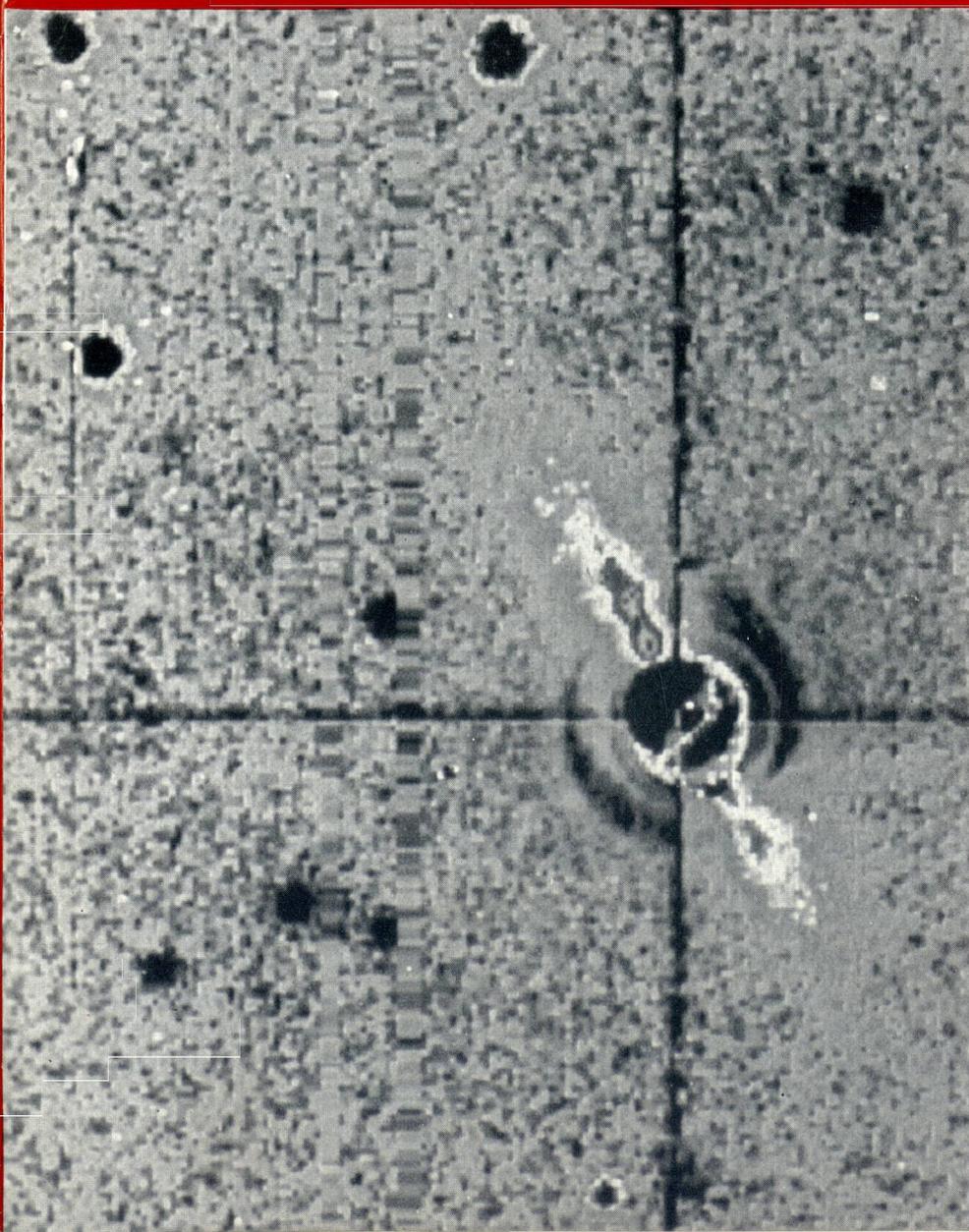


GAZETA DE FISICA

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FISICA



VOL. 9, FASC. 3
JULHO 1986

Publicação Trimestral

Astronomia Planetária •
Imagem, para $\lambda = 8900 \text{ \AA}$,
do disco protoplanetário
que envolve a estrela β Pic

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

Conselho Directivo da S.P.F.: J. Moreira Araújo, F. Duarte Santos, E. Ducla Soares, J. Bessa Sousa, Rui J. Agostinho, J. Carvalho Soares, M. Amaral Fortes, Margarida R. Costa, Maria José Almeida, M. Pereira de Barros, J. Brochado Oliveira.

