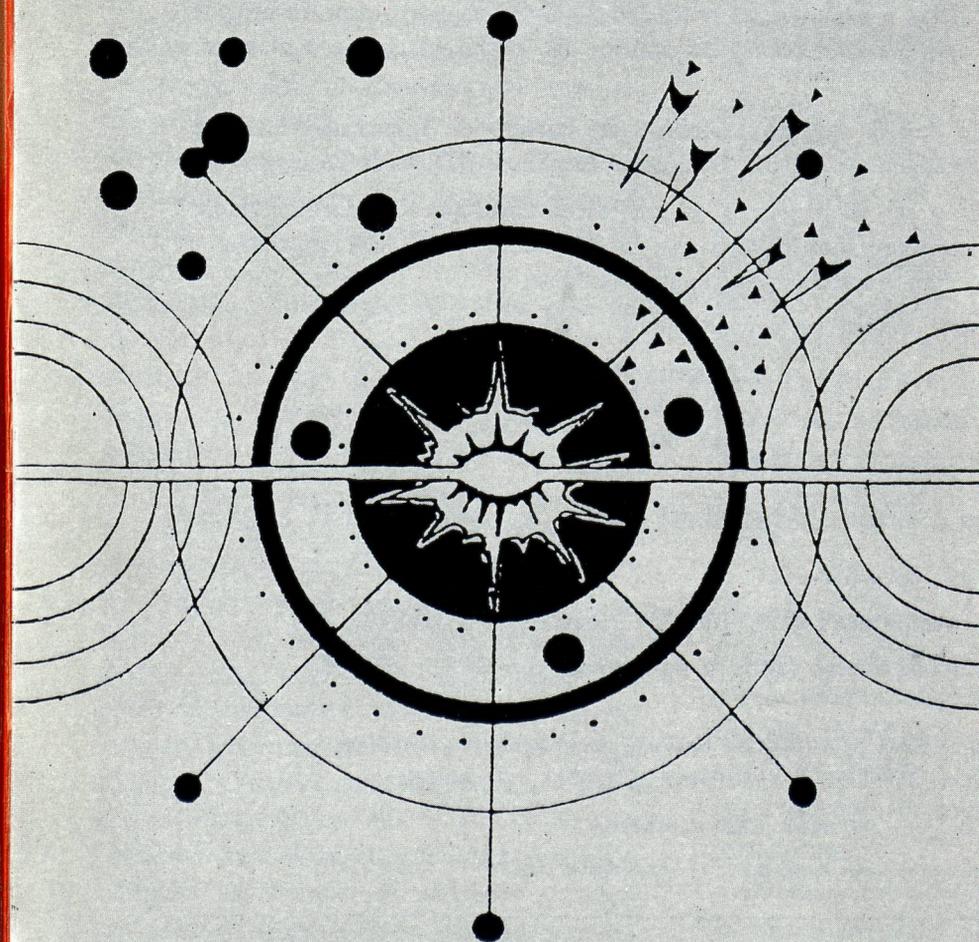


GAZETA DE FISICA

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FISICA

VI • CONFERÊNCIA NACIONAL DE FÍSICA



VOL. 11, FASC. 2

Publicação Trimestral

Abril a Junho 1988

física - 88

AVEIRO — 26 A 29 DE SETEMBRO — 1988

GAZETA DE FÍSICA

Fundada em 1946 por A. Gibert

Propriedade e Edição: Sociedade Portuguesa de Física

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

Comissão de Redacção e Administração

Conselho Directivo da S.P.F.: H. Machado Jorge, F. Duarte Santos, J. Bessa Sousa, Ana M. Eiró, Carlos Matos Ferreira, F. Costa Parente, M. Fernanda Silva, J. Brochado Oliveira, J. 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: Instabilidades interfaciais e respectivas linhas de transição de fase, de um líquido viscoso injectado sob pressão (p : 0–30 mm Hg) numa célula radial de Hele-Shaw: placas à distância d (0,2–1,5 mm), sendo uma delas estriada uniaxialmente.

V. Horváth, T. Vicsek, J. Kertész, *Europhysics News* 19 24 (1988).

1.º Encontro Regional de Lisboa sobre o Ensino da Física

A realização de um Encontro sobre o Ensino da Física nasceu da convicção de que era forçoso que a Sociedade Portuguesa de Física dedicasse uma maior atenção aos profissionais desse ensino e aos seus problemas e anseios. Por isso, constituía o 1.º ponto do Programa de trabalho da actual Direcção da Delegação de Lisboa, Sul e Ilhas.

A organização do Encontro teve início em Fevereiro de 1987, com a constituição das comissões Organizadora e Técnico-Científica, tendo sido imediatamente enviada uma primeira Circular a todos os sócios da SPF e ainda aos delegados do 4.º Grupo A de todas as Escolas Secundárias e Preparatórias C+S da região sul do continente, da Madeira e dos Açores. As taxas de inscrição foram propositadamente baixas, a fim de permitir a maior participação possível.

A receptividade dos docentes do ensino secundário foi notável, tendo rapidamente chegado um elevado número de inscrições. (O número final de inscrições foi de 419). Entretanto, e de acordo com a Comissão Técnico-Científica, foram constituídas três comissões destinadas à elaboração de documentos para serem apresentados à reflexão e discussão pelos participantes do Encontro e ainda para a constituição no âmbito da SPF de uma mediateca para apoio ao ensino da Física. Estas comissões elaboraram um inquérito e outros documentos, os quais foram enviados aos inscritos e aos Delegados do 4.º Grupo A, juntamente com a circular n.º 2, em Novembro de 1987. Esta circular incluía ainda um Programa

provisório do Encontro. As respostas ao inquérito enviado serviram de preparação para a Mesa-Redonda que teve lugar no último dia do Encontro.

É também de realçar a rápida resposta aos pedidos de subsídios por parte do Ministério da Educação (através das Secretarias de Estado do Ensino Superior e da ex-Secretaria de Estado do Ensino Básico e Secundário), da J.N.I.C.T. e dos Departamentos de Física e de Educação da Universidade de Lisboa. Viriam ainda a apoiar financeiramente o Encontro a Fundação Calouste Gulbenkian, a Câmara Municipal de Lisboa, a Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento e o Conselho Directivo da Faculdade de Ciências de Lisboa. As Escolas Superiores da Educação de Lisboa e de Santarém forneceram pessoal e equipamento para a cobertura vídeo do Encontro.

Para assegurar que o Encontro seria verdadeiramente regional e não apenas da cidade de Lisboa, resolveu a Comissão Organizadora, com o apoio da Comissão Técnico-Científica, conceder subsídios aos participantes de fora da região da Grande Lisboa, que o solicitassem. Foi atribuído um total de 380 contos a 63 participantes.

O Encontro constou de sessões plenárias, duas em cada manhã, realizadas na Aula Magna da Reitoria da Universidade de Lisboa, versando temas científicos e pedagógicos a seguir indicados.

—Aline Bosquet-Bigwood (Bruxelas): «O ensino integrado na Ciência».

—J. Andrade e Silva (Lisboa). «A evolução dos conceitos de espaço e tempo na Física Clássica».

—A. Tiberghien (Lyon): «Concepções alternativas dos alunos».

—Teresa Lago (Porto): «A astronomia no ensino da Física».

—M. Odete Valente (Lisboa): «Para um curriculum de Física que desenvolva a criatividade e a capacidade de resolver problemas».

—J. Resina Rodrigues (Lisboa): «Da natureza da Ciência ao ensino da Ciência».

Durante as tardes dos dois primeiros dias decorreram, em paralelo, seminários e oficinas pedagógicas, no edifício C1 da Faculdade de Ciências de Lisboa, sobre os seguintes temas:

Seminários:

—Criatividade e ensino da Física—Maurícia de Oliveira (Lisboa).

—Desenvolvimento das capacidades metacognitivas e resolução de problemas—Natália Cruz (Lisboa).

—Oceanografia—Isabel Ambar (Lisboa).

—A Revolução Copernicana—Ana Isabel Simões (Lisboa).

—Concepções alternativas dos alunos—A. Tiberghien (Lyon).

—Alguns conceitos sobre teoria do Campo—A. Barroso (Lisboa).

—O caos em Física—J. S. Ramos (Lisboa).

—Os cristais líquidos—António Casanova Ribeiro (Lisboa).

—Holografia—José Rebordão (Lisboa).

—Instrumentação no ensino—J. S. Lopes (Lisboa).

—A função do trabalho prático—V. Lunetta (State College, Pennsylvania).

—Ensino da Física com materiais improvisados—Norberto Ferreira (Paris).

Oficinas pedagógicas:

—Ideias intuitivas, implicações no ensino—exemplo do conceito Luz—Marília Tomaz (Aveiro).

—A função do trabalho prático—V. Lunetta (State College, Pennsylvania).

—Introdução aos microcomputadores—Luís Teodoro (Lisboa).

—Como fazer os itens dos testes e respectiva análise—V. Teodoro e J. Valadares (Lisboa).

—Ensino da Física com materiais improvisados—Norberto Ferreira (Paris).

—Ensino integrado da Ciência—Aline Bosquet-Bigwood (Bruxelas).

—Meios auxiliares de ensino—A. M. Costa (Lisboa).

—Interação Ciência-Matemática—Mariana Pereira (Lisboa).

—Produção vídeo—sensibilização—I.T.E. (Lisboa).

—Videogramas para apoio ao ensino formal—I.T.E. (Lisboa).

Cada participante teve acesso no mínimo a dois seminários e uma oficina pedagógica.

Na tarde do 3.º dia teve lugar uma Mesa-Redonda, na Aula Magna, com L. Frazer Monteiro (moderador), F. Duarte Santos, M. Odete Valente e J. Jónia da Silva, sobre «A reforma do ensino de Física», a qual foi bastante participada. O Encontro foi encerrado com uma pequena sessão, presidida pelo Reitor da Universidade de Lisboa, e com a presença do Presidente da Sociedade Portuguesa de Física, durante a qual foi feita uma homenagem ao Presidente honorário do Encontro, Dr. Rómulo de Carvalho, e entregues os prémios da prova nacional das Olimpíadas da Física-87, que decorreram em simultâneo com o Encontro.

No âmbito do Encontro, teve lugar ainda uma sessão especial do Teatro da Cornucópia, com a peça «Grande Paz», de Edward Bond, encenada por Luís Miguel Cintra, e um jantar no refeitório da Faculdade de Ciências.

Não se pretendia que do Encontro resultassem conclusões. Tratando-se da primeira iniciativa deste tipo e com este âmbito, pretendeu-se antes reunir os profissionais do Ensino da Física para reflectirem em conjunto e lançar propostas e ideias para o futuro. Se este objectivo foi alcançado, os participantes o dirão.

Querirá a Sociedade Portuguesa de Física organizar um Encontro deste tipo, mas de âmbito nacional, com carácter regular, ou será preferível manter estes Encontros com âmbito regional?

F. Parente

Presidente da Direcção da Delegação Regional de Lisboa, Sul e Ilhas da S.P.F.
Presidente da Comissão Organizadora

Da natureza da ciência ao ensino da ciência (*)

JOÃO MANUEL RESINA RODRIGUES

Departamento de Física do Instituto Superior Técnico

1. Da natureza da ciência...

Ao contrário do que correntemente se afirma, a ciência não nasceu na Europa do séc. XVII, nasceu na Grécia Clássica. A partir dos fins do séc. VI a.C., os pitagóricos propõem uma Terra esférica, em repouso no centro do Universo, e uma esfera celeste, rodando em torno da Terra no período de 24 horas, na qual estão incrustadas as estrelas e sobre a qual o Sol se move, no período de um ano e em sentido retrógrado, ao longo do círculo máximo que é a eclíptica. Assim se *explicavam* a sucessão dos dias e das noites e as estações. Levando mais longe a abstracção, Heraclides do Ponto (séc. V a.C.) sugere que se fixe a esfera das estrelas e se atribua à Terra o movimento de rotação; e já no séc. III a.C. Aristarco de Samos propõe o sistema heliocêntrico. É significativo o destino destas ideias. A esfericidade da Terra foi aceite porque havia bons argumentos a favor e nenhuma outra hipótese explicava que, por exemplo, a altura da estrela polar acima do horizonte cresça quando se viaja para o Norte. Pelo contrário, a rotação da Terra e o sistema heliocêntrico foram rejeitados. Pareciam hipóteses gratuitas e levantavam-se objecções que os proponentes não eram capazes de resolver: a força centrífuga arrancaria os objectos do solo; os diâmetros aparentes e as coordenadas das estrelas deveriam variar ao longo do ano, «a menos que elas se encontrem a distâncias enormes, o que nada leva a supor».

No séc. IV a.C., Eudóxio, um dos grandes matemáticos gregos, cria um *modelo* cinemático para *explicar* os movimentos dos planetas tais como são vistos da Terra. Havia séculos que os babilónios e os egípcios registavam, não só os aspectos qualitativos dos céus, mas

as coordenadas dos astros mais importantes. Infelizmente, os métodos de observação e medida, demasiado rudimentares, não permitiam determinações com erro inferior a 1 grau. E os gregos, que nos tempos homéricos sabiam trabalhar com as suas mãos, desprezam agora todo o trabalho, «servil». Mesmo na ciência, são «teóricos». O modelo de Eudóxio não tem nenhuma relação simples com as órbitas de Kepler e de Newton. Mas é tolerado pela experiência enquanto o erro experimental tem aquela ordem de grandeza. Eudóxio sabe certamente que o seu modelo não pode ser apresentado como a *verdade* a respeito do movimento dos planetas, mas apenas como uma hipótese possível. Mas isso é já extremamente importante. Platão, de quem Eudóxio fora discípulo, nota que a possibilidade de *prever* as posições dos astros desfaz a superstição da astrologia; mas que a previsão seria impossível «sem ter debaixo dos olhos uma representação mecânica desse movimento» (*Timeu*, 40, c-d).

No séc. II a.C., o erro tinha baixado para 30 minutos de arco. Com essa precisão, o sistema de Eudóxio é *infirmado*. Apoiando-se na obra matemática de Apolónio, Hiparco cria o *modelo* dos epiciclos. Aperfeiçoado por Ptolomeu (séc. II), este modelo só será totalmente rejeitado no séc. XVII, com as elipses de Kepler.

É curioso que a história e a filosofia da ciência dos séc. XVIII e XIX tenham desprezado esta primeira aventura. Compreende-se porquê: julgando que a ciência era uma conquista ininterrupta de *verdades*, consideraram como sem valor a criação de modelos que o futuro não consagrou. Depois da crise dos fun-

(*) Comunicação apresentada no 1.º Encontro Regional de Lisboa sobre o Ensino de Física.

damentos do princípio do séc. XX ficámos a saber que em ciência não há nunca certezas, há apenas *hipóteses*, aceites enquanto são *corroboradas* pela experiência, suplantadas por outras hipóteses mais adequadas quando falhar esse apoio. Há hoje um exército de físicos teóricos cujo trabalho é procurar modelos para a estrutura e o comportamento das partículas; esses modelos valem porventura tanto como os modelos de Eudócio e Hiparco, mas nem por isso se desprezam.

Ao longo da Idade Média os lentos progressos da observação (o erro vai passar de 30 para 10 minutos de arco) exige ajustamentos. O sistema dos epiciclos é no fundo uma combinação de movimentos circulares uniformes. Do mesmo modo que se ajusta um polinómio a uma curva acrescentando mais termos, ajustava-se este sistema à experiência acrescentando mais «esferas». No séc. XVI eram já cerca de 70. Com esta complicação, o modelo descrevia bastante bem a experiência; permitia nomeadamente fazer *previsões* sobre as coordenadas dos astros à escala das dezenas de anos. Mas há uma coisa que hoje cuidamos saber: quando um modelo só descreve os factos à custa de uma complicação formal muito grande, é sinal de que existe um modelo melhor. A lição da história é que os modelos sucessivos são cada vez mais adequados à experiência e cada vez mais simples do ponto de vista formal.

Copérnico (1473-1543) compreende que fixando o Sol em vez da Terra realiza um melhor ajustamento e uma simplificação do sistema (bastam-lhe 37 esferas); por outro lado, pode determinar as distâncias relativas dos planetas ao Sol e verificar que crescem com o período de revolução, o que lhe parece um bom sinal. Tem a lealdade de reconhecer que a ideia fundamental vinha já de Aristarco. Por outro lado, embora centrado no Sol, o seu sistema continua a ser de epiciclos.

O passo seguinte só pode ter acontecido depois de um progresso experimental muito notável. Tycho Brahe (1546-1601) planeia e constrói aparelhos que lhe permitem fazer observações astronómicas com erro inferior a

4 minutos de arco (em certos casos 1' ou mesmo 0,5'). É, por outro lado, um trabalhador incansável que reúne um conjunto impressionante de dados. Kepler (1571-1630), encarregado por Tycho Brahe de estudar o movimento de Marte, está já conquistado para o heliocentrismo. Abandona o pressuposto de que os movimentos dos astros deviam ser movimentos circulares uniformes ou combinações destes movimentos e procura simplesmente encontrar uma curva simples que se ajuste às observações. Apostando na ideia de que deve existir uma solução simples, experimenta a oval, que lhe parece a curva fechada mais simples a seguir à circunferência. Verifica que pode responder afirmativamente se admitir que, em alguns casos, Tycho Brahe ultrapassou o erro de 4'. Após longos meses de hesitação, resolve confiar na precisão do seu mestre, e considera que a oval é infirmada pela experiência. Tenta a elipse, e verifica que os dados a corroboram. Pela mesma época, Galileu (1564-1642) encontra a lei da queda dos graves fazendo experiências com o plano inclinado, verificando que a hipótese de que a velocidade é proporcional ao espaço percorrido não pode ser aceite, mas $v=at$ é tolerado pela experiência.

Creio que a Física Experimental continua hoje a fazer — com possibilidades novas — o que fizeram Galileu e Kepler. Trata-se de isolar fenómenos, fazer medidas rigorosas e controlar o erro experimental, criar modelos, testar esses modelos fazendo novas medidas (se possível, dando às variáveis que intervêm no modelo valores muito diferentes). No séc. XVIII, Kant vai dizer que *conhecer é unificar o diverso da experiência*. Na verdade, o modelo unifica os dados conhecidos e permite prever novos dados. É claro que como o modelo integra um conjunto infinito de dados possíveis e a experiência nos dá apenas um conjunto *finito* de dados, *sujeitos* para mais à *indeterminação do erro*, é uma ilusão supor que a lei experimental exprime em absoluto a verdade. A velha problemática da indução só teria sentido se se tratasse de optar entre um conjunto finito e discreto de leis, e não é o caso. O físico sabe

que as leis experimentais são «verdadeiras» no sentido de que, ao menos dentro de certo intervalo de variação das variáveis, o modelo exprime de maneira simples uma relação que é pelo menos muito aproximadamente correcta.

