
A Teoria da Relatividade no Ensino Secundário. II — A Relatividade Geral	93
<i>Fernando Cabrita e António Armando da Costa</i>	
Avaliação no Ensino da Física	103
<i>Jorge António Valadares e Vítor Duarte Teodoro</i>	
Ciência integrada: uma inovação curricular para a reforma do ensino das ciências	106
<i>Ana Esgalhado</i>	
Prémio Nobel de Física 1988	110
VI Conferência Nacional de Física	111
4.^{as} Olimpíadas de Física	114
Noticiário da Sociedade Portuguesa de Física	119