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 : pais 500\$00 ; estrangeiro US\$10.

Preço do fascículo avulso (sede e delegações da SPF) : 100\$00.

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

Tempo e Relatividade-II

PAULO CRAWFORD DO NASCIMENTO e ANA ISABEL SIMÕES

Departamento de Física, Faculdade de Ciências de Lisboa

O tempo na teoria da relatividade generalizada

O comportamento dos cones de luz torna-se mais interessante na presença de um campo gravítico. O efeito da gravidade tal como é descrito pela teoria da relatividade geral formulada por Einstein e publicada em 1915, manifesta-se através da *curvatura* do espaço-tempo. Nesta teoria o espaço-tempo tem uma geometria riemanniana, o que significa que a distância entre dois acontecimentos infinitesimalmente próximos é dada pela forma quadrática

$$ds^2 = g_{\mu\nu}(x) dx^\mu dx^\nu \quad (8)$$

A métrica $g_{\mu\nu}(x)$ depende, em geral, das coordenadas de espaço e de tempo e passa a assumir, no contexto da nova teoria, um papel duplo:

i) tal como em relatividade restrita, contém toda a informação inerente às relações entre os acontecimentos, ou seja, determina a estrutura causal do espaço-tempo;

ii) descreve completamente o campo gravítico na medida em que permite especificar as linhas do Universo das partículas em queda *livre*, nesse campo, chamadas linhas geodésicas.

Para tornar mais claro este último ponto convém acentuar que, no quadro da teoria da relatividade generalizada, o conceito de força é substituído pelo de curvatura do espaço-tempo. Assim, a acção de um campo gravítico sobre uma «partícula» de reduzidas dimen-

sões como, por exemplo, um planeta no campo gravítico do Sol, já não é interpretada como sendo devida a uma força atractiva, mas antes como sendo o resultado da «deformação» do espaço e do tempo. Esta deformação, que depende fundamentalmente da massa que a produz, faz com que cada planeta siga a trajectória mais «simples» (geodésica), o caminho que minimiza a sua acção mecânica através do espaço-tempo.

Existem duas maneiras da gravidade influenciar o comportamento da luz. Uma dessas maneiras consiste em encurvar os raios luminosos quando estes passam num campo gravítico.

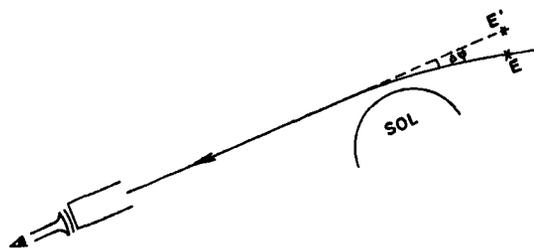


Fig. 6 — Encurvamento dos raios luminosos no campo gravítico do Sol. $\Delta\varphi = 1,75''$ é o valor previsto pela teoria da relatividade geral. Devido às dificuldades experimentais (por exemplo, quando se fazem medições sobre a chapa fotográfica há que ter em conta a distorção do filme durante a revelação) os valores experimentais estão compreendidos entre $1,43''$ e $2,7''$.