Mas a unificação de que fala Kant admite em Física uma segunda volta, a da Física Teórica. O modelo de Newton (1642-1727) unifica as leis de Galileu e de Kepler, o modelo de Maxwell (1831-1879) unifica as leis então conhecidas da electricidade e do magnetismo. À primeira vista poderia supor-se que, estando mais distantes das medidas, os grandes modelos teóricos eram menos seguros que as leis experimentais que lhes servem de partida. Era este o julgamento de Mach e do *Círculo de Viena*. Mas a história testemunha o contrário. *Os grandes modelos teóricos suplantam as leis experimentais*. Se o sistema de Newton é correcto, as leis de Kepler são apenas aproximadas. E é isso que acontece. (Felizmente, os aparelhos só permitiram detectá-lo a partir do séc. XVIII. Se Tycho Brahe tivesse uma das nossas lunetas, Kepler teria rejeitado as elipses. E as elipses, como as restantes leis de Kepler, eram um passo quase necessário para pôr Newton a caminho). Se as equações de Maxwell são verdadeiras, as leis de Ampère são incompletas. E os exemplos são sem fim. Mais importante do que isto é o facto de que os bons modelos teóricos prevêm fenómenos até então completamente desconhecidos. Os exemplos mais célebres são o facto de que as equações de Maxwell implicam que os campos variáveis se propagam no vácuo de acordo com a equação das ondas e com a velocidade $1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$, que é a velocidade da luz, e o facto de que a Relatividade Restrita convida a ligar a toda a massa m a energia $E = mc^2$. É portanto muito empobrecedor pensar, com Mach, que as leis teóricas são meras maneiras de condensar o conjunto das leis experimentais conhecidas.

Como é sabido, a Relatividade Restrita e a Relatividade Generalizada, a Mecânica Quântica, a Teoria Quântica dos Campos e as Teorias Unificadas vieram mostrar que nenhum modelo teórico é definitivo: mas, como atrás,

à medida que se progride os modelos são simultaneamente mais englobantes e formalmente mais simples.

Em suma, parece poder dizer-se que a aventura da Física consiste em descobrir, por um lado novos factos, por outro lado novas estruturas, mais gerais e mais simples. Nesta aventura há pistas, mas há sobretudo surpresas. quanto às estruturas: tudo se passa com se o Universo fosse ordenável por meio de estruturas matemáticas muito fundamentais; mas essas estruturas, que a Matemática re-cria e desenvolve com o rigor que lhe é próprio, estão já muito longe de tudo o que parecia «natural» ao pensamento dos séculos passados. Pense-se no cálculo tensorial e nos espaços de Hilbert.

Como se sabe, o progresso da Mecânica Clássica levou a introduzir conceitos cada vez mais elaborados e de interpretação intuitiva cada vez mais difícil: o momento angular, a energia cinética e potencial, o lagrangeano, o hamiltoneano,... Durante algum tempo foi possível pretender que estas entidades, embora praticamente indispensáveis, eram elimináveis do ponto de vista teórico. A Mecânica Quântica veio a torná-las essenciais, e a não permitir traduções simples. No Electromagnetismo houve um processo paralelo, a começar pelas noções do campo e continuando pela corrente de deslocamento. Disse alguém que a ciência parece ter entrado de maneira irreversível num novo «esoterismo», no sentido original de falar uma linguagem difícil e reservada a um grupo de iniciados. Com a vantagem de que o grupo é aberto e o rigor se controla.

Os enunciados teóricos que ligam entre si estes conceitos podem ser considerados como «leis». Tem-se notado que entre a *explicação* no sentido do senso comum e a *explicação científica* há uma evolução importante: as explicações do senso comum invocam «causas», concebidas muitas vezes à imagem da intervenção que nos é própria. Sem ter eliminado por completo esta ideia, as *explicações* da Física resumem-se cada vez mais ao enunciado de *leis*.

As leis fundamentais da Mecânica Clássica admitem corolários de *conservação*. Além do

seu conteúdo intuitivo importante, as leis de conservação prestam-se a ser tomadas como princípios ou axiomas. O seu papel heurístico é importante. Como se sabe, a ideia do neutrino surgiu no contexto da conservação da energia. Ainda na Mecânica Clássica foi possível mostrar que existe uma correspondência profunda entre *conservações* e *simetrias*. O papel das simetrias tornou-se muito maior na Mecânica Quântica e é hoje um dos fios condutores na Física das Partículas. Outra conquista clássica (com raízes no séc. XVII, para não descer até Herão de Alexandria, no séc. II) são os *métodos variacionais*, sucessivamente alargados às várias Teorias da Física. A propósito da Relatividade, tomou-se consciência da importância que tem em Física a *invariância*, ou melhor, a *covariância* das leis.

2. ... ao ensino da Ciência

Apesar de limitado, o bosquejo histórico que fiz pode fundamentar atitudes e propostas. Como ensinar ciência, em particular como ensinar Física no Liceu?

Em primeiro lugar, creio que é importante não apresentar a ciência nem como algo de definitivo, nem como algo de instável. A ciência é já muito válida, mas continua a fazer-se. É uma aventura em que os nossos alunos, se quiserem, poderão vir a colaborar. Estamos longe de conhecer todos os factos importantes, há estruturas que nos escapam, pode mesmo acontecer que os quadros mais fundamentais venham a sofrer revisão. Mas é extremamente improvável que alguém possa hoje contribuir significativamente para o avanço da ciência se não conhecer a sua formulação actual. Por outro lado, é preciso ensinar o que hoje se sabe sem matar a criatividade, antes aguçando o sentido crítico. A respeito, por exemplo, da inércia ou da estrutura atómica da matéria, um professor instruído na história das ideias pode fazer sentir aos seus alunos a importância do que está em jogo, as alternativas possíveis, as dificuldades psicológicas, as razões que

levaram à escolha final, até que ponto a questão ficou ou não encerrada.

É sem dúvida fundamental inculcar desde o princípio que toda a ciência, e nomeadamente a Física, começa com a experiência e visa explicar o Universo que, directa ou indirectamente, se experimenta. Mais ainda, que a experiência que está na base da Física tem como aspecto essencial a medida. Entendamo-nos: certamente que é preciso entender qualitativamente os fenómenos e procurar, sempre que possível, entender o *sentido físico* dos conceitos de maneira intuitiva. Mas julgo que é um erro pedagógico reduzir o ensino dos primeiros anos a uma física qualitativa. Precisamente, desde Galileu que a Física é uma ciência que articula medidas. Se se falar do quente e do frio, fale-se logo do termómetro.

Convém aqui distinguir entre *demonstrações* e *determinações experimentais*. Não vou fazer o rol das demonstrações e das determinações importantes, pois há larga bibliografia sobre o assunto. Limito-me a chamar a atenção para certos aspectos. Na demonstração, prevalece o aspecto qualitativo. É algo que deve «entrar pelos olhos» e interpelar os hábitos adquiridos. Será realizada, normalmente, pelo professor. Penso na ilustração da inércia com um carrinho numa calha de ar, na prova da rotação da Terra pelo pêndulo de Foucault, nas experiências de electrostática (que só resultam com tempo seco!), na identificação das riscas de vários elementos num espectro de emissão. Algumas destas demonstrações devem poder ser feitas em todas as escolas. Outras, como a do pêndulo de Foucault ou a ds espectros, seriam ocasião para uma visita de estudo a um Centro Universitário vizinho. (Mais uma razão para que os Centros Universitários tenham condições para o fazer!).

As *determinações experimentais* têm uma dupla finalidade: pôr os alunos em contacto com os aparelhos e fazer-lhes sentir a questão importantíssima do erro experimental. É essencial não permitir que tais determinações sejam feitas sem um mínimo de exigência: isso signi-

fica vacinar os alunos contra a física experimental. Mais vale desistir de certos trabalhos do que realizá-los em más condições. É importante estar em condições de mudar certos parâmetros de modo a impedir que os relatórios sejam cópias dos do ano anterior. Como se sabe, mais do que nenhuma outra, uma aula de laboratório exige uma presença constante e desperta do professor. Embora se possa defender que a qualidade dos aparelhos não interessa, o que interessa é pôr os alunos em condições de tirar de cada aparelho aquilo que ele pode dar, é claro que uma muito má qualidade dos aparelhos desmotiva os alunos. O professor tem de saber qual é o erro tolerável no resultado, qual a dispersão aceitável nas determinações, e só reconhecer como válido um trabalho que satisfaça esses critérios. É importantíssimo que, em aulas seguintes, se discutam os resultados e se pergunte como poderiam melhorar-se as medidas.

Mas a Física não é só experiência, é também teoria. A teoria é uma estrutura matemática muito vasta que liga conceitos fundamentais. Galileu pôde ter a ilusão de que bastavam à ciência os conceitos da vida corrente, apenas refundidos. Como já notei, o caminho das várias ciências, mas sobretudo o da Física, levou-as a elaborar conceitos que cada vez se afastam mais dos conceitos da vida diária. Apesar disso, na base continuam a existir conceitos fundamentais, como o comprimento, a massa, a força, o tempo, a temperatura, a carga eléctrica, que têm (ou parecem ter) uma explanação intuitiva.

Há que gastar aulas a precisar estas noções. E há que construir sobre elas, com o rigor possível, os conceitos de velocidade, aceleração; quantidade de movimento, momento angular, etc. A meu ver, convém explicar aos alunos dos últimos anos que conceitos como a quantidade de movimento ou a energia cinética não têm uma «justificação» intuitiva (basta ver que a Relatividade alterou as definições): a sua justificação é a fecundidade das leis em que intervêm.

Há que ensinar as leis fundamentais e há que pôr os alunos em condições de as aplicar à resolução de problemas. A questão das unidades é fundamental. E, em ciência, é muito importante que «as contas» estejam certas. A meu ver, deve ser permitido o recurso a máquinas de calcular, sem qualquer restrição. Mas é preciso que os alunos se habituem a estimar a ordem de grandeza do resultado, e a perceber assim quando é que um cálculo fornece um resultado inaceitável.

Foi com grande espanto que, há poucos anos, em vez de se dizer que a queda dos graves obedece à lei $e = 1/2 gt^2$, se explicava que $e_1/e_2 = t^2_1/t^2_2$. Acho um erro tremendo. Nada é tão transparente como uma expressão matemática. Há que não ter medo de ensinar que as leis da Física se exprimem por equações.

É importante insistir nos princípios de conservação. Em conversas e conferências, porventura de âmbito interdisciplinar, é útil levantar questões relativas à epistemologia da Física. Conversas e conferências deste tipo são a boa oportunidade para rasgar horizontes na direcção da Relatividade, da Mecânica Quântica, da Física das Partículas, das Teorias Cosmológicas, da Cinética Química, da Biologia Molecular, etc.

Respondendo a uma questão que me foi posta, digo que não contrário o «ensino integrado» no Ciclo Preparatório», mas acho necessário que a Física seja uma disciplina autónoma no Ensino Liceal.

European Journal of Physics

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

(Ver artigo na página 79)

A Astronomia no Ensino Preparatório e Secundário

MARIA TERESA V. TORRÃO LAGO

Grupo de Matemática Aplicada, Faculdade de Ciências — Universidade do Porto

De acordo com o relatório recente da «Comissão para o Ensino da Astronomia» — a Comissão 46 da União Astronómica Internacional — a Astronomia é ensinada como parte integrante de cursos de Ciências, Física ou Matemática, na maioria dos países. O número de horas que lhe é dedicado bem como o conteúdo dos programas diferem obviamente de país para país.

Mais recentemente, a reunião do GIREP 86 «Cosmos — an educational challenge», em Copenhague, Agosto de 86, abordou de novo este tema. E as conclusões mais gerais indicam que se de facto há países como a Argentina, R.D.A., Grécia, México, U.R.S.S., U.S.A., em que a Astronomia aparece como disciplina autónoma, em geral nos anos terminais do ensino secundário, na maioria aparece incluída na Física, muitas vezes nem sequer obrigatória. Foram também apontadas como maiores dificuldades à boa qualidade desse ensino:

— a preparação menos adequada dos professores, muitos dos quais não tiveram qualquer contacto com Astronomia durante a sua formação,

— livros de texto inadequados; em grande parte deles apenas a Astronomia de Posição é abordada resultando assim uma imagem estática, passiva, de fora para dentro, que nada tem a ver com o desenvolvimento actual da Astronomia e é dificilmente atractiva para os alunos. Afinal esquecendo o mais importante: o Universo é também aqui, e nós somos parte integrante dele.

A situação em Portugal não será muito diferente! Os (poucos) conhecimentos de Astronomia aparecem incluídos nos programas de Geografia ou Ciências da Natureza e são apre-

sentados por professores que na generalidade têm que ensinar algo para que não foram motivados.

Ora acontece que os nossos alunos nasceram já na época da Astronomia espacial. E são também influenciados por uma enorme quantidade de informação, livros, filmes de divulgação científica, onde a Ciência e a Astronomia em particular têm um enquadramento muito mais amplo e atractivo.

Também, pela nossa experiência, estamos certamente todos de acordo em que não é a falta de interesse dos alunos que exclui a Astronomia do ensino secundário. Será antes uma imensa inércia do sistema e das fontes de decisão.

Mas uma vez que a época parece ser de reformas profundas esperemos que consiga também mudar mentalidades, tradições e preconceitos.

E proponho que abordemos o problema de um outro modo:

1. O que seria interessante ter ?

A resposta irá certamente depender do interlocutor. Para mim, seria interessante ter a Astronomia

— implantada bem cedo, direi mesmo a nível do ensino primário, sob a forma de unidades de várias horas, em que fosse desde logo envolvida a iniciação à observação e experimentação dos conhecimentos. A Astronomia poderia ser não só extremamente motivadora como divertida;

— no ensino preparatório, porque ela poderá proporcionar uma estimulante apresentação das leis fundamentais da Física e da Matemática;

— no ensino secundário (onde deveria aparecer claramente), quer sobre a forma de unidade autónoma quer como uma parte integrante de outras disciplinas.

Em qualquer dos casos, é importante lembrar que a Astronomia proporciona uma oportunidade de educação global, tanto científica como humanística.

Do ponto de vista científico é importante porque

— sendo multidisciplinar pode ser vantajosamente usada como unificadora do conhecimento,

— pode ser pretexto para uma iniciação e familiarização com métodos característicos da investigação, como a experimentação e observação de fenómenos naturais,

— estimula a curiosidade e a descoberta científica,

— é uma das áreas científicas de mais rápida evolução nas últimas décadas,

— é dinâmica, não há problemas resolvidos, há soluções possíveis,

— incentiva à consulta e utilização de materiais de referência,

— é susceptível de desenvolvimento a vários níveis de dificuldade.

Do ponto de vista humanístico é importante

— ao projectar o homem na sua dimensão e no seu lugar no Universo, de que ele é afinal parte,

— ao fazer compreender que o nosso Sol não é mais do que uma estrela entre milhões de outras, numa Galáxia entre milhões de outras, num Universo (único?) e que é importante tentar compreender as partes e o todo de que somos parte,

— ao mostrar o sem sentido de conceitos tal como fronteira, raça, nacionalismo, num planeta afinal tão frágil, e diminuto, e único,

— porque ensina a urgência em preservar a Terra a que o homem está afinal necessaria-

mente ligado, tendo em conta a sua dimensão real quando comparada às enormes distâncias siderais.

2. É viável ?

Claro que sim. E gostaria de referir uma recente e interessante experiência, o projecto STAR nos Estados Unidos.

No Centro de Astrofísica (Harvard) iniciou-se há algum tempo o projecto.

STAR «Science Teaching through its Astronomical Roots».

Os objectivos eram o desenvolvimento de novas técnicas e materiais para o ensino da Astronomia ao nível do ensino secundário.

Como parte desse projecto foi feito um inquérito nacional sobre o ensino da Astronomia e condições respectivas, envolvendo cerca de 11.000 escolas; embora com cepticismo pretendiam saber o número de escolas em que havia algum ensino de Astronomia, de que tipo, quem o leccionava. Os resultados foram espantosos:

1) — 15 % das escolas tinham já Astronomia como disciplina autónoma,
— 50 % como parte integrante de outras disciplinas,
— 29 % não incluíam Astronomia;

2) os cursos oferecidos (alunos dos graus 10.º, 11.º e 12.º) tinham duração entre um mínimo de 9 semanas e um máximo de 40 semanas; porém,

— 65 % com duração semestral,
— 20 % com duração anual;

e 76 % das escolas estavam interessadas em os ampliar.

3) Alguns dos cursos existiam já há vários anos e os professores por eles responsáveis

estavam também associados a outras disciplinas:

- 40 % professores de Física,
- 25 % professores de Ciências da Terra,
- 22 % professores de Química,
- 12 % professores de Matemática.

3. E por cá ?

Por cá, há um imenso caminho a percorrer. Mas não apenas no ensino secundário. Também nas Universidades e nos Observatórios.

Em termos de média europeia há 1 a 2 astrónomos por 100.000 habitantes. Então deveríamos ter em Portugal entre 100 a 200 astrónomos. Alguém os conhece?

A situação irá certamente mudar. Sejam optimistas.

Poderíamos começar aqui por debater como efectuar essa mudança. Analisar exemplos concretos visando a introdução da Astronomia, considerar aplicações de problemas seus a disciplinas já ensinadas. Mas prefiro seguir uma via diferente.

Em vez disso aqui deixo um repto à Sociedade Portuguesa de Física, em particular à sua Delegação Regional de Lisboa, Sul e Ilhas, em virtude da actividade e dinamismo que a caracteriza e de que este encontro é aliás mais uma prova:

Organizem uma secção de Astrofísica para apoio ao ensino secundário!

Por exemplo, através da organização de uma pequena biblioteca dedicada com material didáctico diverso que possa ser requisitado pelos professores, a compilação de material e informação de interesse, pretextos para troca de impressões e colaboração.

Não tenho dúvida que não faltarão voluntários entusiastas. Basta recordar a experiência recente das 1.^{as} Jornadas Universitárias de Astronomia, Astrofísica e Astronáutica, em Lisboa em Dezembro passado e o enorme entusiasmo dos estudantes que nelas participaram.

6.^a CONFERÊNCIA NACIONAL DE FÍSICA

FÍSICA - 88

Aveiro, 26-29 Setembro 1988

A reunião bienal de convívio científico e social daqueles que se interessam pela Física em Portugal.

Lições Plenárias

- 26 Set.—*Hubert Reeves*, Paris (Inaugural)
E. Recknagel, Konstanz (Física Nuclear)
J. Urbano, U. Coimbra (Física Nuclear)
H. F. B. Nielsen, Copenhagen (Fís. Teórica)
J. Dias de Deus, IST (Física Teórica)
- 27 Set.—*G. Davies*, Londres (Fís. Mat. Condensada I)
M. Ramalho Costa, U. Coimbra (Física Matéria Condensada I)
W. Hayes, Oxford (Fís. Mat. Condensada II)
J. Bessa Sousa, U. Porto (Física Matéria Condensada II)
H. Haberland, Freiburg (Física Atómica e Molecular)
M. Laranjeira, U. Lisboa (Física Atómica e Molecular)
A. Quintanilha, Berkeley (Biofísica)
K. Correia da Silva, I. Gulbenkian de Ciência (Biofísica)
- 28 Set.—*J. Tachon*, Cadarache (Física de Plasmas)
C. Matos Ferreira, IST (Física de Plasmas)
Sir Brian Pippard, Cambridge (Física, Educação, Desenvolvimento)
J. Caraça, F. Gulbenkian (Física, Educação, Desenvolvimento)
- 29 Set.—*C. Allegre*, Paris (Geofísica)
J. Pinto Peixoto, U. Lisboa (Geofísica)
J. Dépyreux, Liège (Educação em Física)
J. Andrade e Silva, U. Lisboa (Ed. em Física)
D. Kind, Braunschweig (Metrologia)
S. Antunes, IST (Metrologia)

Comunicações: sob a forma de cartazes

Exposições

Actividades Sociais

Desenvolvimento das capacidades metacognitivas e resolução de problemas

MARIA NATÁLIA CRUZ

Departamento de Educação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Uma função primordial da escola é o desenvolvimento de capacidades de pensar e de pensar sobre o pensar de modo que os alunos, dominando esses processos, sejam capazes de aprender autonomamente, em qualquer situação, escolar, pessoal ou profissional, no presente e no futuro.

Assim, apresenta-se uma breve revisão da literatura sobre o desenvolvimento de capacidades cognitivas e metacognitivas e sobre alguns programas e projectos no âmbito do «aprender a pensar». Tem-se em vista o âmbito da aprendizagem das Ciências em geral, e da Física em particular, na resolução de problemas, como capacidade a desenvolver e como estratégia de metacognição.

1. O pensar e o pensar sobre o pensar

Desde sempre se tem discutido o papel da escola na educação das crianças e jovens.

Na história, mais ou menos recente, é possível distinguir períodos em que predominam perspectivas de educação que têm conduzido a visões da função, ou funções, da escola algo diversificadas.

Neste trabalho adopta-se uma perspectiva que, apesar de preconizada por Dewey no início do século, só na última década se tem salientado no âmbito da investigação educacional e nos movimentos de reforma curricular em muitos países (Estados Unidos da América, Israel, Venezuela, Inglaterra, Austrália, Espanha, etc.). Vê-se como função primordial da escola o desenvolvimento de capacidades de pensar. Pensar é, diz E. de Bono (1983), uma competência e, como tal, pode ser desenvolvida e melhorada se soubermos como. Podem e devem ser ensinadas capacidades de pensamento gerais, para além de capacidades específicas requeridas por determinada área de conteúdo. O interesse pelo ensino, na sala de aula, dessas capacidades, o propósito de melhorar a competência intelectual, tem sido objecto de largo debate em várias conferências e sessões de trabalho internacionais. Com o mesmo objectivo têm sido desenvolvidos, imple-

mentados e avaliados vários programas de intervenção, em países e situações escolares muito variados.

Uma das razões para o referido interesse na pesquisa sobre o pensar são as crescentes alterações muito rápidas, nesta sociedade altamente tecnológica dos finais do séc. XX que, mais do que informação factual, exige das pessoas estratégias gerais de compreensão da nova informação e capacidades intelectuais que lhes permitam seleccionar, organizar e aplicar essa mesma informação.

De acordo com a perspectiva apontada poder-se-á ver a escola a ensinar a pensar segundo três vertentes: (1) *ensinar para pensar*, isto é, criar condições na escola que conduzam ao total desenvolvimento cognitivo; (2) *ensinar a pensar*, ou seja, instruir directamente os alunos em competências e estratégias de pensamento (classificar, comparar, analisar, avaliar, inferir, deduzir, etc.), implementando um ou mais programas para tal; (3) *ensinar sobre o pensar*, isto é, ajudar os alunos a tornarem-se conscientes dos seus próprios processos cognitivos e do seu uso nas situações e problemas da vida real (Costa, 1985). Dito de outro modo, pode ver-se o pensar ligado a: (1) *conhecer conteúdos* (conhecimento declarativo e conhecimento processual; (2) *raciocinar* (recordar, ajustar, reestruturar, transferir, inven-

tar, etc.); *aprender a aprender* (auto-avaliar, supervisionar atitudes e estratégias, regular ou controlar processos cognitivos) (*Educational Leadership*, 43 (8), capa).

Na aprendizagem, o aspecto mais importante é certamente *aprender a aprender*. Sendo, porém, os conteúdos também importantes, «aprender a aprender» é expressão sem sentido se não for firmemente baseada num contexto. Os currículos tradicionais têm-se centrado em conhecimentos úteis e capacidades básicas. Infelizmente têm sido negligenciadas estratégias mais gerais, tais como resolver problemas e seleccionar métodos de trabalho apropriados.

Os professores podem ensinar como aprender a par de ensinar conhecimentos factuais e processuais. Com o ritmo do desenvolvimento tecnológico, os anos de escolaridade obrigatória não podem ensinar tudo o que será necessário na vida adulta, portanto as escolas devem ensinar para a adaptabilidade, mais do que estar preocupadas com apontamentos e exames, se querem contribuir realmente para a aprendizagem das pessoas (Nisbet e Shucksmith, 1986).

Nos estudo sobre capacidades/competências de pensamento tem havido várias tentativas de as distinguir, elaborando taxonomias que são úteis na planificação de currículos, programas e estratégias de ensino-aprendizagem, se se pretender, com estes, contribuir para o desenvolvimento de todas essas capacidades, para o desenvolvimento global da pessoa, no aspecto cognitivo.

2. Capacidades de pensamento — uma possível classificação

De entre algumas taxonomias apresenta-se a classificação segundo B. Presseisen (in Costa, 1985) que, baseando-se nas taxonomias de Bloom e Guilford, considera (a) processos básicos e (b) processos complexos de pensamento. Esta divisão pode corresponder à classificação, de outros autores, em competências/capacidades de pensamento: (a) elementares, ou de baixo nível e (b) complexos, ou de alto nível.

Nos *processos básicos*, a autora distingue, por ordem crescente de dificuldade: (a) *qualificações* (encontrar características únicas); (b) *classificações* (determinar qualidades comuns); (c) *relações* (detectar relações e/ou ligações que manifestam regularidades); (d) *transformações* (relacionar características conhecidas com as desconhecidas, atribuir significado); (e) *causas* (estabelecer relações de causa-efeito).

Quanto aos *processos complexos*, B. Presseisen (*ibid.*) apresenta-os em quatro capacidades de pensamento de alto nível, envolvendo capacidades básicas, por ordem crescente de complexidade (e abrangência): (a) *pensamento criativo* (criar novas ideias); (b) *pensamento crítico* (analisar argumentos e inventar significados e interpretações); (c) *tomada de decisões* (escolher uma boa alternativa); (d) *resolução de problemas* (resolver dificuldades, ultrapassar obstáculos). Estas são capacidades que a escola, tradicionalmente, tem negligenciado.

Para além dos processos cognitivos, as capacidades de pensamento devem também incluir processos metacognitivos, conceito introduzindo recentemente com os estudos de estratégias de pensar sobre o pensar, estratégias que é necessário introduzir nas metodologias do professor na sala de aula (Costa, 1984).

No modelo de Presseisen, o *pensamento metacognitivo* tem duas dimensões principais: (a) uma dimensão orientada para a *tarefa*, relacionada com a supervisão da utilização de uma dada competência/capacidade, e (b) uma outra dimensão *estratégica*, que tem a ver com o uso dessa competência numa dada circunstância particular e com a tomada de consciência do resultado da utilização de uma estratégia.

3. Metacognição e estratégias metacognitivas

Metacognição é o termo que os psicólogos adoptaram no início dos anos 70 para o aspecto da aprendizagem relacionado com a tomada de consciência dos próprios processos cogni-

tivos. Flavell, o introdutor do termo, definiu metacognição como qualquer conhecimento ou actividade cognitiva que tem como objecto, ou regula, qualquer aspecto do trabalho cognitivo, já que o significado etimológico da palavra é «*cognição acerca da cognição*» (Flavell, 1985).

Assim, metacognição diz respeito à capacidade de cada um conhecer os seus próprios modos de pensar, tomar consciência da capacidade de gerir e controlar as suas actividades cognitivas enquanto lê, estuda, executa uma tarefa, quer intelectual quer laboratorial, responde a questões, resolve problemas, etc. Enquanto nos processos cognitivos se consideram, em geral, a atenção, a memória, a compreensão, etc., por metacognição entende-se o controlo consciente dos processos cognitivos, para além do conhecimento dos mesmos.

Pode então dizer-se que as *componentes da metacognição*, que devem constar de qualquer estratégia metacognitiva, são:

- *conhecimento* do que é a aprendizagem e como ocorre (os processos);
- *tomada de consciência* do progresso, ou dificuldades, e produtos da aprendizagem;
- *controlo* que envolve a *gestão* e a *avaliação*, da aprendizagem.

O ensino de estratégias metacognitivas tem-se mostrado eficaz em variadas situações educacionais: estudos ligados às capacidades de escrita, de leitura e compreensão, à atenção, à memória, à resolução de problemas. Vários estudos relatam resultados de trabalhos realizados com crianças, adolescentes e jovens, em situações de ensino normal e em remediações de algumas dificuldades de aprendizagem. Quando os alunos se tornam conscientes dos processos que usam e quando aprendem a controlar esses processos cognitivos, a capacidade de transferência aumenta, quer em aprendizagens escolares quer extra-escolares. Esta capacidade de transferência é, com outros aspectos entre os quais a metacognição, um dos considerados indicadores de comportamen-

tos inteligentes, o que é, sem dúvida, um dos objectivos fundamentais a perseguir nas nossas escolas.

4. A resolução de problemas em geral e de física em particular

A aplicação de processos metacognitivos em todo o currículo, e em particular nas aulas de Física, promove o desenvolvimento intelectual dos alunos. Assim, dá-se ênfase particular à utilização de estratégias metacognitivas (que se poderiam exemplificar em trabalhos de pequenos grupos, caso não houvesse limitações de tempo) nas aulas de Física, para o desenvolvimento do acto de pensar, nomeadamente no desenvolvimento da capacidade, de alto nível, muito importante, que é a resolução de problemas.

Se por *problema* entendermos: (a) algo de que não conhecemos a solução; (b) questão (questões) que necessita de uma resposta a ser elaborada pelo sujeito (e não só recordada); (c) algo que exija criar um método para descobrir a(s) resposta(s); (d) um projecto pessoal; teremos uma vasta gama de problemas, de tipos diversos, no âmbito das várias áreas curriculares, e não só os tradicionais «exercícios» de Matemática, de Física e Química, que nem sempre ou quase nunca serão verdadeiros problemas (seria outra discussão interessante, entre nós, quanto ao que pode entender-se por «problema», «exercício», «puzle», tarefa, questão, etc.).

A *resolução de problemas* pode ser encarada segundo várias perspectivas, tais como: (1) um objectivo a atingir ao longo da escolaridade, nomeadamente nos ensino secundário e superior, em especial em disciplinas como a Física; (2) uma capacidade que envolve processos complexos de pensamento e que se pode ensinar; (3) uma estratégia de desenvolvimento de várias capacidades cognitivas; (4) uma abordagem do ensino das Ciências, em particular da Física, da Química e da Biologia;...

Aqui, porém, gostaríamos de salientar uma outra dimensão da resolução de problemas: vê-la como uma ocasião de *treino da metacognição*. Se o aluno conhecer o «modo como pensa», se «*pensar sobre*» a *resolução de problemas* e sobre os processos cognitivos que põe em jogo, está a fazer metacognição. Isso envolve a crescente tomada de consciência dos processos mentais (capacidades/competências que põe ou não em jogo), dos procedimentos específicos e das estratégias utilizadas na abordagem da situação problemática. Compreendendo estes aspectos, o aluno torna-se mais capaz de os aplicar em outras situações sempre variadas, desenvolve a capacidade de transferência.

Ao deparar com um problema, o aluno tenta desenvolver uma estratégia que lhe permita descobrir a solução; confrontado com uma dificuldade utiliza uma estratégia pessoal para a ultrapassar. Difícil seria elaborar uma regra geral para abranger a resolução de todos e quaisquer problemas; a regra varia com o problema e com o sujeito que o pretende resolver.

A capacidade de resolver, eficazmente, problemas com elevada exigência intelectual é, por vezes, limitada pela falta de conhecimento organizado no âmbito do problema. Para a solução adequada de qualquer problema é necessário, não só o conhecimento dos processos envolvidos na resolução, como também o conhecimento de conceitos, leis e teorias que fundamentam o processo de procura da(s) solução(ões) desse problema particular.

Têm sido realizados muitos estudos com o objectivo de conhecer os passos utilizados mais frequentemente pelos alunos durante a resolução de problemas (poder-se-ia referir aqui alguns dos métodos mais divulgados nesta pesquisa). Esse conhecimento tem-se mostrado muito útil, permitindo distinguir «peritos» e «inexperientes» em resolução de problemas e fornecendo indicações necessárias para possíveis alterações nas metodologias de ensino desta complexa competência/capacidade de pensamento.

Alguns dos «modelos» que descrevem as etapas (ou fases) da resolução de problemas dentro de uma linha cognitiva do processamento de informação, com alunos de diferentes aptidões e com diferente treino de resolução de problemas, em diferentes contextos curriculares (Bransford et al, 1986, Costa, 1985, Larkin e Reif, 1979) têm em comum a particularidade de apresentarem um *plano geral* de actuação do sujeito durante a resolução do problema, plano esse que, em geral, apresenta os seguintes *passos*: identificação e representação do problema, planeamento da solução, execução do plano e avaliação da solução proposta.

Apresenta-se um desses «modelos», curiosamente designado por *IDEAL*, nome derivado das iniciais das designações das etapas que considera (em inglês): Identify, Define, Explore, Act, Look and Learn (Bransford, 1986).

O problema deve ser identificado (reconhecer que o problema existe) após o que é definido com mais precisão; esta definição conduzirá à exploração de possíveis soluções e à execução do plano delineado para a sua obtenção. Por fim, observa-se o efeito das actividades realizadas e aprender a partir da avaliação dos resultados.

O ensino da resolução de problemas terá efeitos mais significativos se for permeado por estratégias metacognitivas. O aluno não só aprende a resolver o problema em causa como consciencializa e avalia as operações cognitivas postas em jogo, controla as estratégias a utilizar para vencer as dificuldades que vai encontrando. Para ajudar os alunos nesta aprendizagem não se lhes pede que indique apenas a(s) solução(ões) correcta(s) mas, também, que descrevam os processos que envolvem na sua procura, que registem o que vão pensando desde a leitura e compreensão do enunciado, as dificuldades que encontram, como as ultrapassam ou não, e porquê, como seleccionam alternativas, bem como lhes pode ser pedido que explicitem aprendizagens novas ou recordadas.

5. Alguns programas implementados para desenvolver capacidades de pensar, em geral, e de resolver problemas, em particular

Entre os muitos e variados programas de intervenção delineados para «ensinar a pensar» alguns dão maior ênfase aos processos meta-cognitivos. Estes pretendem desenvolver estruturas de conhecimento bem organizadas que possam funcionar como instrumentos para a resolução de problemas.

Neste seminário, com o pouco tempo de que se dispõe, apresentam-se apenas, e muito resumidamente, programas que têm a ver mais directamente com as competências ou capacidades envolvidas na resolução de problemas e têm sido utilizados, avaliados e adaptados em variados contextos, entre os quais o ensino das Ciências e da Física em especial:

(a) *Resolução Criativa de Problemas* (Creative Problem Solving? CPS), desenvolvido nos EUA por Sidney Parnes, com o objectivo de desenvolver capacidades e atitudes necessárias à aprendizagem criativa, à sensibilidade aos problemas e à sua resolução;

(b) *Resolução de Problemas para o Futuro* (Future Problem Solving, FPS), desenvolvido por E. P. Torrance, nos EUA, com o objectivo de desenvolver criativamente capacidades de resolução de problemas enquanto se aprende para o futuro;

(c) *Enriquecimento Instrumental* (Instrumental Enrichment, IE), desenvolvido por R. Feuerstein, em Israel, divulgado e adaptado, actualmente em muitos países, com a grande meta de desenvolver nos alunos capacidades de pensamento e de resolução de problemas de modo a torná-los mais autónomos na sua aprendizagem;

(d) *Inteligência*, programa desenvolvido por um grupo de investigadores da Universidade de Harvard, pela firma consultora Bolt, Beranek and Newman Inc, em colaboração com o Ministério da Educação da Venezuela, entre 1979 e 1984, tem nos EUA o nome *Odisseia* — um currículo para pensar; o grande objectivo deste projecto é ensinar uma larga gama

de capacidades de pensar a toda a população venezuelana, visando cidadãos pensadores independentes, autónomos e inventivos.

BIBLIOGRAFIA

- BRANSFORD, J. et al. — *Teaching Thinking and Problem Solving*. American Psychologist, **41**, 1078-1089 (1986).
- COSTA, A. L. — *Mediating the Metacognitive*. Education Leadership, **42**, 57-62.
- COSTA, A. L. (Ed.) — *Developing Minds: a resource book for teaching thinking*. Alexandria, VA: ASCD (1985).
- DE BONO, E. — *The Direct Teaching of Thinking as a Skill*. Phi Delta Kappan, **64**, 703-708 (1983).
- FLAVELL, J. — *Cognitive Development*, 2nd ed. N. J.: Prentice Hall, Inc. (1985).
- LARKIN, J., REIF, F. — Understanding and Teaching Problem-Solving in Physics. *European Journal of Science Education*, **1**, 191-203 (1979).
- NISBET, J.; SHUCKSMITH, J. — *Learning Strategies*. London: Routledge Educational Books (1986).
- Projecto Dianoia — *Aprender a Pensar*. Lisboa: Departamento de Educação da Faculdade de Ciências (1987).
- STERNBERG, R. J. — How Can we Teach Intelligence. *Educational Leadership*, **42**, 38-48 (1984).

Journal of Condensed Matter

O Institute of Physics (U.K.) vai lançar em 1989, uma nova revista científica — Journal of Condensed Matter — nele englobando duas revistas de grande prestígio científico actualmente existentes — Journal of Physics C: Solid State Physics e Journal of Physics F: Metal Physics.

A nova revista cobrirá todo o campo da ciência da Matéria Condensada, publicando cartas e manuscritos num curto período de tempo (50 números por ano) e visando padrões com a mais elevada qualidade editorial.

IOP Publishing Ltd.
Techno House, Redcliffe Way
Bristol BS1 6NX — England

«Devia ser em português!»

Recordando Richard P. Feynman

MÁRIO PINHEIRO

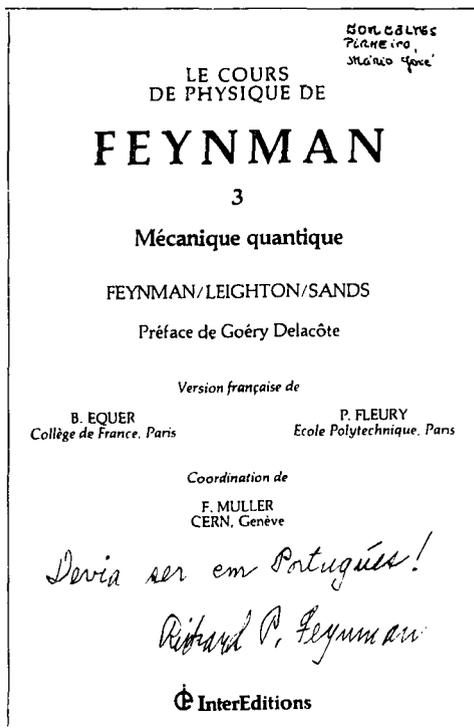
Departamento de Física do IST e Centro de Electrodinâmica
Av. Rovisco Pais, 1096 Lisboa, Codex, Portugal

Não serei eu, porventura, a pessoa mais indicada para falar da obra científica do Prof. Richard P. Feynman. O conhecimento deste personagem curioso no mundo dos físicos empreende-se nos bancos da universidade, quando se lê os cursos de Física de Feynman. Ele ensinou-nos a pensar a Física numa nova atitude criadora, que foge à rigidez escolástica. Transmitiu-nos uma nova atitude científica, que faz da Física um modo de pensar e viver.