Como se vê na figura 6, o campo gravítico do Sol provoca o encurvamento dos raios luminosos provenientes da estrela E, dando a ilusão de que esta se encontra na posição E'. Para observar este efeito da gravidade podemos

fotografar as estrelas que se encontram na vizinhança do Sol durante um eclipse solar total. Mais tarde, podemos fotografar o mesmo campo de estrelas à noite e comparar as suas novas posições com as posições verificadas durante o eclipse. É claro que não será necessário esperar por um eclipse do Sol se pudermos observar objectos astronómicos que emitam radiação electromagnética fora do domínio da luz visível. Por exemplo, no caso de haver fontes de rádio em direcções próximas da do Sol, podemos utilizar radiotelescópios para medir o encurvamento da respectiva radiação.

A outra maneira do campo gravítico influenciar o comportamento da luz diz respeito à modificação da frequência. A luz, ao ser emitida por um objecto astronómico qualquer, depende uma certa energia para vencer a «barreira» de potencial que a separa do observador.

Este dispêndio de energia traduz-se na perda de frequência, ou por outras palavras, num deslocamento das riscas do espectro da radiação emitida pelo astro para a zona do vermelho. Einstein previu teoricamente este deslocamento gravitacional das frequências pela primeira vez em 1911, antes mesmo da construção da teoria geral da relatividade.

É fácil calcular este efeito admitindo que a luz de frequência ν é constituído por fotões de energia $h\nu$, sendo h a constante de Planck. Podemos associar a cada fotão uma «massa»

$$m = E/c^2 = h\nu/c^2$$

(É claro que m não é a massa em repouso do fotão, visto que essa é nula!).

Para atingir o observador o fotão terá de realizar um certo trabalho contra o campo gravítico:

$$W = m \Delta U$$

onde ΔU é a diferença de potencial gravítico.

A energia do fotão observado será dada por

$$E' = E - W,$$

ou seja, ao viajar da fonte emissora para o observador o fotão perde uma quantidade de

energia própria igual ao aumento em energia potencial gravítica.

Podemos associar a E' uma frequência de observação ν' , que se obtém facilmente das fórmulas anteriores.

$$\nu' = \nu (1 - \Delta U/c^2) \quad (9)$$

É habitual representar por $z = (\nu - \nu')/\nu = \Delta \nu/\nu$ o deslocamento para o vermelho.

Atendendo a (9) vem então

$$z = \Delta U/c^2$$

Utilizando a mecânica Newtoniana para calcular o potencial gravítico à superfície do astro de raio R e massa M , que emite o fotão, vem

$$U(R) = -GM/R,$$

sendo G a constante da gravitação, enquanto que no ponto de observação (estando a Terra muito distante) é $U = 0$. Obtemos, finalmente, a fórmula do deslocamento para o vermelho

$$z = \Delta \nu/\nu = GM/(Rc^2) \quad (10)$$

Esta fórmula tem sido testada inúmeras vezes ao medir o deslocamento para o vermelho da luz emitida pelo Sol e por outras estrelas mais densas (anãs brancas).

Trata-se de um resultado aproximado, válido apenas nos casos em que $Rc^2 \gg GM$. Como vimos, não foi necessário recorrer à relatividade geral para estabelecer a equação (10), tendo sido suficiente a conservação da energia e a hipótese quântica da estrutura da luz.

Contudo, é possível evitar as considerações quânticas, como se depreende, aliás, de expressão final obtida, que já não contém a constante de Planck h .

Vamos agora considerar este fenómeno do deslocamento para o vermelho de um outro ponto de vista. Na figura 7 estão representados

dois átomos, A e B, que se encontram em repouso a alturas diferentes num certo campo gravítico. O átomo A emite luz cuja frequência

movem-se mais lentamente na vizinhança das grandes massas.