Tive o grande privilégio de o conhecer pessoalmente na «International Conference on High Energy Physics» que decorreu de 9-15 de Julho de 1981 em Lisboa, na Fundação Calouste Gulbenkian. Entretanto, nos intervalos chamou-me a atenção uma figura peculiar, de cabelo à *la Einstein*, de estatura elevada e andar desportivo. Aquele personagem constituía um enigma e a sua solução um desafio. Pelo que pensei e tive uma supeita... Que seria confirmada quando R. P. Feynman se apresentou para proferir a conferência final...

Depois de terminada, todos rapidamente se retiraram e estava eu lastimando não o ter conhecido quando o reencontro no balcão da agência de viagens. Estava rabiscando fórmulas sobre um pequeno papel. Tomei coragem, dirigi-me na sua direcção e perguntei: «Mr. Richard P. Feynman?». «Yes. That's me!», retorquiu, endireitando o seu corpo magro, alto e bronzeado e olhando directamente olhos nos olhos, com um sorriso matreiro e vivo. Perguntei-lhe se não se importaria de escrever algo sobre o livro que possuía de Mecânica Quântica e que era de sua autoria. «Sure! Give me your book.», e estende a mão na direcção da pasta que eu transportava. Olhou então para o livro atentamente (o livro era uma tradução francesa) e diz-me um pouco indignado: «Devia ser em português!». E escreveu directamente sobre o

frontispício (ver figura) numa caligrafia que eu diria victoriana. Mas, note-se bem, não se pareceu que a sua indignação fosse de outra índole que a de o Professor Feynman achar que deveríamos ter literatura científica na nossa própria língua. Que era indubitavelmente uma necessidade fundamental para o progresso científico de um país.



Em seguida, o Prof. Feynman confessou-me «Eu vivi trinta años no Brasil!». Mas, apercebendo-se de algo errado no que dissera, desculpou-se porque, «por vezes, confundia português com espanhol» (na realidade, viveu ao todo 3 anos no Brasil). Numa grande simplicidade, o Prof. Feynman continuou falando e acompanhando com atenção o jovem que eu era (andava no 3.º ano da faculdade). Pedi-lhe se, porventura, poderia enviar-lhe para aprecia-

ção um artigo que eu redigira sobre o conceito de entropia (e, diga-se de passagem, ainda se encontra em estado de completa imaturidade). «No, absolutely not!», respondeu estacando de imediato. «That's your politics?» — questiono. «No! Nothing of politics!» — retorquiu de imediato. E explicou-me que nunca via o trabalho de outros, excepto quando eram fundamentais. De outro modo não perdia tempo. Compreendi.

Professor Feynman continuou falando mais um pouco à porta da Fundação com muita afabilidade e jovialidade. Até que se despediu com um «Boa Noite!» e desapareceu solitário na grande Lisboa, como se tivesse sempre aqui vivido.

Guardei a imagem de um homem extraordinário, de uma natural simplicidade. O seu mundo científico me pareceu muito perto do mundo dos homens.

Origem e características da difusão de raios X e neutrões segundo ângulos pequenos

DIRCE M. C. GUIMARÃES

Departamento de Física e Centro de Física do INIC da Universidade de Aveiro

As teorias utilizadas na difusão segundo ângulos pequenos de raios X e neutrões (SAXS, small angle X-ray scattering e SANS, small angle neutron scattering) são distintas dos conceitos usualmente associados à difracção de raios X e neutrões. O aspecto experimental também é diferente; são necessárias câmaras e tubos especiais. Apresentamos sucintamente o fenómeno da difusão segundo ângulos pequenos (SAXS e SANS) e salientamos o seu significado físico.

1. Difusão

A análise de estruturas pode basear-se na difracção de raios X, electrões e neutrões. Embora nos refiramos especialmente aos raios X para salientar características essenciais, todos os resultados se podem aplicar também à difracção de electrões e neutrões, apenas com pequenas modificações. A difracção é produzida pela interferência das ondas difundidas por um objecto.

No caso de raios X, cada electrão torna-se fonte de uma onda difundida. Todas as ondas secundárias têm a mesma intensidade que é dada pela bem conhecida fórmula de Thomson. Esta intensidade I_e é omitida por razões de brevidade; mas faz-se intervir I_e , se for necessária a intensidade absoluta.

2. Interferência

As ondas difundidas são coerentes. No caso dos raios X a difusão incoerente (Compton) é

desprezável para ângulos pequenos, e no caso dos neutrões faz-se a sua subtracção. Coerência significa que as amplitudes se somam e a intensidade é dada pelo quadrado da amplitude resultante. As amplitudes são de igual grandeza (igual a um pela nossa convenção de não fazer intervir I_e) e diferem apenas pela fase ϕ que depende da posição do electrão no espaço. É conveniente representar uma única onda secundária na forma complexa: $ei\phi$. O cálculo de ϕ está ilustrado na Fig. 1.

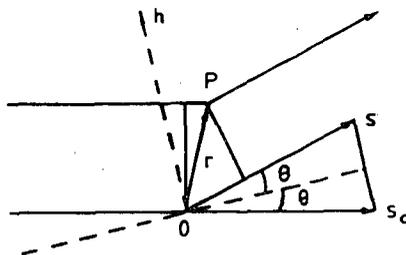


Fig. 1

Designamos a direcção do feixe incidente pelo vector unitário \hat{s}_0 e a direcção do feixe difundido pelo vector unitário \hat{s} . A diferença de caminhos para um ponto P (vector de posição \mathbf{r} em relação à origem 0) é dada por

$$\mathbf{r} \cdot \hat{s}_0 - \mathbf{r} \cdot \hat{s} = -\mathbf{r} \cdot (\hat{s} - \hat{s}_0)$$

e a diferença de fase é dada por

$$\phi = -\frac{2\pi}{\lambda} \mathbf{r} \cdot (\hat{s} - \hat{s}_0)$$

(λ — comprimento de onda da radiação)

ou

$$\phi = -\mathbf{h} \cdot \mathbf{r}$$

Observando que $(\hat{s} - \hat{s}_0)$ se situa simetricamente com respeito aos feixes incidente e difundido, vem

$$|\hat{s} - \hat{s}_0| = 2 \sin \theta$$

e então

$$\mathbf{h} = \frac{4\pi}{\lambda} \sin \theta$$

(Na difusão segundo ângulos pequenos $\sin \theta$ pode ser substituído por θ).

O produto $\mathbf{h} \cdot \mathbf{r}$ significa que apenas a componente de \mathbf{r} segundo \mathbf{h} é relevante para a fase. A difracção pode por conseguinte ser considerada como uma «reflexão» por um conjunto de planos. Este conceito, embora de grande importância em Cristalografia, não é muito utilizado aqui.

Seria agora possível obter a amplitude resultante, somando todas as ondas secundárias, cada uma representada por um termo $e^{-i\mathbf{h} \cdot \mathbf{r}}$. Mas, considerando o enorme número de electrões e o facto de um único electrão não poder ser localizado exactamente, é conveniente utilizar o conceito de densidade electrónica. Representamos por $\rho(\mathbf{r})$ o número de electrões por unidade de volume. O elemento

de volume dV na posição \mathbf{r} contém $\rho(\mathbf{r}) dV$ electrões. Então

$$F(\mathbf{h}) = \int dV \rho(\mathbf{r}) e^{-i\mathbf{h} \cdot \mathbf{r}} \quad (1)$$

Falando matematicamente, a amplitude de difracção F segundo uma certa direcção (especificada por \mathbf{h}) é a transformada de Fourier da distribuição de densidade electrónica no objecto. Calculando o quadrado da amplitude vem, com $I(\mathbf{h}) = FF^*$:

$$I(\mathbf{h}) = \iint dV_1 dV_2 \rho(\mathbf{r}_1) \rho(\mathbf{r}_2) e^{-i\mathbf{h} \cdot (\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2)} \quad (2)$$

Este é também um integral de Fourier que depende da distância relativa $(\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2)$ para cada par de pontos. Convém fazer esta integração em dois passos sucessivos: primeiro somar todos os pares com igual distância relativa, e depois integrar todas as distâncias relativas, incluindo o factor de fase.

O primeiro passo consiste na operação matemática do quadrado da convolução ou auto-correlação e define-se por

$$\tilde{\rho}^2(\mathbf{r}) = \int dV_1 \rho(\mathbf{r}_1) \rho(\mathbf{r}_2) \quad (3)$$

com

$$\mathbf{r} = (\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2) = \text{constante}$$

A função resultante, bem conhecida como a função de Patterson, é usada largamente em Cristalografia e tem as seguintes propriedades: o conjunto de todos os pares de electrões com distância relativa \mathbf{r} pode ser representado por um ponto num espaço C . [A densidade destes pontos é então dada por $\rho^2(\mathbf{r})$]. Como cada par é contado duas vezes (\mathbf{r} e $-\mathbf{r}$), deduz-se que a distribuição no espaço C apresenta um centro de simetria.

O segundo passo consiste numa integração sobre o espaço C :

$$I(\mathbf{h}) = \int dV \tilde{\rho}^2(\mathbf{r}) e^{-i\mathbf{h} \cdot \mathbf{r}} \quad (4)$$

Esta é uma transformada de Fourier. Concluímos que a distribuição de intensidade em \mathbf{h} ou espaço recíproco é univocamente determinada pela estrutura do objecto, expressa por $\rho(\mathbf{r})$.

Também, a estrutura do objecto pode obter-se a partir de $I(\mathbf{h})$ pela transformação de Fourier inversa.

$$\tilde{\rho}^2(\mathbf{r}) = (1/2\pi)^3 \int dh_x dh_y dh_z I(\mathbf{h}) e^{-i\mathbf{h} \cdot \mathbf{r}} \quad (5)$$

Das duas últimas relações pode tirar-se uma conclusão geral: existe uma reciprocidade entre o espaço usual e recíproco. Como estão relacionados apenas pela fase $\mathbf{h} \cdot \mathbf{r}$, o resultado é o mesmo quando \mathbf{r} aumenta e \mathbf{h} diminui do mesmo factor. Assim, partículas grandes darão efeitos de difracção concentrados em ângulos pequenos.

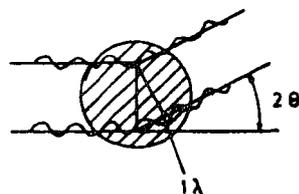
3. Difusão segundo ângulos pequenos

As técnicas de SAXS e SANS são hoje correntes para a investigação de estruturas não periódicas com dimensões de 10Å a alguns milhares de Å . Os trabalhos de pesquisa de materiais combinam SAXS e SANS. Continuamos a usar os raios X para o estabelecimento da origem e características essenciais dos efeitos em causa.

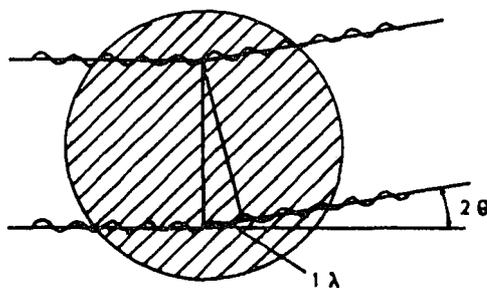
Consideremos a Fig. 2 e a Fig. 3.

A Fig. 2 (a) mostra uma partícula esférica. Supomos que ondas difundidas a partir dos dois pontos indicados, segundo um ângulo de 2θ , apresentam uma diferença de percurso 1λ . Qualitativamente, a curva de difusão será como a curva 1, Fig. 3. Apliquemos a mesma descrição para uma esfera muito maior, Fig. 2 (b), para o mesmo λ . Agora, diferenças de caminho de 1λ já têm lugar para ângulos de difusão mais pequenos do que resulta uma curva de difusão mais estreita (curva 2, Fig. 3). Finalmente para partículas que são enormes comparadas com λ tem lugar a difusão de raios X segundo ângulos pequenos. O termo «densidade electrónica» é frequentemente uti-

lizado para a diferença de densidade electrónica, o «contraste».



(a)



(b)

Fig. 2

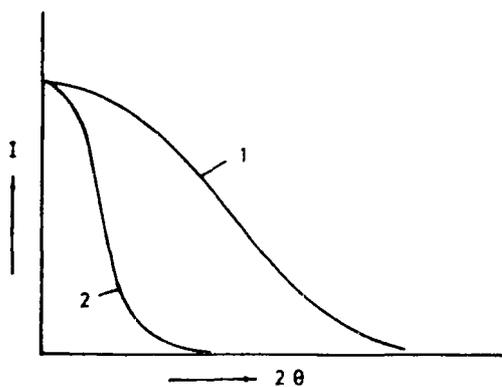


Fig. 3

Idealizemos uma solução diluída de partículas idênticas de densidade electrónica constante ρ , embebidas num meio de constante ρ_0 (solvente). Assim, apenas a diferença $\Delta\rho = \rho - \rho_0$ será relevante para a difracção. Se as partículas estiverem suficientemente afastadas uma das outras, é plausível supor que dão contribuições

independentes para a intensidade difractada de modo que apenas uma única partícula (designada pelo índice 1) necessita ser considerada. Estudando o assunto com mais pormenor, verifica-se que este facto é verdadeiro.

4. Algumas considerações sobre difusão por partículas

O caso mais simples é o de partículas que apresentam simetria esférica. Como todas as orientações no espaço são equivalentes, basta então calcular a amplitude, e depois elevá-la ao quadrado para obter a intensidade.

Para o caso especial de uma esfera (raio R_0 , volume V) de densidade uniforme, o resultado foi dado por Rayleigh (1911):

$$I_1(h) = (\Delta\rho)^2 V^2 \left[3 \frac{\sin h R_0 - h R_0 \cos h R_0}{(h R_0)^3} \right] \quad (6)$$

Embora deduzida apenas para um caso muito especial, a equação (6) apresenta todas as características típicas comuns a curvas de difracção produzidas por partículas que não sejam muito anisométricas.

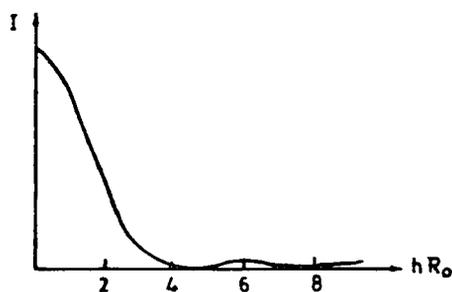


Fig. 4

O pico central compreende-se facilmente: todas as ondas secundárias estão em fase para $h=0$, e somam-se simplesmente. A amplitude deve, por conseguinte, ser igual ao número (Δn_e de electrões em excesso, porque só o contraste com o meio é efectivo. Isto deve ser verdadeiro para qualquer partícula e não depende do tamanho e forma

$$I_1(0) = (\Delta\rho)^2 V^2 = (\Delta n_e)^2 \quad (7)$$

Para partículas não esféricas a intensidade só pode ser calculada por métodos numéricos. Este procedimento é muito facilitado por alguma simetria especial da partícula. Consideremos um centro de simetria que suporemos existir daqui em diante. O cálculo da amplitude é então simplificado porque a amplitude se torna real para qualquer orientação. O factor de fase $e^{-ih \cdot r}$ pode então ser substituído por $\cos h \cdot r$. Vem

$$F_1(h) = \Delta\rho \int dV \cos h \cdot r \quad (8)$$

$$I_1(h) = F_1^2$$

O integral deve estender-se a todo o volume da partícula. A intensidade observada determina-se então, tomando a média de F^2 para todas as orientações. Este procedimento é equivalente a conservar a partícula fixa e a rodar h com respeito a ela.

5. O problema e valor da análise para ângulos pequenos

O problema e valor da análise para ângulos pequenos consiste em deduzir o tamanho, forma, massa e mesmo a densidade de distribuição electrónica (estamos a referir-nos em particular a SAXS), a partir da curva de difusão. Devemos encontrar uma partícula modelo que é «equivalente na difusão» à partícula em solução, isto é, cuja curva de difusão concorda, dentro dos limites dos erros experimentais, com a curva experimental. Isto é particularmente verdadeiro se não apenas o máximo principal mas também máximos subsidiários, forem observados. Estes máximos subsidiários são frequentemente muito fracos, mas a sua posição, altura e forma são sensíveis a variações muito pequenas no modelo.

Para ver exactamente de que factores depende a difusão segundo ângulos pequenos, consideremos uma partícula de densidade electrónica $\rho(x)$. (O símbolo x é obviamente usado aqui para simplificar a notação). Definamos

um «factor de forma» desta partícula $s(\mathbf{x})$ (Ewald (1940)) que tem o valor 1 quando \mathbf{x} cai no interior da partícula e a valor 0 quando \mathbf{x} cai fora da partícula. A amplitude da radiação difundida por esta partícula é dada por

$$A_1(\mathbf{h}) = \int \rho(\mathbf{x}) s(\mathbf{x}) e^{-i\mathbf{h} \cdot \mathbf{x}} d\mathbf{x} \quad (9)$$

Sejam $A(\mathbf{h})$ e $S(\mathbf{h})$, respectivamente, as transformadas de Fourier de $\rho(\mathbf{x})$ e $s(\mathbf{x})$. Um teorema geral na teoria das transformações de Fourier estabelece que

$$A_1(\mathbf{h}) = \int A(\mathbf{y}) S(\mathbf{h}-\mathbf{y}) d\mathbf{y} \quad (10)$$

sendo \mathbf{y} a variável de integração. Dadas as dimensões da região na qual $s(\mathbf{x})$ é diferente de zero, a sua transformada, $S(\mathbf{h})$, está completamente determinada, e se a partícula tem dimensões da ordem de dezenas a centenas de diâmetros atômicos, $S(\mathbf{h})$ será diferente de zero apenas para valores muito pequenos de \mathbf{h} .

Consideremos agora a função $A(\mathbf{h})$. Se admitirmos, em primeira aproximação, que a amostra tem $\rho(\mathbf{x}) = K$ (constante), a transformada $A(\mathbf{h})$ actua como uma função delta de Dirac, sendo finita apenas para $\mathbf{h} = 0$ e nula para todos os outros valores de \mathbf{h} . No caso mais geral de um corpo homogéneo tal que $\rho(\mathbf{x})$ mostra periodicidades numa escala atômica ou molecular, a transformada $A(\mathbf{h})$ apresenta um grande número de picos. Todavia, todos estes picos, excepto o que corresponde a $\mathbf{h} = 0$, são produzidos para valores de \mathbf{h} bem fora do domínio em que $S(\mathbf{h})$ tem um valor não nulo. Então, como $A(\mathbf{y})$ é essencialmente uma função delta de Dirac centrada em $\mathbf{y} = 0$, pode inferir-se que em torno da origem do espaço recíproco, a amplitude $A_1(\mathbf{h})$ é simplesmente proporcional a $S(\mathbf{h})$ e a função $\rho(\mathbf{x})$ não intervém. A difusão em torno do centro é assim praticamente independente da ordem a curta distância dos átomos, dependendo apenas da forma exterior e dimensões da partícula.