Enquanto o relógio B mede um intervalo de tempo de um segundo, B emite ν_e ondas mas recebe somente $\nu_o = \nu_e - \Delta\nu$ ondas de A. Por outras palavras, durante o intervalo de tempo ΔT_B , o relógio A mede

$$\Delta T_A = (\nu_e - \Delta\nu) / \nu_e \cdot \Delta T_B = (1 - \Delta\nu/\nu) \Delta T_B = (1 - \Delta U/c^2) \Delta T_B \quad (12)$$

Se o relógio B se encontra muito afastado da massa responsável pelo campo gravítico (onde $U \approx 0$), estando o relógio A em repouso no ponto correspondente ao potencial $U = -GM/R$, vem

$$\Delta T_A = [1 - GM/(Rc^2)] \Delta T_B \quad (13)$$

No caso do Sol e sendo R_\odot o seu raio, $GM_\odot/(R_\odot c^2) \sim 10^{-6}$; logo, um relógio situado à superfície do Sol atrasar-se-ia por um factor de $\sim 10^{-6}$ em relação a um relógio idêntico colocado à superfície da terra, onde $U \approx 0$ (é claro que se despreza o campo gravítico da Terra, para o qual $GM_T/(R_T c^2) \sim 10^{-9}$!)

Vemos, assim, que o deslocamento das linhas espectrais, para a zona dos grandes comprimentos de onda, pode ser interpretado como um atraso dos relógios que se encontram na vizinhança das grandes massas relativamente aos relógios idênticos que se encontram a uma grande distância dessas massas. Torna-se pois, difícil sincronizar a marcha dos relógios colocados em diferentes pontos do espaço.

À superfície de uma estrela de neutrões $GM/Rc^2 \sim 10^{-1}$. Admitindo que a vida é possível na superfície de uma estrela de neutrões, todos os acontecimentos aí ocorridos seriam observados em câmara lenta por alguém que se encontrasse a uma certa distância da superfície como, por exemplo, no alto de uma montanha. Quem viva à superfície não nota a lenta marcha dos relógios. Essa lentidão afecta toda a gente igualmente, desde que todos se encontrem à mesma altitude. Contudo, observando a partir da superfície as pessoas que

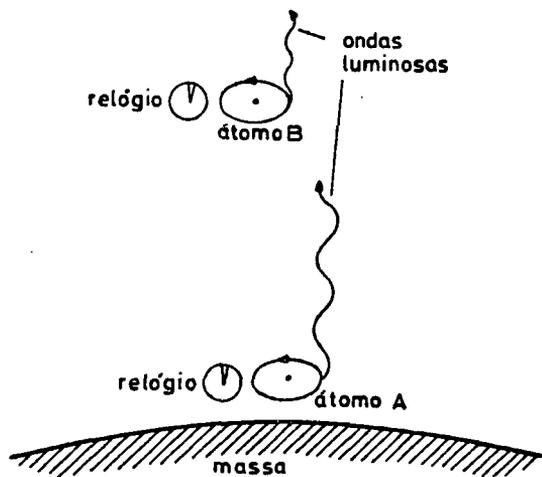


Fig. 7 — Comportamento dos relógios num campo gravítico.

no ponto B apresenta um pequeno deslocamento para o vermelho dado por

$$\Delta\nu/\nu = \Delta U/c^2 \quad (11)$$

onde ΔU mede a diferença do potencial gravítico entre B e A.

A frequência ν_e da luz emitida pelo átomo A pode ser usada como uma frequência de referência de um relógio atómico, que identificaremos com o átomo A. Admitamos que o átomo B é idêntico ao átomo A, podendo também ser usado como um relógio atómico. Sempre que o relógio A avança de uma unidade, A envia um sinal luminoso para B. De acordo com (11) os sinais luminosos emitidos por A chegarão a B com uma frequência $\nu_o = \nu_e - \Delta\nu$ que é menor que a frequência de B.

Como não se perde nenhuma informação no caminho de A para B devemos concluir que o relógio A — cujos ponteiros se movem de um modo síncrono com a emissão de sinais de A para B — avança mais lentamente do que o relógio B. Em resumo: os relógios

vivem na montanha, notamos que tudo parece ter lugar a uma velocidade frenética. Se alguém fosse capaz de deslocar-se desde a base até ao topo da montanha poderia realizar aí as suas tarefas diárias, durante 6 ou 7 horas, e voltar a casa alguns minutos ⁽¹⁾ depois de ter partido. Mas, atendendo à energia dispendida não cremos haver muitos voluntários para tal jornada! A vida numa estrela de neutrões oferece uma enorme variedade de efeitos estranhos para um observador terrestre, mas não vamos insistir nesta situação algo irreal.