Foi nos anos da década de 1930 que experimentalmente se observou que certas amostras produzem uma intensa e contínua difusão para ângulos inferiores a cerca de 2° , sem originar o usual tipo de efeitos de difracção encontrados nas fotografias de raios X. O efeito foi primeiramente observado para certas variedades de carvões finamente divididos, e várias outras substâncias, tendo todas em comum a característica de se apresentarem como finas partículas de tamanho submicroscópico (ou heterogeneidades na matéria dessa ordem de grandeza).

6. Aproximação de Guinier

Do que já foi exposto inferiu-se (fórmula (7)) que para a parte central existe uma aproximação universal para todas as partículas. Esta foi encontrada em primeiro lugar por Guinier (1939)

$$I_1(\mathbf{h}) = (\Delta n)^2 e^{-h^2 R^2/3} \quad (11)$$

com o «raio de giração» R como único parâmetro. Sendo r a distância do electrão ao centro de gravidade temos

$$R = \sqrt{r^2} \quad (12)$$

O papel da «massa» é desempenhado pelos electrões evidentemente. (Para uma esfera de raio R_0 é $R^2/3 = R_0^2/5$).

A fórmula de Guinier estabelece-se facilmente. Consideremos a amplitude de uma partícula orientada, tal como dada por (8)

$$F_1(\mathbf{h}) = \Delta\rho \int dv \cos \mathbf{h} \cdot \mathbf{r}$$

Para a parte central bastará desenvolver $\cos \mathbf{h} \cdot \mathbf{r}$ numa série de potências

$$1 - \frac{(\mathbf{h} \cdot \mathbf{r})^2}{2} + \dots \quad (13)$$

O integral de volume toma então a forma

$$V \langle 1 - \frac{(\mathbf{h} \cdot \mathbf{r})^2}{2} + \dots \rangle \quad (14)$$

onde a média é tomada com \mathbf{h} fixo e \mathbf{r} a variar em todo o volume. Em coordenadas cartesianas temos

$$\mathbf{h} \cdot \mathbf{r} = h (x\alpha + y\beta + z\gamma) \quad (15)$$

onde x, y, z são as componentes de \mathbf{r} e α, β, γ são os cossenos directores de \mathbf{h} . Ao elevar ao quadrado e tirar a média, os produtos mistos como xy são iguais a zero, se se tomar o centro de massa como origem. Vem finalmente

$$\frac{\langle (\mathbf{h} \cdot \mathbf{r})^2 \rangle}{2} = h^2 (\bar{x}^2 \alpha^2 + \bar{y}^2 \beta^2 + \bar{z}^2 \gamma^2) \quad (16)$$

Este resultado deve ser substituído na série de potências (14), a amplitude então elevada ao quadrado para dar a intensidade e finalmente deve tomar-se a média para todas as orientações.

$$I_1(\mathbf{h}) = (\Delta\rho)^2 V^2 \langle 1 - h^2 \langle \bar{x}^2 \alpha^2 + \bar{y}^2 \beta^2 + \bar{z}^2 \gamma^2 \rangle + \dots \rangle$$

Vem

$$I_1(\mathbf{h}) = (\Delta n_e)^2 (1 - h^2 \frac{\bar{r}^2}{3} + \dots) \quad (17)$$

com base no facto de que

$$\langle \alpha^2 \rangle = \langle \beta^2 \rangle = \langle \gamma^2 \rangle = \frac{1}{3}$$

$$\bar{r}^2 = \bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2$$

A série de potências (17) está de acordo com a aproximação de Guinier até ao termo em h^2 ,

independentemente do tamanho e simetria da partícula.

A fórmula de Guinier dá resultados surpreendentemente bons na maioria dos casos. Só para partículas muito anisométricas deve ser substituída por outra aproximação.

7. Conclusão

Actualmente o método de análise de estruturas por SAXS e SANS está amplamente desenvolvido tanto do ponto de vista teórico como experimental. Técnicas de análise de dados sofreram um avanço considerável durante as últimas duas décadas com a utilização dos computadores.

Para concluir diremos apenas que para relacionar os aspectos microscópico e macroscópico das propriedades das ligas metálicas amorfas é necessário conhecer a ordem a média e a longa distância (10Å a 1000Å tipicamente). Os neutrões produzidos por um reactor de fluxo elevado fornecem mais facilmente valores absolutos do que os raios X, e dão a possibilidade de estudar igualmente as propriedades magnéticas. Muitas das propriedades destas ligas se podem explicar por um modelo de «bulles» o que requer a aplicação da teoria que aqui foi sucintamente abordada.

REFERÊNCIAS

- A. GUINIER e G. FOURNET — Small-Angle Scattering of X-rays, John Wiley & Sons (1955).
- Ed. O. GLATTER e O. KRATKY — Small-Angle X-ray Scattering, Academic Press (1982).
- D. GUIMARÃES, M. SANQUER, R. TOURBOT, M. C. BELLISSENT-FUNEL e B. BOUCHER — Proceedings of the Symposium on Magnetic Properties of Amorphous Metals, Benalmadena, Espanha 25-29 Maio 1987; eds. A. Hernando, V. Madurga, M. C. Sanchez e M. Vasquez.

Big Bang e inflacção (I)

A. L. L. VIDEIRA (*)

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

«Não é o Universo, a própria lei da matéria — vivificante e degradativa ao mesmo tempo — que coage, força, delimita o sonho humano? (...) O Mundo, de resto, tem mais importância como sonho do que como realidade».

Aquilino Ribeiro

1. Introdução

A Teoria da Relatividade Geral (TRG), como representação geométrica da gravitação, permite a formulação de um modelo cosmológico simples, que tem contado com grande aceitação e até mesmo grande favoritismo, devidos, por um lado, à sua naturalidade e simplicidade formal, e, por outro, ao facto de estar em excelente acordo com as principais observações no domínio cosmológico.

Entretanto, apesar do enorme sucesso desse modelo de um Big Bang quente na descrição da evolução dinâmica do nosso Universo, ele encerra em seu bojo graves dificuldades intrínsecas, a solução das quais conduziu à formulação, a partir do final da década de setenta, dos chamados modelos de expansão inflacionária.

No que se segue, desenvolveremos uma exposição (necessariamente despretenciosa) do Big Bang (Parte I) e de um dos modelos inflacionários — possivelmente o mais simples de todos — denominado de inflação caótica (Parte II).

2. O Universo em Espansão: um Quadro a fugir de nós ⁽¹⁾

É voz consensual que são poucas as descobertas realmente fundamentais para o estudo da Cosmologia. A primeira — e indubitavelmente a mais importante de todas — é a da

expansão universal proposta pelo astrónomo americano Edwin Powell Hubble em 1929 [1]. A segunda, também de efeito decisivo, é a radiação de fundo de três graus Kelvin, descoberta por Arno Penzias e Robert Wilson em 1965 [2, 3] — e que havia sido prevista anos antes por George Gamow [4, 5] e seus colaboradores [6, 7]. A terceira seria a que diz respeito aos dados referentes aos conteúdos de hidrogéneo e hélio primordiais [2, 8, 9].

Existem ainda, contudo, pelo menos mais três observações que, parecendo à primeira vista supinamente triviais, apontam todas, de facto, para um cenário radicalmente diferente daquele que era aceite sem contestação séria até à terceira década deste século ⁽²⁾.

Para uma dessas observações, basta-nos olhar para fora da janela e esperar que o Sol se ponha. O céu irá tornando-se mais e mais escuro, até que, em condições ideais, milhares de estrelas passarão a ser visíveis a olho nú: é noite. E agora parece que cabe imediatamente perguntar o que poderá haver de extraordinário, de surpreendente, de contraditório, nesse acontecimento tão corriqueiro. Com efeito, devido à rotação da Terra em torno do seu eixo, a ocorrência periódica da sucessão dia-noite-dia... é simplesmente inevitável. Ou será que não?

(*) Em licença do Departamento de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. A Comissão Redactorial respeitou integralmente a grafia do autor, mesmo quando ela se afastava da que é corrente em Portugal.

(1) O leitor que desejar aprofundar os temas esquematizados a seguir poderá aproveitar, entre inúmeras outras, as referências 19, 20, 21, 22 e 23.

(2) Einstein chegou ao ponto, como referiremos adiante, de alterar as equações de campo da Teoria da Relatividade Geral, de modo a que elas concordassem com o modelo cósmico «oficial».

Em 1826, o astrónomo alemão Heinrich Olbers [10] (e já antes dele o astrónomo suíço Jean Phillippe Cheseaux) notara que essa sucessão aparentemente inexorável de claro-escuro-claro... envolve, sob certas hipóteses, uma contradição inevitável: o chamado Paradoxo de Olbers. De facto, num Universo infinitamente grande (especialmente infinito) — como se supunha — no qual não haja deslocação relativa da matéria em larga escala (distribuição estática) e esta se encontre distribuída uniformemente, em qualquer ponto, a quantidade de radiação electromagnética recebida, por unidade de tempo seria infinita, ou seja, nenhum ponto de um tal Universo poderia, jamais, estar «no escuro». Desse modo, o facto da noite suceder ao dia significa (admitindo que a distribuição de galáxias neste nosso canto do Universo seja típica de qualquer outra região), ou bem que o Universo seja extraordinariamente pequeno (teria que ser muito mais pequeno do que é indicado pela observação), ou bem que a matéria se encontre em expansão. Excluindo, por demasiadamente pequeno, a primeira destas possibilidades, resta a hipótese da expansão, a qual aponta, então, inequivocamente, para estágios em que o jovem Universo seria muito menor e muito mais denso do que hoje.

Outra observação no mesmo sentido de uma evolução temporal universal diz respeito à situação de equilíbrio termodinâmico: ao medirmos a temperatura do espaço interestelar, encontramos um valor poucos graus acima do zero absoluto ($\sim 3\text{K}$), enquanto que a temperatura de uma estrela como o nosso Sol, por exemplo, atinge dezenas de milhões de graus ($\sim 20 \times 10^6 \text{K}$), ou seja, o cosmos encontra-se num estado de não-equilíbrio termodinâmico. Isto, por sua vez, significa que o nosso Universo não pode ser infinitamente antigo, já que, nesse caso, haveria transcorrido tempo suficiente para que se houvesse estabelecido o equilíbrio térmico.

Uma outra observação ainda, de fundamental relevância em Cosmologia e aquela que revela que, em escalas da ordem das centenas de milhões de parsecs ⁽³⁾, o Universo é homogéneo e isotrópico e que as maiores inomoge-

neidades, com dimensões típicas da ordem das dezenas de milhões de parsecs são os aglomerados galácticos ($\sim 10^7 \text{pc}$), seguidos pelas galáxias ($\sim 10^6 \text{pc}$), pelos aglomerados globulares estelares ($\sim 10^2 \text{pc}$) e pelas estrelas (alguns segundos-luz, como o Sol, ou até alguns dias-luz, como as gigantes vermelhas).

Trabalhando com um telescópio de 2,5 m na Califórnia, Edwin Hubble anunciou em 1929 um resultado das suas observações o qual provou constituir uma das descobertas mais importantes e relevantes de todos os tempos em Astronomia. Medindo o desvio espectral de galáxias, ele anunciou que esses sistemas se afastam da nossa Galáxia a velocidades proporcionais às suas distâncias de nós. Como a homogeneidade e a isotropia universais indicam que o nosso ponto de observação nada tem de especial — constituindo esse facto o chamado Princípio Cosmológico Copernicano — essa «fuga» galáctica admite uma única explicação: o nosso Universo é um sistema em expansão (de acordo com a lei de Hubble), o que, por sua vez, indica que, no passado, todo o seu conteúdo de energia-matéria esteve concentrado em regiões com dimensões muito inferiores e densidades muito superiores aos valores actuais.

Somos, assim, levados a considerar um estado de altíssimas densidade, temperatura e pressão; o qual como veremos adiante, foi opaco até um certo estágio, isto é, toda a radiação produzida até uma certa época não podia escapar, estava presa na «bola de fogo» (isto é, no plasma) primordial. Essa situação manteve-se até a temperatura do plasma cair o suficiente com a expansão para que pudesse ocorrer a captura de electrões por protões, formando hidrogénio neutro, o que diminuía de muito as possibilidades de espalhamento de fotões, que passaram, desde então, a propagar-se livremente. A radiação cósmica de fundo, na faixa das microondas, com temperatura de antena de 3K , altamente isotrópica (vinda de todas as direcções com a mesma distribuição) e com espectro de corpo negro, descoberta

⁽³⁾ Um parsec = $1\text{pc} = 3,0856 \times 10^{18} \text{cm} = 3,26$ anos-luz. Um ano-luz = $0,946 \times 10^{18} \text{cm}$.

acidentalmente ⁽⁴⁾ por Penzias e Wilson em 1965 [3] é como que o eco, a presença, o testemunho, a memória, desse desacoplamento entre a matéria e a radiação e que ocorreu quando o nosso mundo era centenas de milhões de vezes mais denso do que hoje, e milhares de vezes mais quente e mais pequeno.

Recuando ainda mais no tempo (de facto, como veremos, recuando *muito mais*), iremos atingir estágios em que o Universo — a densidades extremamente elevadas (já que todo ele estava concentrado em regiões muito menores do que as de hoje) — fervia a milhares de milhões de graus. Isso ensejava reacções nucleares, as quais, calculadas em pormenor, mostram que o resultado das mesmas deveria ser ~ 75% de hidrogénio, ~ 25% de hélio e praticamente mais nada ⁽⁵⁾. Esses resultados foram extraordinariamente convenientes, já que a teoria da nucleossíntese em estrelas (em novas e supernovas) não dava conta dessas quantidades de hidrogénio e de hélio, nem do motivo porque a sua distribuição fosse tão uniforme [11].

3. O Modelo Padrão

Os dados observacionais essenciais acima referidos — a expansão universal, a radiação cósmica de microondas e a nucleossíntese primordial do hidrogénio e do hélio — sobre os quais se deve fundamentar qualquer construção teórica que pretenda reproduzir a história do Universo, apontam, justamente, para um quadro espaço-temporal em contínua evolução. Quer dizer: qualquer construção teórica que pretenda atender ao qualificativo de *cosmológica*, isto é, que pretenda contar a história do Universo no seu todo, deverá ser capaz de fornecer uma descrição que evolua a partir de um estado altamente condensado e quente, o qual, ao expandir-se, vá-se rarefazendo e resfriando.

Das quatro interacções fundamentais conhecidas, somente duas, a electromagnética e a gravitacional, são capazes de influenciar a evolução cósmica global. Todavia, como a observação indica que o Universo seja electricamente neutro, o campo electromagnético não pode

desempenhar um papel preponderante, cabendo, então, ao mais fraco dos quatro campos, o gravitacional, o papel de único responsável pela fábrica global do nosso mundo.

A equação do campo gravítico da Geometrodinâmica (mais conhecida por TRG) formulada por Einstein em fins de Novembro de 1915 ($c = 1$ em todas as equações do presente trabalho),

$$R_{\mu\nu} - 1/2 g_{\mu\nu} R = 8 \pi G T_{\mu\nu}; \quad \mu, \nu = 0, 1, 2, 3, \quad (1)$$

relaciona, no lado esquerdo, as propriedades puramente geométricas de um dado espaço-tempo com o conteúdo de matéria-energia desse espaço-tempo, no lado direito. Nessa moldura Einsteiniana, a gravitação é representada pelo tensor métrico $g_{\mu\nu}$ (e pelas suas derivadas primeiras e segundas) de uma geometria (pseudo-) Riemanniana quadridimensional. Assim, é natural procurar no quadro dessa Geometrodinâmica uma representação do cosmos e, com efeito, o próprio Einstein, já em 1917 apresentou uma solução cosmológica da sua equação do campo gravítico [12]. Com um grave defeito, porém, que o levou a ele, Einstein, anos mais tarde, a referir-se-lhe como o erro mais grave de toda a sua vida. O criador da representação geométrica da gravitação arrogou-se o direito de introduzir uma alteração *ad hoc* na sua equação de campo. Vejamos o que se passou.

Einstein logo percebeu que as únicas soluções cosmológicas estáveis da sua equação de campo são aquelas que fornecem um espaço-tempo em expansão (ou em contracção), coisa

⁽⁴⁾ O interessante é que Penzias e Wilson, que ganharam o Prémio Nobel de Física pela sua descoberta, fizeram-na inteiramente por acaso (a sua antena de microondas nos Laboratórios da Bell Telephone Company em Nova Jersey tinha fins bem mais pragmáticos) e precisaram da ajuda de alguns físicos da Universidade de Princeton, nomeadamente R. H. Dicke e P. J. E. Peebles para perceberem o que haviam encontrado.

⁽⁵⁾ Uma parte em um milhão para todo o resto, inclusive os materiais de que nós somos feitos.

que, para ele, como para quase toda a gente naquela época, parecia perfeitamente absurda: o Universo — acreditavam todos — deveria ter sido sempre como é hoje e deveria continuar a sê-lo para todo o sempre. O que Einstein fez foi então impôr uma solução que satisfizesse esse estado de coisas, introduzindo à mão, por assim dizer, um chamado termo cosmológico, Λ , suficientemente pequeno, que, contrabalançando os efeitos gravíticos da matéria, permitisse as almeçadas soluções:

$$R_{\mu\nu} - 1/2 g_{\mu\nu} R + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu} \quad (2)$$

Nós aqui, no presente tratamento, investigaremos que tipo de mundo, que tipo de Universo, nos é dado pela Geometrodinâmica de Einstein, sem contudo considerar esse termo cosmológico.

No chamado *modelo-padrão* do Universo, o tensor $T_{\mu\nu}$ da Eq. (1) representa um fluido perfeito, necessariamente em expansão ou em contracção (já que as soluções estacionárias de (1) sem termo Λ não são estáveis), caracterizado por uma quadrivelocidade u_μ , uma densidade de massa-energia ρ e uma pressão P (a pressão cinética das galáxias, as quais são aqui tratadas como partículas de um gás perfeito):

$$T_{\mu\nu} = (\rho + P) u_\mu u_\nu + g_{\mu\nu} P \quad (3)$$

Aqui, $g_{\mu\nu}$ é o tensor métrico da quadri-geometria, na qual, não se podendo introduzir um único tempo, definem-se hiper-superfícies tridimensionais, tipo espaço. Devido à hipótese de homogeneidade, estas são tri-superfícies de homogeneidade, o que quer dizer que a sua curvatura é a mesma em todos os seus pontos, assim como ρ e P . Por outro lado, a hipótese de isotropia (que, aliás, implica na homogeneidade) faz com que as linhas de universo do fluido perfeito sejam ortogonais às tri-superfícies, podendo-se então definir um *tempo cósmico*, ortogonal a essas superfícies tipo-espaço e observadores comóveis com o fluido, para os quais a componente puramente tem-

poral de $T_{\mu\nu}$ é a densidade, $T_{00} = \rho$, a componente puramente espacial é a pressão, $T_{ij} = P$, $T_{0j} = T_{j0} = 0$, ou seja, o observador comóvel não vê fluxo de energia e T_{ij} ($i \neq j$) = 0; ou seja, esse observador não vê tensões de cisalhamento.

A geometria deste modelo padrão é, então, descrita pela chamada métrica de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker [13-17]:

$$ds^2 = -dt^2 + R^2(t) \gamma_{ij}(x^k) dx^i dx^j \quad (4)$$

onde $\gamma_{ij}(x^k)$ é o tensor métrico das tri-superfícies ($i, j, k = 1, 2, 3$) e a função $R(t)$ do tempo cósmico t é o *parâmetro de escala* ou *factor de expansão*.

Apesar de estarmos interessados em investigar que tipo de mundo nos é dado pela Geometrodinâmica de Einstein sem o termo cosmológico (Eq. 1), queremos mencionar uma solução da Eq. (2) para o caso particular (e pouco realista) de um Universo sem conteúdo de matéria-energia ($T_{\mu\nu} = 0$). Essa solução, encontrada por de Sitter [18] tem a forma:

$$ds^2 = -dt^2 + e^{2at} (dx^2 + dy^2 + dz^2); \quad a = (\Lambda/3)^{1/2} \quad (5)$$

que representa um espaço-tempo tipo Minkowski, cuja parte espacial expande-se exponencialmente. Soluções cosmológicas mais realistas ($T_{\mu\nu} \neq 0$, mas também com a característica de se expandirem exponencialmente, serão investigadas na Parte II, quando forem tratados os modelos ditos inflacionários.

4. A Expansão de Hubble

A lei proposta por Hubble em 1929 [1] e que leva o seu nome estabelece, como já dissemos, uma relação linear entre a velocidade, v , de recessão das galáxias e as distâncias r , a essas galáxias:

$$v(t) = H(t) \cdot r(t) \quad (6)$$

onde o *parâmetro de Hubble*, $H(t)$, é definido como:

$$H(t) \equiv \dot{R}(t)/R(t) \quad (7)$$

cujo valor actual:

$$\begin{aligned} H_0 &= (75 \pm 25) \text{ km.s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1} \quad (8a) \\ &= (13 \times 10^9 \text{ ano})^{-1} = (1,2 \times 10^{28} \text{ cm})^{-1} \end{aligned}$$

é a chamada *constante de Hubble*, que também pode ser escrita adimensionalmente como:

$$h_0 \equiv H_0/100 \text{ km.s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1} \quad (8b)$$

O inverso da constante de Hubble, $H_0^{-1} \equiv t_H$, é chamado *tempo de Hubble* e fornece o tempo para as galáxias atingirem a sua separação actual (partindo de compactificação infinita), desde que elas tivessem sempre mantido as suas velocidades actuais.

A expansão universal de Hubble pode ser visualizada em termos de um argumento Newtoniano simples, bastando para isso considerar uma certa distribuição de massa à distância r_0 de um observador situado no centro de uma esfera homogénea e isotrópica. Expandindo-se todos os comprimentos por um factor de escala $R(t)$, passa-se de r_0 para r , de acordo com $r(t) = R(t)r_0$, de maneira que a velocidade v de expansão da esfera (e, portanto, da massa) é $v(t) = \dot{r}(t) = \dot{R}(t)r_0 = (\dot{R}/R)r(t) \equiv H(t) \cdot r(t)$.

As distâncias de objectos astronómicos pertencentes à Galáxia, ou mesmo ao aglomerado local de galáxias, são medidas em anos-luz ou em parsecs. Contudo, para objectos mais longínquos do que esses, é muito mais conveniente referir a distância em termos daquilo que, efectivamente se observa e se mede, relativamente a esses objectos, a saber, que as linhas espectrais emitidas por eles encontram-se invariavelmente desviadas para o vermelho ⁽⁶⁾.

A única explicação satisfatória para esse desvio espectral cosmológico para o vermelho é a expansão de Hubble. Com efeito, devido a essa expansão, todos os comprimentos (desde que não sejam afectados por outras forças

naturais) variam no tempo, como acabamos de ver, de acordo com $r(t) \sim R(t)$. Assim, em particular, o comprimento de onda λ da radiação electromagnética também satisfaz $\lambda \sim R$, de maneira que a energia dessa radiação diminui, avermelhece, ao efectuar trabalho contra a expansão do Universo: $E \sim \lambda^{-1} \sim R^{-1}$. Logo, $\lambda_0/R(t_0) = \lambda_e/R(t_e) = \text{cte}$, ou:

$$\lambda_0/\lambda_e = R(t_0)/R(t_e) \quad (9)$$

onde λ_0 é o comprimento de onda recebido em t_0 por um observador deslocando-se com velocidade v relativamente a uma dada fonte emissora (ao longo da linha de visada); λ_e é o comprimento de onda emitido em t_e ; $R(t_0)$ e $R(t_e)$ são os factores de escala nos instantes t_0 e t_e , respectivamente.

Definindo o *desvio espectral relativo*, z , por:

$$z \equiv \frac{\lambda_0 - \lambda_e}{\lambda_e} \quad (10)$$

tem-se:

$$1 + z = \frac{R(t_0)}{R(t_e)} \quad (11)$$

o qual representa um desvio para o vermelho (azul), desde que $z > 0$ (< 0). Quanto mais longe estiver a fonte emissora de radiação electromagnética, maior será o tempo transcorrido desde a emissão (t_e) até a observação (t_0) e como R aumenta com t (Universo em expansão), vê-se, por (11), que z aumenta com a distância da fonte emissora. Até à data (Janeiro de 1988), o objecto mais distante observado é o quasar QOO51-279, com $z = 4,43$.

5. O Big Bang

As equações de campo de Einstein, Eq. (1), aplicadas ao modelo padrão que acabamos de ver, de um Universo homogéneo e isotrópico,

⁽⁶⁾ Que não é o caso de alguns objectos próximos, como a galáxia espiral Andrómeda (gémea da nossa), pertencente ao Grupo Local de galáxias e que apresenta um desvio espectral para o azul (o que significa que ela se está aproximando de nós).

forneem a evolução temporal do factor de escala $R(t)$, em função do tempo cósmico t :

$$\dot{R}^2/R^2 = -k/R^2 + (8\pi G/3)\rho \quad (12)$$

$$2 \frac{\ddot{R}}{R} = -\dot{R}^2/R^2 - k/R^2 - 8\pi P \quad (13)$$

onde k é o *parâmetro de curvatura espacial*, que pode assumir os valores $k = +1, 0, -1$, correspondentes a um Universo fechado, plano, ou aberto, respectivamente (⁷). Note-se, contudo, que, derivado (12) e usando a lei da conservação da energia:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{4\pi}{3} \rho R^3 \right) = -P \frac{d}{dt} \left(\frac{4\pi}{3} R^3 \right) \quad (14)$$

obtém-se (13). De (14):

$$\dot{\rho} + 3(\rho + P) \frac{\dot{R}}{R} = 0 \quad (15)$$

e, para resolver esta última é necessário uma equação de estado $\rho(P, T)$ para o meio em expansão. Nas fases iniciais de Universo, o plasma (radiação e partículas) é extremamente relativista, de modo que as partículas têm velocidade da ordem de c , o que torna desprezíveis as energias de repouso com respeito às energias cinéticas. Ou seja, as partículas desse plasma podem ser consideradas como de massa nula, podendo-se, então, utilizar a equação de estado de um gás de radiação em equilíbrio térmico:

$$P = \rho/3 \quad (16)$$

Levando (16) em (15) e integrando, obtém-se:

$$\rho = AR^{-4}, \quad A = \text{cte.} \quad (17)$$

Substituindo (17) em (12) e integrando para pequenos valores de t (e com $t=0$ para $R=0$):

$$R(t) = Bt^{1/2}, \quad \dot{R}(t) = \frac{B}{2} t^{-1/2}, \quad H = \frac{1}{2t},$$

$$B^2 = \left(\frac{3}{32\pi GA} \right)^{1/2} \quad (18)$$

$$\rho(t) = \frac{32\pi G}{3} t^{-2} \quad (19)$$

Logo, para $t=0$ e $R=0$, tem-se $\rho = \infty$ e $\dot{R} = \infty$, ou seja, tem-se uma singularidade na origem espaço-temporal: o Big Bang. Além disso, como, para um gás de radiação em equilíbrio térmico (espectro de Planck), $\rho \sim T^4$, tem-se que, na origem, a temperatura é infinita, $T = \infty$, isto é, tem-se um Big Bang quente.

Por outro lado, para a matéria não-relativista, a equação de estado é $P \sim T$ e como, para galáxias, $v \sim 10^{-3}c$, tem-se que a pressão cinética dessas galáxias é $P \sim \rho v^2 \ll \rho c^2$, o que permite pôr $P \sim 0$ na Eq. (15):

$$\dot{\rho}/\rho = -3 \dot{R}/R$$

Ou seja, para a matéria, em vez de (17), tem-se:

$$\rho_{\text{mat}} \sim R^{-3} \quad (20)$$

Portanto, com a expansão de R , ρ_{rad} decresce mais rapidamente do que ρ_{mat} , o que significa que, a partir de um certo estágio na evolução cósmica, ter-se-á $\rho_{\text{rad}} < \rho_{\text{mat}}$, que é, justamente, o que se observa hoje.

A partir de um certo período, a radiação e a matéria se desacoplam (quase que por completo e para sempre). Devido à expansão, $\rho_{\text{rad}} \sim R^{-4}$ e, devido ao equilíbrio térmico, $\rho_{\text{rad}} \sim T_{\text{rad}}^4$, o que quer dizer que, para a radiação (desacoplada), vale $T_{\text{rad}} R = \text{const.}$, ou seja:

$$T/T_0 = R_0/R = 1 + z \quad (21)$$

onde a última igualdade provém de (11) e o índice zero indica valores actuais. Daqui decorre que o desvio espectral vai aumentando para infinito, à medida que nos aproximamos do Big Bang. Também desta relação e do que vimos anteriormente (§4), concluímos que, quanto maior for o desvio espectral z de um dado objecto astronómico, mais distante ele se encontra, no espaço e no tempo. Assim, por exemplo, a radiação do Q0051-279, acima

(⁷) No caso de um Universo fechado, $k = +1$; o parâmetro de escala $R(t)$ pode ser considerado como o «raio» desse Universo.

referido, traz-nos notícias de um Universo cerca de dez vezes mais jovem do que ele é actualmente.

Como o efeito da gravitação é o de desacelerar a expansão cósmica, é conveniente definir um *parâmetro de desaceleração*, $q(t)$,

$$q \equiv -\ddot{R}R/\dot{R}^2 \quad (22)$$

Da Eq. (13), com $P = 0$ e da lei de Hubble $R = HR$ decorre:

$$H^2(2q - 1) = k/R^2 \quad (23)$$

Por outro lado, de (12) e de (23), vem:

$$2q = \frac{8\pi G}{3H^2} \rho = \frac{\rho}{\rho_c} \Omega \quad (24)$$

onde ρ_c é chamada *densidade crítica*:

$$\rho_c \equiv 3H^2/8\pi G \quad (25)$$

$\rho_c \cong (10^8 H^2/50) \text{ g.s}^2. \text{ cm}^{-3}$ e $H_0 = 75 \text{ km.s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} = 0,75 \times 10^7 \text{ cm.s}^{-1} \cdot (3 \times 10^{24} \text{ cm})^{-1}$, $H^2 \cong 0,5 \times 10^{-35} \text{ s}^{-2}$; de modo que vem $\rho_c = 10^{-29} \text{ g.cm}^{-3} = 10^{-29} h_0^2 \text{ g.cm}^{-3}$.

De (23) e (24) decorrem as três seguintes possibilidades:

- (i) $\Omega_0 > 1 \leftrightarrow \rho_c = \rho_0 \leftrightarrow k = 0 \leftrightarrow$ *recontracção*:
Universo 'fechado';
- (ii) $\Omega_0 = 1 \leftrightarrow \rho_0 = \rho_c \leftrightarrow k = 0 \leftrightarrow$ *expansão*
para sempre:
Universo 'plano';
- (iii) $\Omega_0 < 1 \leftrightarrow \rho_0 < \rho_c \leftrightarrow k < 0 \leftrightarrow$ *expansão*
para sempre:
Universo 'aberto'.

As observações indicam que o valor actual do parâmetro Ω está compreendido no intervalo $0 \lesssim \Omega \lesssim 1$, sendo que os dados mais recentes parecem (tentativamente) apontar para um valor próximo do crítico, $\Omega_0 = 1$, o que significaria que o Universo seria muito pouco curvo, ou quase plano. De facto, desde o

período da nucleosíntese (quando, por meio da fusão de prótons e neutrões, formou-se o hélio-4 primordial), que cessou quando o Universo tinha cerca de $t \sim 10^8$ s de idade, até hoje ($t_0 \sim 10^{15}$ s), transcorreram 15 ordens de grandeza. Como qualquer desvio de um Universo exactamente plano ($k = 0$, $q_0 = 1/2$, $\rho_0 = 1$) cresce linearmente com o tempo, qualquer curvatura, por menor que ela fosse inicialmente, forneceria hoje um desvio da «chatice» por um factor $\geq 10^{15}$. Ora, como a observação actual indica que $\Omega_0 \geq 0,1$, isto é, indica que, hoje em dia, o Universo é aproximadamente plano, no período da nucleosíntese, ele deverá ter sido plano com uma precisão de uma parte em 10^{15} (o que faria com que só agora se houvesse atingido uma curvatura passível de ser medida). Em outras palavras: isto leva a poder supor-se que o Universo observável seja plano. Esta «chatice» poderia ser explicada — como veremos na Parte II — em termos de uma expansão inflacionária, a qual prevê um crescimento exponencial num intervalo de tempo bastante diminuto ⁽⁸⁾.

É interessante, pois, analisar a evolução do Universo dentro do modelo padrão para o caso plano. Fazendo na equação de Friedmann Eq. (12) $k = 0$ e substituindo $\rho = \rho_0(R_0^3/R^3)$, fica-se com:

$$\dot{R}^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho_0 R_0^3 \frac{1}{R} \quad (26)$$

Por (23): $q_0 = 1/2$, de modo que, por (24): $\rho_0 = 3H_0^2/8\pi G$, que, levado em (26) e integrando-se, fornece:

$$R/R_0 = (t/t_0)^{2/3} \quad (27)$$

onde:

$$t_0 \equiv \frac{2}{3} H_0^{-1} \quad (28)$$

é a idade do Universo.

⁽⁸⁾ Assim como o inflar de um balão desenruga a sua superfície, tornando-a menos curva.

REFERÊNCIAS

- [1] HUBBLE, E. P. — *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.*, **15**, 169 (1929).
- [2] PEEBLES, P. J. E. — *Astrophys. J.*, **146**, 542 (1966).
- [3] PENZIAS, A. A. e WILSON, R. W. — *Astrophys. J.*, **142**, 419 (1965).
- [4] GAMOW, G. — *Phys. Rev.*, **70**, 572 (1946).
- [5] GAMOW, G. — «The Creation of the Universe», Viking Press, New York, 1952.
- [6] ALPHER, R., BETHE, H. e GAMOW, G. — *Phys. Rev.*, **73**, 803 (1948).
- [7] ALPHER, R. e HERMAN, R. — *Nature*, **162**, 774 (1948).
- [8] WAGONER, R. V., FOWLER, W. A. e HOYLE, F. — *Astrophys. J.*, **148**, 3 (1967).
- [9] HOYLE, F. e TAYLER, R. J. — *Nature*, **203**, 1108 (1964).
- [10] OLBERS, H. W. M. — *Bode Jahrbuch*, **110** (1826).
- [11] PAGEL, B. — *Phil. Trans. R. Soc.*, **A307**, 19 (1982).
- [12] EINSTEIN, A. — *Preuss. Akad. Wiss. Berlin, Sitzungsberichte* (reimpresso em inglês em 23).
- [13] FRIEDMANN, A. — *Z. Phys.*, **10**, 377 (1922).
- [14] LEMAITRE, G. — *Ann. Soc. Sci. Bruxelles*, **A47**, 49 (1927).
- [15] ROBERTSON, H. P. — *Astrophys. J.*, **82**, 248 (1935).
- [16] ROBERTSON, H. P. — *Astrophys. J.*, **83**, 187 (1936).
- [17] WALKER, A. G. — *Proc. London Math.*, **42**, 90 (1936).
- [18] DE SITTER, W. — *Proc. Kon. Ned. Akad. Wet.*, **20**, 229 (1917).
- [19] MISNER, C. W., THORNE, K. S. e WHEELER, J. A. — «Gravitation», W. H. Freeman, San Francisco, 1973.
- [20] PEEBLES, P. J. E. — «Physical Cosmology», Princeton University Press, Princeton, (1975).
- [21] PEEBLES, P. J. E. — «The Large-scale Structure of the Universe», Princeton University Press, Princeton, 1980.
- [22] WEINBERG, S. — «Gravitation and Cosmology», Wiley, New York, 1972.
- [23] LORENTZ, H. A., EINSTEIN, A.; MINKOWSKI, H. e WEYL, H. — «The Principle of Relativity: A Collection of Original Memoirs», Dover, New York, 1952.

Quotas da SPF

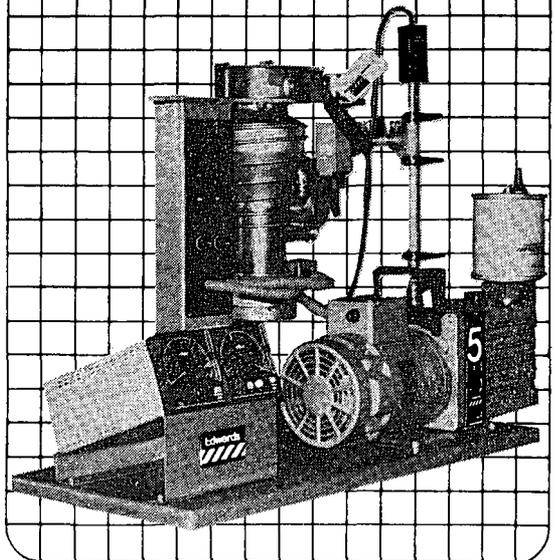
Prezado sócio: se ainda não pagou as suas quotas para o ano de 1988, agradecemos que o faça o mais rapidamente possível junto da respectiva Delegação.

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

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

Edwards

VACUUM



EQUIPAMENTOS DE VACUO

MENDES DE ALMEIDA, LDA.

Avenida 24 de Julho, 52 — A/G L12.

Tel. 601219 — TELEX — 13559 ALMEDA

Está a brincar, Sr. Feynman!, Richard P. Feynman, Gradiva, 1988, 325 p.

Richard Phillips Feynman (1918-1988) foi, sem dúvida, um dos maiores físicos teóricos deste século. Dotado de rara intuição e prodigiosa imaginação, as suas inúmeras contribuições à Física caracterizaram-se por uma originalidade e profundidade por vezes desconcertantes: dos célebres «diagramas de Feynman» aos integrais de caminho, da teoria da superfluidez no ^4He à formulação da electrodinâmica quântica, da mobilidade dos polarões ao modelo dos partões — em todos os seus grandes contributos à Física (e que a marcaram irreversivelmente) revela-se uma mentalidade diferente, em flagrante contraste com a imagem do sábio-torre-de-marfim. Quem não sentiu puro extase na leitura (estudo) das inigualáveis «Feynman's Lectures on Physics»?