Vejam, agora, como podemos interpretar os efeitos da gravidade sobre o comportamento da luz por intermédio de diagramas do espaço-tempo. O encurvamento dos raios luminosos pode ser representado no diagrama pela inclinação dos cones de luz, como se pode ver na figura 8.

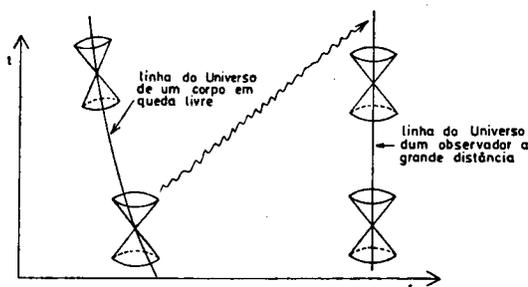


Fig. 8 — Linhas do Universo e cones de luz na presença de uma estrela. Os cones de luz são arrastados e inclinados em direcção à estrela. Esta inclinação é equivalente à distorção do espaço-tempo

A linha curva representa a linha do Universo de um corpo em queda livre no campo gravítico de uma estrela. A uma grande distância da estrela os cones de luz comportam-se como no espaço-tempo sem curvatura de Minkowski. Mas à medida que nos aproximamos da estrela, o campo gravítico é mais intenso, ou seja, a curvatura é maior, e a inclinação dos cones de luz é mais acentuada.

É natural interrogarmo-nos sobre o comportamento dos cones de luz se, em lugar de uma estrela de neutrões, tivéssemos um *buraco negro*, ou seja, uma estrela que esgotou o seu combustível nuclear e cuja massa colapsou sob

a acção do seu próprio campo gravítico. Já em 1798 Laplace escreveu: «Uma estrela luminosa, com a mesma densidade da Terra, e cujo diâmetro fosse duzentas e cinquenta vezes maior que o Sol, não permitiria, em consequência da sua atracção, que qualquer dos seus raios luminosos chegasse até nós; por esta razão é possível que os maiores corpos luminosos do universo possam ser invisíveis». De modo semelhante, se uma estrela com a massa do Sol se reduzisse a um raio de cerca de 1,5 km, a velocidade de escape à superfície da estrela ultrapassaria a velocidade da luz.

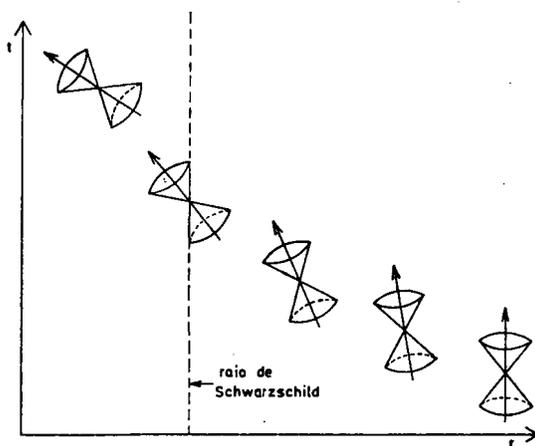


Fig. 9 — Comportamento dos cones de luz na presença de um buraco negro.

Não é difícil calcular a inclinação dos cones de luz, usando a teoria da relatividade geral no caso em que a estrela (buraco negro) é esféricamente simétrica.