A recente tradução do livro «Surely you're joking, Mr. Feynman!», editado nos EUA em 1985, ajuda a compreender tão singular personalidade. Não se trata, porém, de uma autobiografia, nem sequer de uma biografia — este livro é um rosário de histórias, coligidas por Ralph Leighton em conversas trocadas com Feynman, durante os vários anos em que se divertiram a tocar tambores, em conjunto! São histórias divertidas, pequenos episódios da vida de Feynman, da infância à actualidade, que, tal como um álbum de fotografias, dão-nos a imagem de um espírito muito vivo, não se levando demasiado a sério mas prezando a sinceridade, encontrando na vida um permanente desafio à sua extrema curiosidade (é pena que o subtítulo da edição portuguesa — «Retrato de um Físico enquanto humano» — não consiga transmitir o duplo sentido do original — «Adventures of a curious character»).

Julgo que a própria personalidade de Feynman o impediu de escrever uma autobiografia — seria demasiado «sério»! Mas foi pena não o ter feito — seria muito interessante saber a sua opinião sobre grandes acontecimentos sócio-políticos que viveu, tais como a Grande Depressão e a 2.ª Guerra Mundial, o Mc. Carthy e a guerra fria, o Vietnã e a «flower power», etc. Não encontra o leitor, neste livro, a mínima alusão aos pensamentos que, certamente, terão ocorrido a Feynman como ser social necessariamente participante. Poderá isso criar a ideia de superficialidade, de uma mente demasiado especializada. Julgo que não foi esse o caso — Feynman era demasiado curioso para não se interessar, também, por tais assuntos, mas terá sentido, modestamente, que nessas áreas «sérias» a sua opinião seria tão boa quanto a de qualquer outro e, por isso, sem qualquer interesse para divulgação. Este livro não conta, pois, tudo — mas é tudo o que, a partir de agora que

Feynman morreu (em 15 de Fevereiro) poderemos saber sobre um tipo tão curioso!

É, sem dúvida, de aplaudir que uma Editora Portuguesa esteja a desenvolver um tão grande esforço na tradução de livros de divulgação científica de qualidade — parece, finalmente, haver público com a preparação suficiente para os apreciar. Mas, por isso mesmo, as traduções tornam-se mais exigentes e a intervenção de especialistas (pelo menos, a nível da revisão) revela-se cada vez mais crucial. De outro modo, poucos entenderão que diferenciar não é «diferençar», «as integrais» é brasileiro, «integração de perfil» não existe, «um medalhão roda duas vezes mais depressa que a razão da oscilação» não tem sentido. Creio que a SPF poderia procurar intervir no processo da tradução/revisão, com proveito para todos.

EDUARDO J. S. LAGE

Os três primeiros minutos, Steven Weinberg, Gradiva, 1987, 202 p. (inc. suplementos)

Com um atraso de 10 anos sobre a edição americana, surge finalmente a versão portuguesa de uma das obras de divulgação científica de qualidade que mais impacto teve no grande público, quer dos EUA quer da Europa (talvez por coincidir, no tempo, com a estreia da conhecida série televisiva «Cosmos»). Parece, assim, também começar a haver entre nós público interessado nas respostas que a Ciência tem vindo a trazer a questões que, ainda há bem pouco, só eram aceites pela austera metafísica! Mas é importante que a essa natural e saudável curiosidade, se alie uma preparação mínima, caso contrário a ausência de espírito crítico poderá acatar, como dogmas religiosos, as conclusões, mais ou menos precárias, obtidas pelo método científico.

Este livro considera um dos problemas que mais tem excitado o intelecto humano — trata-se (como diz o subtítulo) de uma análise moderna da Origem do Universo. O autor é uma figura científica de primeiro plano: Prémio Nobel da Física (1979) pela sua contribuição para a teoria das interações electro-fracas, é bem conhecido pelos seus inúmeros trabalhos tanto na Física de Partículas Elementares como na Cosmologia. Está, assim, em excelente posição para contar, em palavras simples e sem formalismo, porque nasceu a ideia do «Big Bang», qual a constituição da primeira sopa de radiação-partículas, como surgiram os primeiros núcleos (ao fim de 3 minutos...) e, depois, os átomos, mais tarde as nuvens galácticas, as galáxias, as estrelas, os planetas — todo o cozinhado de um Universo em expansão. Weinberg pontua, continuamente, os dados que a Astrofísica Experimental fornece e mostra como elas se encaixam, naturalmente, no espantoso filme que a Física Moderna foi capaz de realizar sobre a Origem do Universo.

É um excelente livro de divulgação, onde as ideias principais são apresentadas e desenvolvidas com tal naturalidade que estimula o leitor curioso a prosseguir na busca mais pormenorizada — e, aí Weinberg mostra, também a sua qualidade pedagógica. Um suplemento matemático (certamente acessível a um licenciado em Física) e uma extensa lista de sugestões bibliográficas, comentadas, guiam o leitor para uma compreensão mais profunda.

Mas... a tradução e revisão poderiam ter sido mais apuradas. Senão, vejamos alguns exemplos ilustrativos (esquecendo os gramaticais):

- «Uma maneira de ver se as velocidades galáticas excedem ou não a velocidade de escape, é medir a velocidade com que elas diminuem» (p. 54);
- «É o equilíbrio entre o campo gravitacional e a componente da quantidade de movimento dirigido para o exterior do Universo que governa a velocidade de expansão cósmica — material e electromagnética — que forneceu a fonte do campo gravitacional nos primeiros tempos» (p. 102);
- «Regula-se a temperatura para que seja em cada instante superior à temperatura de 3°K da razão de fundo actual na razão das dimensões do Universo actual e do Universo nesse instante» (p. 117);
- «Declínio do electrão-livre» (p. 160);
- «Velocidades de difusão ou de absorção das partículas individuais muito superiores à velocidade de expansão cósmica» (p. 72) ou «velocidade da dispersão de dois electrões» (p. 152);
- «Energia em repouso do muão = 105, 6596 eV» (p. 100).

Isto, para além de se revelar alguma ignorância, como em identificar vinte milésimos de centímetro com 5×10^{-5} cm (p. 78) ou que a constante de Planck se exprime em *erg* e a constante de gravitação universal tem as unidades $\text{cm}^3 \text{g/s}$ (p. 178).

Não será tempo de a SPF procurar intervir nos processos de tradução/revisão de livros deste género? Senão, corre a Editora o perigo de «por bem fazer-mal haver», pois que o leitor avisado procurará o artigo original! E todos temos a perder.

EDUARDO J. S. LAGE

Inward bound (of matter and forces in the Physical world), Abraham Pais, Clarendon Press, Oxford, 1986, 66 págs.

Os livros de História da Física (ou, geralmente, da Ciência) dividem-se tradicionalmente em duas categorias: reminiscências pessoais ou biografias, cheias de histórias pitorescas mas com pouco conteúdo científico; e descrições (seguinte, habitualmente, a ordenação cronológica) das invenções ou descobertas que hoje fazem parte da nossa Cultura. Em «Inward bound», A. Pais (físico teórico, de origem holandesa, especialista renomado em partí-

culas elementares) aponta-nos uma terceira categoria: a reconstrução do ambiente científico da época, os paradoxos levantados por novas descobertas, a génese das ideias aparentemente sem sentido, a lógica reencontrada com outro entendimento da natureza. «A arte da História consiste em avançar através de esquemas demasiado apertados, factos demasiado crús, histórias demasiado soltas». Para atingir este objectivo, o autor mergulha nos artigos originais, socorre-se da correspondência publicada, invoca conversas trocadas com muitos dos «heróis» desta grande aventura épica.

E que aventura é essa? Pois trata-se da História (inacabada!) da conquista do «infinitamente» pequeno. Aventura que se inicia em 1895, com Roentgen e a descoberta dos raios X, passa pelas descobertas do electrão e núcleo, neutrões e neutrinos, mésões e piões, hiperões e leptões, quarks e gluões, para terminar (provisoriamente) em Rubbia e os bosões intermediários. Pelo caminho, ficam oito escalas de comprimento e novas concepções teóricas ou experimentais exigidas para vencer cada desafio; ficam, também, tentativas erradas e hoje esquecidas (quem sabe o que é o «metabolon», o «dynamid», o «nebulium», o «diplon», etc.?). Ficam, por último, os retratos de sucessivas gerações, cada uma construindo uma visão do mundo que a anterior já não é capaz de assimilar e que a seguinte se encarregará de destruir.

Pais, consciente do perigo em se considerar definitivo o que é ainda recente, divide o seu livro em duas partes: a primeira (História) respeita a um período sedimentado, culminando com o aparecimento da Teoria Quântica dos Campos; a segunda (Memória) é o seu contributo pessoal para uma futura História que ainda hoje está em desenvolvimento. A separação marca, também, as diferenças qualitativas, crescentemente acentuadas, entre o investigador solitário e os grandes grupos internacionais de investigação, entre o custo caseiro da primitiva aparelhagem e os orçamentos gigantescos dos modernos laboratórios, entre a visão social do cientista isolado com saber universal e a moderna percepção sócio-económica da Ciência em grande escala, executada por técnicos cada vez mais especializados.

«Inward bound» não é, apenas, um excelente livro de História de Física de partículas e campos — é, também, um excelente livro de Física, onde o formalismo é reduzido ao mínimo indispensável para se compreender a progressão das ideias. Pais toma a atitude pedagógica de indicar livros de texto ou artigos de revisão onde o leitor pode iniciar, continuar ou aprofundar os seus conhecimentos neste enorme e apaixonante domínio da Física Moderna.

«Inward bound» é, pois, um livro duplamente útil, recomendando-se a sua leitura não só aos estudantes e profissionais de Física como também àqueles que se interessam pela História da Ciência.

EDUARDO J. S. LAGE

Olimpíadas de Física da SPF

Provas Nacionais (Lisboa 11.2.88)

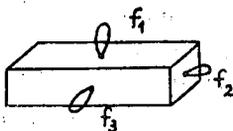
Prova Teórico-Experimental do 9.º ano

1.ª Parte (tempo: 15 minutos)

1) Imaginem que dispunham de um paralelepípedo e com ele realizavam as seguintes experiências:

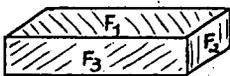
Experiência 1: Suspender o paralelepípedo de um elástico.

- 1.1 — Usando o fio f_1
- 1.2 — Usando o fio f_2
- 1.3 — Usando o fio f_3



Experiência 2: Colocar o paralelepípedo sobre uma superfície deformável.

- 2.1 — Pela face F_1
- 2.2 — Pela face F_2
- 2.3 — Pela face F_3



Registem as vossas previsões quanto aos resultados das 2 experiências, fundamentando-as.

Nota: após completar esta etapa solicitem ao professor para passar à fase seguinte.

2.ª Parte (tempo: 50 minutos)

2) Usando o material que vos é fornecido, verifiquem se as vossas previsões estavam correctas.

Seguidamente façam um relatório pormenorizado do vosso trabalho, incluindo a análise conjunta dos resultados obtidos experimentalmente e das previsões feitas.

Material: régua (15-20 cm), paralelepípedo rígido, dinamómetro, elástico, tesoura, suportes, fita-cola, areia, tina.

Intervalo (20 minutos)

3) Os resultados obtidos na Experiência 2 são explicados com base no conceito de *Pressão*, grandeza física cuja equação de definição é:

$$p = F/S :$$

F = intensidade de força que actua perpendicular e uniformemente à superfície de apoio;
 S = área de superfície de apoio.

Calculem a pressão exercida pelo paralelepípedo quando este se apoia numa superfície horizontal:

- 1. — assente pela face F_1
- 2. — assente pela face F_2
- 3. — assente pela face F_3

Indiquem todos os cálculos que efectuaram.

3.ª Parte (tempo: 60 minutos)

Qualquer corpo mergulhado num líquido sofre, da parte deste, uma força de *direcção vertical, sentido ascendente* e cuja intensidade é igual ao *peso de líquido deslocado* — Princípio de Arquimedes.

a) Com o material que vos é fornecido, verifiquem o referido princípio. Informação: peso volúmico da água = 1 gf/cm^3 .

Material: proveta graduada, água, dinamómetro, pano, esfera com gancho, copo, fio, tesoura.

Seguidamente façam um relatório pormenorizado onde indiquem:

- o procedimento experimental;
- os resultados obtidos;
- um comentário dos resultados.

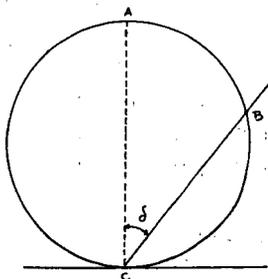
b) Tendo por base o princípio de Arquimedes, determinem experimentalmente o peso volúmico do líquido que vos é fornecido.

Material: o mesmo + 1 líquido.

Prova Teórico-Experimental do 11.º ano

1.ª Parte

O dispositivo experimental que vai servir para as tuas experiências está representado na figura; consta de um anel de madeira, vertical, com diâmetro exterior igual a 1 m, e uma calha metálica que funciona como plano inclinado, sendo a sua inclinação variável definida pelo ângulo δ indicado na figura. Adaptado ao anel



existe um electroímã E1 que pode, quando percorrido por uma corrente eléctrica, atrair uma pequena esfera metálica e mantê-la em equilíbrio no ponto A mais alto do anel. Outro electroímã E2 tem posição variável e pode ser colocado de modo a segurar uma outra pequena esfera numa posição B variável, sobre o perímetro do anel de madeira. Os dois electroímãs estão ligados em série. Dispões de quatro esferas iguais duas a duas: designa-as por m_1 e m_2 (de massa m) e M_1 e M_2 (de massa M). Colocando uma na posição A (atraída pelo electroímã E1) e outra na posição B (atraída pelo electroímã E2), e interrompendo o circuito, a esfera colocada em A cai livremente e a esfera colocada em B escorrega pela calha.

Vais tentar comparar os tempos de queda das esferas largadas simultaneamente de A e B, para as várias posições de B possíveis na experiência, comparando tempos de queda para esferas diferentes.

Executa e relata a sequência de passos que te permitem esta comparação.

Vais agora fazer um estudo teórico da situação, analisando o movimento de uma esfera que cai de A em queda livre e outra que desce

de B ao longo de um plano inclinado cuja inclinação é definida por δ (ver figura).

Responde às seguintes perguntas, apresentando e justificando os cálculos necessários para as respostas:

I—Estudo do movimento da esfera que cai de A:

1—faz um estudo das forças que actuaram sobre a esfera durante a queda, indicando a sua resultante;

2—calcula através de considerações energéticas a velocidade com que chega a C;

3—calcula a variação da quantidade de movimento da esfera durante a queda;

4—através do valor das quantidades calculadas acima, determina o intervalo de tempo (Δt) que durou a queda.

II—Estuda o movimento da esfera que desce pela calha, desprezando o atrito devido ao contacto com a calha, respondendo de novo, e para este caso, às perguntas anteriores 1, 2, 3 e 4.

III—Supondo que ξ é o atraso de B relativamente a A, calcula o valor do coeficiente de atrito médio entre a esfera e a calha.

2.ª Parte

I—Para realizar esta experiência, dispões de:

(i) uma barra de madeira (B) que podes suspender de um suporte fixo por meio de um fio F;

(ii) uma roldana;

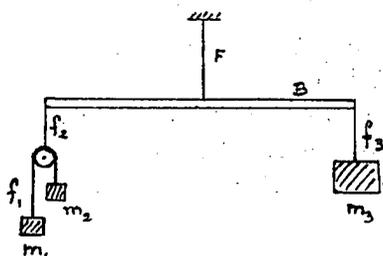
(iii) massas marcadas.

Na barra B suspende as massas m_1 , m_2 e m_3 (ver figura) relacionadas de modo que seja $m_1 + m_2 = m_3$, fazendo sucessivamente:

(i) $m_1 = m_2$;

(ii) $m_1 \neq m_2$.

Verifica se a barra se mantém ou não em equilíbrio, em cada um dos casos.



II—Para explicares o comportamento da barra em cada caso, procura responder às seguintes questões:

1—a) Identifica as forças que actuam sobre cada corpo.

b) Estabelece a relação de grandeza entre as forças aplicadas na barra, para que esta se mantenha em equilíbrio.

2—Se for $m_1 = m_2$, qual é a relação entre as intensidades das forças que os fios exercem sobre cada um dos corpos, e os respectivos pesos? Justifica a tua resposta.

3—Observa o que se passa quando $m_1 > m_2$ e responde depois às seguintes questões, justificando as respostas.

a) Entre que valores está compreendida a intensidade das forças que o fio f_1 exerce sobre as massas m_1 e m_2 ?

b) A intensidade da força que o fio f_3 exerce sobre m_3 é maior ou menor que o peso de m_3 ?

4—Supõe agora que $m_1 \neq m_2$.

a) Compara as grandezas das forças que os fios f_2 e f_3 exercem sobre a barra.

b) Como deverias proceder para restabelecer o equilíbrio da barra:

(i) Suspender o corpo de massa m_3 num ponto mais próximo do ponto médio da barra?

(ii) Suspender a roldana num ponto mais próximo do ponto médio da barra?

1.ª REUNIÃO IBÉRICA DO VAZIO E SUAS APLICAÇÕES

Braga, 28 Setembro—1 Outubro 1988 (*)

Organização conjunta de:
Sociedade Portuguesa de Vácuo
Asociacion Española del Vacío
y sus Aplicaciones

• Sessões Plenárias

• Sessões Especializadas:

Ciência dos Materiais e das Superfícies
Ciência do Vazio
Aplicações do Vazio na Indústria

• Informações:

I RIVA—SOPORVAC—Comité Local
Laboratório de Física, Univ. do Minho
P - 4719 Braga Codex—tel. (053) 27007

EPS GENERAL CONFERENCE OF CONDENSED MATTER

Nice - France, 6 - 9 March 1989

• *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».*

Deadline for registration—31 December 1988

Submission of abstracts—15 January 1989

Information:

Dr. F. Raymond

CNRS, bat. 3, Rue Albert Einstein
F-06560 VALBONNE, FRANCE

(*) Esta Reunião Ibérica e a FÍSICA - 88 (26-29 Set.) estão organizadas de tal modo que as sessões com tópicos de Física ou ciências afins não apresentam sobreposição, de modo a permitir a participação de todos os Físicos portugueses interessados em ambas as Conferências.

1. Delegação Regional de Lisboa

1.1. Olimpíadas Regionais de Física - 88

Teve lugar no Edifício C1 da Faculdade de Ciências de Lisboa, no dia 28 de Maio de 1988, a etapa regional das 4.^{as} Olimpíadas de Física para alunos do ensino secundário da região de Lisboa, Sul e Ilhas. Das 32 Escolas Secundárias que tinham declarado a intenção de enviar concorrentes estiveram presentes as 30 seguintes:

Fonseca Benevides, Linda-A-Velha, Olivais n.º 3, St.º André—Setúbal, St.º António—Barreiro, Amora, Mouzinho da Silveira—Portalegre, Júlio Dantas—Faro, Jaime Moniz—Funchal, Ana de Castro Osório—Setúbal, Emídio Navarro—Setúbal, Benfica, Instituto de Odivelas, Camões, Colégio Militar, Pedro Nunes, Pupilos do Exército, Sá da Bandeira—Santarém, N.º 1 de Abrantes, Entroncamento, Rio de Mouro, Amadora, Dr. Sousa Martins—Vila Franca de Xira, N.º 1 de Vila Franca de Xira, Sebastião da Gama—Setúbal, Paço de Arcos, Prof. Reynaldo Santos—Vila Franca de Xira, Rainha D. Leonor, Falagueira, Angra do Heroísmo.