A distorção dos cones de luz, que se observa na figura 9, é uma consequência da geometria da solução das equações de Einstein,

⁽¹⁾ Estes valores decorrem da aplicação da fórmula resultante da integração da expressão (15), escrita mais adiante, e dos valores estimados para R e M no caso de uma estrela de neutrões. Embora haja a respeito desses valores uma grande incerteza é provável que $R \geq (9/4) (GM/c^2)$. No caso mais favorável, $R = 2,25 (GM/c^2)$, 6 horas determinadas a uma grande distância correspondem a 2 horas à superfície da estrela. Vemos pois que o exemplo é propositadamente um tanto exagerado.

com simetria esférica. Essa solução é conhecida por espaço-tempo de Schwarzschild e chama-se assim em homenagem ao matemático Karl Schwarzschild, que a obteve em 1916.

Como se depreende da inclinação dos cones de luz, a uma distância inferior ao chamado raio de Schwarzschild, $R_s = 2GM/c^2$, os raios luminosos são como que «engolidos» pelo buraco negro, mesmo que sejam enviados para fora da estrela. A superfície esférica correspondente ao raio de Schwarzschild divide o espaço-tempo em duas regiões distintas: os acontecimentos exteriores a R_s que poderão sempre, mais cedo ou mais tarde, ser observados e os acontecimentos interiores a R_s , que são inacessíveis aos observadores exteriores.

Esta superfície esférica é por isso chamada *horizonte de acontecimentos*. Note-se que não existe nada de fisicamente estranho no horizonte de acontecimentos. Se um astronauta tivesse a infelicidade de atravessar essa região do espaço-tempo, não notaria nada de diferente ao passar o raio de Schwarzschild. Contudo, após ter cruzado o horizonte de acontecimentos, já não seria capaz de travar a sua nave e mantê-la a uma distância constante do centro do buraco negro; o seu único destino seria dirigir-se inexoravelmente para esse ponto do espaço onde a curvatura se torna infinita e desaparecer, literalmente, do espaço-tempo.

A forma explícita da geometria de Schwarzschild é dada pela forma quadrática

$$ds^2 = \alpha c^2 dt^2 - \alpha^{-1} dr^2 - r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2)$$

$$\alpha = 1 - 2GM/(rc^2) \quad (14)$$

que é a forma especial da expressão geral (8) para o caso de um campo gravítico estático e com simetria esférica.

A partir desta expressão vemos que o tempo próprio, medido por um relógio que se encontra num ponto fixo do espaço, à distância-coordenada r ⁽¹⁾ da estrela é dado por

$$\Delta\tau = (1/c) \int_0^{\Delta t} \sqrt{g_{00}} dt =$$

$$\int_0^{\Delta t} [1 - 2GM/(rc^2)]^{1/2} dt \quad (15)$$

É deste resultado que se extrai a expressão exacta que deve substituir a expressão (13).

Na verdade, como a métrica de Schwarzschild é estática, a integração da expressão (15) é imediata e vem

$$\Delta\tau = [1 - 2GM/(rc^2)]^{1/2} \Delta t$$

que, quando $rc^2 \gg 2GM$, se pode aproximar para

$$\Delta\tau \approx [1 - GM/(rc^2)] \Delta t$$

Vimos que na teoria da relatividade restrita o tempo próprio era o tempo mais curto entre dois acontecimentos, e era medido por um observador em repouso no referencial (inercial) onde os acontecimentos ocorriam no mesmo ponto do espaço. Além disso, todos os observadores que se encontram em repouso nesse referencial medem o mesmo tempo próprio. Vemos agora que na teoria da relatividade geral, e tomando como exemplo de espaço-tempo uma solução estática, com simetria esférica, conhecida por solução de Schwarzschild, o tempo próprio mede-se diferentemente nos vários pontos de espaço.

Dois acontecimentos simultâneos apresentarão, em geral, valores diferentes para a coordenada temporal t . Esta coordenada poderá ser entendida como o tempo próprio medido por observadores que se encontram em repouso em relação à estrela e infinitamente afastados dela.

O tempo nos modelos cosmológicos de «Big-Bang»

Quando aplicamos a teoria da relatividade geral ao Universo na sua totalidade, somos levados a fazer certas hipóteses que permitem simplificar as equações diferenciais (equações de Einstein) que regem o campo gravítico. Essas hipóteses apoiam-se num conjunto de observações que sugerem que a região do Universo onde estamos localizados tem características semelhantes a qualquer outra região

(1) Note que a coordenada r não mede a distância ao centro da estrela, embora esteja relacionada com ela. A verdadeira distância é maior que r .

acessível à nossa observação. Com isto retiramos à nossa galáxia (Via Láctea) e às galáxias que integram o *grupo local* de galáxias, qualquer posição privilegiada relativamente ao resto do Universo.

Efectivamente a grande maioria dos astrónomos admite que o Universo é uniforme, quando observado a uma grande escala, isto é, quando se consideram porções do Universo bastante maiores que as dimensões dos aglomerados de galáxias.

Mais concretamente, do ponto de vista da distribuição de matéria, considera-se que o Universo é espacialmente homogéneo (todos os pontos do espaço são equivalentes num determinado instante) e isótropo (o Universo parece o mesmo em todas as direcções, visto da nossa galáxia ou de qualquer outra). Embora a homogeneidade espacial seja muito difícil, senão impossível, de provar, já o mesmo não acontece com a isotropia. Estamos a pensar na chamada radiação térmica de fundo, de origem cósmica, cuja temperatura ($\sim 2,7$ K) é extraordinariamente uniforme: $\Delta T/T \sim 10^{-4}$. É claro que isto não prova que o Universo tenha sido sempre espacialmente homogéneo e isotrópico.

Uma consequência da homogeneidade espacial e da isotropia do espaço-tempo associado a estas soluções cosmológicas da Relatividade geral (conhecidas por soluções de Friedmann-Robertson-Walker) é que a distribuição uniforme da matéria pode ser descrita por um feixe de linhas do Universo, que não se intersectam, e que divergem de um ponto comum no passado. É, então, possível encontrar uma família de superfícies tridimensionais do género-espaço, ortogonais ⁽¹⁾ ao feixe de linhas do Universo, conforme se mostra na figura 10.

Nestas condições, pode-se escolher um sistema de coordenadas, chamado sistema *síncrono*, onde a forma quadrática fundamental que define estas geometrias se escreve

$$ds^2 = dt^2 - \gamma_{ij}(t) dx^i dx^j \quad i, j = 1, 2, 3 \quad (16)$$

Neste sistema de coordenadas a matéria encontra-se em repouso, ou seja, $dx^1/ds = dx^2/ds = dx^3/ds = 0$, e portanto a coordenada

temporal t mede o tempo próprio de um observador em repouso em relação ao fluido cosmológico.

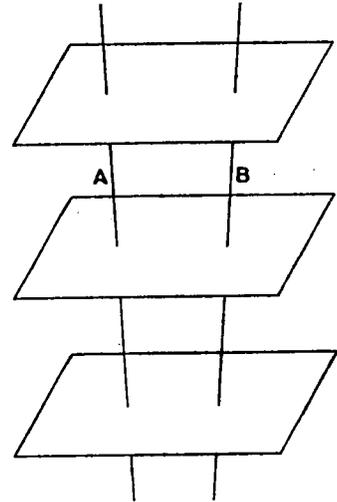


Fig. 10 — Família de superfícies tridimensionais não necessariamente planas, que representam o Universo em cada instante.

A família de superfícies tridimensionais espaciais é caracterizada por um único parâmetro e como estas superfícies são ortogonais a todas as linhas do Universo — uma dada linha do Universo intersecta cada superfície uma única vez — o tempo próprio, associado ao comprimento destas linhas do Universo, poderá ser utilizado para «parametrizar» estas superfícies, tendo por isso o significado de um *tempo cósmico*, universal. Por outras palavras, as galáxias que se encontram sobre a mesma superfície espacial medem todas o mesmo tempo cósmico.