Cerca de 150 alunos participaram nas provas teórico-experimentais do 9.º e do 11.º ano e ainda nas provas constituídas pela apresentação de um trabalho original versando um tema de Física. Foram vencedoras nas diferentes provas as seguintes equipas:

a) Prova Teórico-Experimental

9.º ano — Paulo Fontoura, Pedro Diogo, André Costa.

Escola Secundária de Benfica

11.º ano — Miguel Brito, César Silva, Alexandre Bernardino.

Escola Secundária Emídio Navarro

b) Prova de Criatividade

b.1. *Programa de Computador*: Tito Silva, Fernando Nunes, Fernando Pires.

Escola Secundária Emídio Navarro

b.2. *Dispositivo Experimental*

O júri deliberou, por unanimidade, atribuir o prémio ex-aequo a:

Fernando Gomes, Sérgio Felgueiras, John Rodrigues.

Escola Sec. Vila Franca de Xira n.º 1

Paulo Fontoura, Pedro Diogo, André Costa.

Escola Secundária de Benfica

b.3. *Outros*

O júri deliberou, por unanimidade, atribuir o prémio ex-aequo a:

Ana Margarida Luís, Alexandre Santos, Carlos André.

Escola Secundária de Paço de Arcos

Ana Margarida Martins, Patrícia Macedo, Sandra Roque Pinto.

Escola Secundária Mouzinho da Silveira

Das 14h30 às 17h30 os alunos e professores acompanhantes visitaram o Museu da Cidade. Pelas 19h00 do mesmo dia foram distribuídos os prémios às equipas vencedoras e respectivas escolas e ainda prémios de participação a todos os alunos. A Delegação Regional de Lisboa contou com o apoio das seguintes entidades para angariação dos prémios e despesas inerentes à organização:

Conselho Directivo da Faculdade de Ciências de Lisboa e respectivos departamentos de Física, Educação, Matemática e Química; Secretaria de Estado da Reforma Educativa; Instituto Superior Técnico—Departamento de Física; Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa; Tecnodidáctica; Instituto Italiano de Cultura; Editorial Caminho; FOC—Escolar; American Cultural Council; Instituto Alemão; CTT—Direcção Regional dos Correios de Lisboa; Museu da Cidade; Embaixada do Japão.

2. Delegação Regional de Coimbra

2.1. Olimpíadas Regionais de Física - 88

Decorreram no Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, em 15 de Abril de 1988,

as Olimpíadas Regionais de Física - 88, com o seguinte programa:

- 10h00—Recepção às equipas participantes.
- 10h30—Provas teórico-experimentais.
- 12h30—Almoço.
- 14h30—Visita ao Museu da Ciência e da Técnica.
- 16h00—Provas facultativas.
- 17h30—Lanche e distribuição de prémios.

O crescente interesse de alunos e professores do Ensino Secundário por esta iniciativa foi evidenciado pela participação de um total de 35 equipas (20 do 9.º ano e 15 do 11.º ano) em representação das seguintes Escolas:

D. Duarte (Coimbra), Emídio Navarro (Viseu), Quinta das Flores (Coimbra), N.º 2 de Aveiro, Almacave (Lamego), N.º 1 de Ovar, Bernardim Machado (F. Foz), Alcanena, Alves Martins (Viseu), Montemor-o-Velho, Jácome Ratton (Tomar), Peniche, Avelar Brotero (Coimbra), N.º 2 de Abrantes, Sta. Maria da Feira (Feira), Infanta D. Maria (Coimbra), N.º 1 de Aveiro, Francisco Rodrigues Lobo (Leiria), Amato Lusitano (Castelo Branco), Marinha Grande, Sé (Lamego), Nuno Álvares (Castelo Branco), Manuel Gomes de Almeida (Espinho), Raul Proença (Caldas da Rainha).

As equipas vencedoras foram:

a) Provas Teórico-Experimentais

9.º ano — Equipa da Escola Secundária da Quinta das Flores, Coimbra, constituída por: Isabel Margarida Reis Costa, Dário Manuel da Silva Fonseca e João Manuel Rendeiro Cardoso.

11.º ano — Equipa da Escola Secundária Alves Martins, Viseu, constituída por: Carla Marina Botelho, Cristina Maria Pereira e José António Maciel Natário.

b) Provas de Criatividade

Tipo a (programa de computador) — Equipa do 11.º ano da Escola Secundária n.º 2 de Abrantes, com menção Honrosa para os seus elementos: Bruno Manuel Antunes Lopes, João Luís Azevedo Boléu Tomé e Telmo José Reis Paulino Cascalheira, pelo seu trabalho «Leis de Kirchoff».

Tipo b (dispositivo experimental) — Equipa do 9.º ano da Escola Secundária de Vila da Feira, pelo trabalho «Precipitador Electrostático».

Tipo c (trabalho escrito, teatro, etc.) — O júri decidiu não considerar vencedor.

O júri presidido pelo Prof. Doutor Adriano Pedroso de Lima, foi formado por:

9.º ano — Prof.ª Doutora Margarida Ramalho Costa, Dr.ª Elisa Prata Pina, Dr.ª Liliana Ferreira.

11.º ano — Prof.ª Doutora Lucília Pires de Brito, Dr. Décio Martins, Dr. Paulo Domingues.

Provas de criatividade — Prof. Doutor Nuno Ayres de Campos, Prof. Doutor Carlos Fiolhais, Dr. Francisco Fraga.

A Delegação Regional de Coimbra da Sociedade Portuguesa de Física agradece o apoio e patrocínio das seguintes entidades: Departamento de Física, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Sociedade Central de Cervejas, Dan Cake, Cafés Delta, Bolachas Triunfo, Superkitanda, Banco de Fomento Nacional, Banco Espírito Santo e Comercial de Lisboa, M. T. Brandão e Cafés Estrela da Beira. Agradece também a colaboração prestada por elementos do Departamento de Física.

2.2. Acções

Foram realizadas as seguintes acções destinadas a alunos e professores do Ensino Secundário:

— «Física Divertida», pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais, na Escola Secundária da Marinha Grande, em 15 de Abril/88.

— «Estrutura da Matéria à Luz da Mecânica Quântica», pela Prof.ª Doutora Maria Helena Caldeira, na Escola Secundária da Marinha Grande, em 19 de Abril/88.

— «Natureza da Luz», pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais, na Escola Secundária Afonso Lopes Vieira de Leiria, em 26 de Abril/88.

— «Física das Partículas Elementares», pelo Prof. Doutor Manuel Fiolhais, na Escola Secundária St.ª Maria do Olival de Tomar, em 25 de Maio/88.

3. Delegação Regional do Porto

3.1. Olimpíadas Regionais de Física -88

A etapa Regional das Olimpíadas de Física teve lugar na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, nos dias 19 e 20 de Maio, com a participação de 17 equipas do 9.º ano e 10 do 11.º ano, que representavam as seguintes Escolas:

Paredes; Camilo Castelo Branco (Vila Real); Dr. Júlio Martins (Chaves); José Régio (Vila do Conde); Infante D. Henrique (Porto); Ermesinde; Prep. de Alfândega da Fé; Baltar; Castelo da Maia; Emídio Garcia (Bragança); Vila Pouca de Aguiar; Rodrigues de Freitas (Porto); Valongo; Mirandela; Eça de Queirós (Póvoa de Varzim); Extern. Nossa Senhora de Perpétuo Socorro (Porto); Carolina Michaelis (Porto); Fontes Pereira de Melo (Porto); Alexandre Herculano (Porto); Ponte da Barca; Almeida Garrett (Vila Nova de Gaia); Garcia de Horta (Porto).

Foram vencedoras nas diferentes provas as seguintes equipas:

a) Prova Teórico-Experimental

9.º ano — Ana Catarina Sampaio, Maria Cláudia Dias de Carvalho, Paulo Jorge dos Santos Rodrigues.

Esc. Sec. Eça de Queirós — Póvoa de Varzim

11.º ano — José António de Maia Campos, Sérgio Renato de Pinto Melo, Jorge Almeida de Aguiar.

Escola Sec. Infante D. Henrique — Porto

b) Prova de Criatividade

Augusto José Sarmento Lacerda, António Carlos Pinto de Oliveira, Francisco Manuel Araújo.

Escola Sec. de Mirandela

A Delegação Regional do Porto agradece o apoio das seguintes entidades:

Governo Civil do Porto, Corticeira Amorim, Grupo de Física Fac. Ciências do Porto, Rêagente 5,

Somal, M. T. Brandão, Raro, IBM Portuguesa, Porto-Editora, Plátamo Editora.

3.2. Neste trimestre foram realizadas as seguintes palestras:

13 de Abril — «Uso de Microcomputadores no Ensino», pelo Prof. J. Dépireux, da Universidade de Liège e Presidente da Div. de Educação da Sociedade Europeia de Física.

13 de Maio — «Momentum and pseudo momentum of light and sound», pelo Prof. Sir Rudolf Peierls, um dos grandes físicos teóricos do nascimento da Mecânica Quântica.

8 de Junho — «Mistérios Quânticos», pelo Doutor J. Lopes dos Santos, da Fac. Ciências da U. Porto.

3.3. Próximas realizações

— 11-12 e 13 de Outubro — *A Electrónica no Ensino Secundário.*

Orientação do Prof. Manuel de Barros, da Fac. de Ciências da U. Porto.

Ação de formação. Pretende-se com esta acção sensibilizar os docentes do ensino secundário para as possibilidades que esta área oferece, e para a qual há um crescente interesse por parte dos alunos. Com a duração de 3 dias, focará aspectos práticos de utilização de equipamento electrónico existente nos Laboratórios de Ensino (osciloscópios, fontes, voltímetros digitais, etc.), com algumas introduções teóricas. Por esse facto a acção decorrerá no Laboratório de Electrónica do Dep. de Física da Faculdade de Ciências, sendo limitado a 15 o número de participantes.

Em Setembro será enviada às Escolas uma circular para inscrições.

— 12 de Outubro, 17 horas (Laboratório de Física) — *Palestra: «O Universo Primitivo — teoria de Kaluza-Klein»*

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

4. European Journal of Physics (EJP)

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

De acordo com as próprias palavras inseridas na capa da revista, EJP publica:

—artigos de natureza reflexiva incidindo nos fundamentos da física;

—artigos de natureza pedagógica sobre tópicos particulares em física e artigos relacionados com o ensino da física;

—artigos sobre políticas educacionais em física e sua implementação;

—artigos sobre as implicações culturais e tecnológicas da física.

Para evitar frequentes más interpretações que conduzem à proposta de artigos para publicação que estão totalmente fora do âmbito do jornal, o editor, Ján Pisút, Professor da Universidade de Bratislava, Checoslováquia, procura definir com mais detalhe a política de publicação do EJP:

«Em poucas palavras o EJP publica artigos sobre 'a física tal como é ensinada e como é reflectida'».

«Embora tal não seja explicitamente mencionado o EJP publica artigos sobre a história da física, em particular artigos indicando a relevância de um tópico para a educação em física».

«Artigos de natureza reflexiva sobre os fundamentais da física deveriam também mencionar de preferência as implicações para o ensino».

«'Artigos de natureza pedagógica' incluem também os que descrevem experiências interessantes em laboratórios de ensino de cadeiras de licenciatura. Em particular são bem-vindos artigos sobre tópicos novos e não habituais, ou medições de grandezas importantes em situações reais, ou novos pontos de vista, etc.

Não publicamos descrições de experiências conhecidas, a não ser que contenham algo de novo e realmente interessante».

«São também bem recebidos artigos respeitantes à formação de professores de física — este campo é de primordial importância para o futuro da física e ainda há numerosos aspectos para serem esclarecidos e/ou melhorados, quer sobre os aspectos básicos da política educacional quer sobre os aspectos práticos».

«O EJP não publica artigos que apresentem a investigação original dos autores. Tais artigos devem ser avaliados criticamente em jornais especializados. Só depois de um artigo ter passado por esse processo estarão as suas ideias e resultados em condições — se forem apresentadas de modo pedagógico — de serem publicadas no EJP. Os artigos que questionem teorias correntemente aceites ou experiências básicas, ou que proponham novas teorias, são considerados como artigos de investigação original e, como tal, não são adequados para publicação no EJP».

«Artigos escritos em estilo de livro de texto não são apropriados para publicação. Tais artigos são reconhecidos por uma ênfase igualmente espalhada sobre uma grande quantidade de temas. Para o EJP, os artigos mais apropriados são aqueles que focam uma ideia, reflexão ou ponto de vista. Nestes artigos a ênfase começa a crescer na introdução, culmina no ponto ou tópico em questão e decresce depois com as ilustrações, elaborações, consequências, aplicações, etc.».

«O EJP não aceita artigos que sejam altamente técnicos ou com matemática complexa. Eles seriam lidos apenas por uma pequena fracção dos nossos leitores e são mais apropriados para jornais especializados. Se um autor sentir que é requerido um nível algo mais elevado, deverá estruturar o artigo de tal modo que as partes mais difíceis possam ser ultrapassadas pelos leitores sem que isso prejudique seriamente a compreensão dos aspectos físicos da ideia».

«O EJP põe grande ênfase nos aspectos pedagógicos da apresentação. Mesmo os artigos

mais especializados devem ter uma introdução e conclusão escritas de maneira não técnica e muito clara, de tal modo que os leitores sejam capazes de captar as ideias principais».

«Em geral gostaríamos de publicar artigos interessantes, contendo novas ideias, reflexões ou pontos de vista sobre 'a física tal como é ensinada e como é reflectida'. Esses artigos deverão ser interessantes e compreensíveis para o leitor genérico que descreveríamos assim: ele (ou ela) tem uma preparação universitária em física mas não é necessariamente um perito nos tópicos que está a ler. Não é de esperar que estude com regularidade artigos no EJP com papel e lápis na mão. Ela (ou ele) lê provavelmente o EJP numa atitude descontrainda, ansiosa por encontrar ideias interessantes e só começa a estudar um artigo mais cuidadosamente quando algum ponto realmente capta o seu interesse».

«Ao considerar a hipótese de escrever um artigo para o EJP, um potencial autor deveria imaginar os leitores do jornal, entre uma das seguintes categorias:

— físicos profissionalmente interessados em educação em física;

— docentes das universidades à procura de ideias interessantes que possam incluir nas suas lições;

— físicos investigadores cujo interesse pela educação em física foi despertada através da educação escolar dos seus filhos;

— físicos de todos os tipos que pretendem ter informações sobre novas tendências, ideias e abordagens em campos nos quais eles próprios não trabalham, incluindo tópicos interdisciplinares e a relação entre física e tecnologia;

— físicos que gostam de reflectir nos fundamentos da física e nos aspectos educacionais».

«Esta lista não é de modo nenhum exaustiva, mas cobre provavelmente uma fracção

apreciável dos nossos leitores. Acreditamos que a apresentação de muitos artigos submetidos ao EJP seria melhorada consideravelmente se os autores se dirigissem e tornassem os seus escritos estimulantes para leitores de uma ou mais das categorias mencionadas».

«E, por favor, juntem uma pitada de humor ou de surpresa aqui e acolá! Dizemos que a física é divertida, ou pelo menos anunciamo-la como tal, sabemos que o ensino da física deve conter algum espírito e portanto devíamos incluir um pouco de divertimento numa revista que é, em grande parte, devotada à instrução da física».

Estas palavras de Jàn Pisút servem para dar uma ideia do tipo de artigos que se encontram no EJP. Embora escritas em estilo de recomendação a potenciais autores, julgo que são também esclarecedoras e estimulantes para potenciais leitores. Entre estes gostaria de destacar os professores de física do ensino secundário e superior, e entre estes últimos penso que os que têm por missão formar futuros professores de física (ou de física-química), quer sejam os das licenciaturas universitárias quer os dos graus das Escolas Superiores de Educação, ganharão em passar os olhos pelo EJP. Claro que para isso é necessária uma de duas coisas. Ou assinam pessoalmente a revista, o que é muito mais conveniente se forem sócios da EPS (Sociedade Europeia de Física), ou alternativamente as suas instituições a assinam. O mesmo se dirá a respeito das outras pessoas referidas (professores das universidades das ESEs ou das escolas).

Esta notícia decorre da abordagem que foi feita na reunião de Março de 1987 em Como, do ACPE (Comité Consultivo para o Ensino da Física) da Sociedade Europeia de Física. Agradeço a autorização dada pelo Prof. Pisút para transcrever a sua nota Editorial.

MANUEL F. THOMAZ
Universidade de Aveiro



LUFA — Engenheiros

Estudos, Projectos e Assistência Técnica, Lda.

Pr. Pedro Nunes, 94 - Sala 1 — 4000 PORTO

Telefs. 694648 - 62088 — Telex 26250 NSCP

MELLES GRIOT



**JOBIN
YVON**

- Lasers HeNe e CO₂
- Suportes e Posicionadores
- Componentes Ópticos
- Lasers Diodo

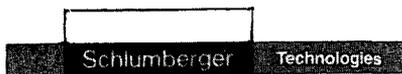
- Redes de Difracção
- Monocromadores
- Espectrometros Raman
- Multi / Desmultiplexadores

FÍSICA 88

VISITE A N/ EXPOSIÇÃO DE EQUIPAMENTO CIENTIFICO E DIDÁCTICO



Data Track
Technology



TINSLEY

PHYWE

HEINZINGER
electronic GmbH

LeCroy
Innovators in Instrumentation

CONSULTORIA E ASSISTÊNCIA TÉCNICA

Peça-nos informações • Telefs. { 02 - 691116 / 667437 • Telex 26250
01 - 549571 / 560403



M. T. BRANDÃO, LDA.

PRAÇA PEDRO NUNES, 94 - SALA 3 — 4000 PORTO
AVENIDA MIGUEL BOMBARDA, 91-1.º — 1000 LISBOA



VOL. 11 • FASC. 2 • ABRIL 1988

SUMÁRIO

1.º Encontro Regional de Lisboa sobre o Ensino da Física	41
<i>F. Parente</i>	
Da natureza da ciência ao ensino da ciência	43
<i>João Manuel Resina Rodrigues</i>	
A Astronomia no Ensino Preparatório e Secundário	48
<i>Maria Teresa V. Torrão Lago</i>	
Desenvolvimento das capacidades metacognitivas e resolução de problemas	51
<i>Maria Natália Cruz</i>	
«Devia ser em Português!». Recordando Richard P. Feynman	56
<i>Mário Pinheiro</i>	
Origem e características da difusão de raios X e neutrões segundo ângulos pequenos	57
<i>Dirce M. C. Guimarães</i>	
Big Bang e inflação (I)	63
<i>A. L. L. Videira</i>	
Crítica de Livros	71
Olimpiadas de Física da SPF (Provas Nacionais)	73
Noticiário da Sociedade Portuguesa de Física	76