Quer isto dizer que apesar de, na teoria da relatividade, o tempo medido por qualquer observador depender do seu estado de movimento relativo e do campo gravitacional onde ele se encontra situado, é possível construir um tempo t comum para descrever a evolução do campo gravitacional do universo na sua totalidade, no quadro destes modelos cosmológicos homogéneos e isotrópicos. São as simetrias associadas a estes modelos que nos permitem

⁽¹⁾ A ortogonalidade deve ser entendida no sentido da métrica riemanniana associada a estas soluções cosmológicas.

a construção deste tempo cósmico comum a todos os relógios em repouso em relação aos agrupamentos de galáxias. Pois se o universo tem o mesmo aspecto qualquer que seja o ponto de observação (agrupamento de galáxias) e se expande da mesma maneira por toda a parte, é de esperar que o efeito do campo gravitacional cosmológico sobre os diferentes relógios seja também o mesmo por toda a parte, desde que estes se encontrem em repouso em relação aos agrupamentos locais de galáxias. Assim, os agrupamentos locais de galáxias definem um conjunto privilegiado de sistemas de referência — os referenciais onde o universo se expande isotropicamente—e qualquer observador em repouso nestes referenciais vê a mesma sequência de estados de evolução do Universo. Qualquer outro observador, que se encontre em (rápido) movimento em relação ao fluido cosmológico, terá uma outra escala de tempo para os acontecimentos cósmicos e, além disso, verificará um certo grau de anisotropia que dependerá do valor da sua velocidade. Neste sentido, a extraordinária uniformidade da radiação cósmica de fundo, tal como é observada da Terra, permite estabelecer um limite para a velocidade do Sol de cerca de 300 Kms^{-1} relativamente ao referencial privilegiado constituído pelo próprio campo de radiação isotrópica.

A maioria dos cosmologistas e astrofísicos pensa que a radiação cósmica de 2,7 K é um resíduo fóssil de uma época em que o universo era cerca de mil vezes mais pequeno e mais quente do que é hoje, e toda a matéria estava ionizada. Os fótons da radiação de fundo são interpretados como resíduos que escaparam a essa época, na altura em que o universo arrefeceu e os núcleos ionizados e os electrões se combinaram para formar os átomos neutros que povoam o nosso mundo actual. Existe um outro testemunho de que o universo já foi cerca de um bilião (10^9) de vezes mais pequeno e mais quente do que é hoje. Trata-se da observação de que 25 % da massa do universo está na forma de ^4He , enquanto que no interior das estrelas só seria possível produzir cerca de 10 %. Admite-se, em geral, que este ^4He

foi produzido a partir do neutrão e do próton por reacções termonucleares que ocorreram nos primeiros três minutos após o Big-Bang, juntamente com quantidades muito reduzidas de outros núcleos leves tais como o deutério e o lítio.

Estes testemunhos parecem dar crédito aos que utilizam os modelos de Big-Bang, ou modelos cosmológicos de Friedmann, como fundamento da cosmologia relativista. Poucos duvidam que o universo actual se encontra em expansão, e com base nos modelos de Friedmann facilmente se depreende que o universo passou por fases mais densas e mais quentes, explicando-se assim a produção de ^4He e a origem da radiação de fundo cósmico de 2,7 K.

Mas há muitos factos para os quais ainda não foi possível encontrar explicações convincentes. Todos os modelos de Friedmann partilham a existência de uma singularidade no instante $t=0$, que corresponde a um tempo próprio finito no passado, para o qual a densidade do universo assume um valor infinito. Este é o acontecimento identificado por Big-Bang e representa a origem da existência física, incluindo do espaço e do tempo. Quando fazemos t tender para zero não só a densidade e a temperatura do universo crescem indefinidamente, mas a própria curvatura do espaço-tempo torna-se infinita.

A existência destas singularidades nos universos em expansão é um dos problemas mais graves da cosmologia relativista.

Por outro lado, de acordo com os modelos de Friedmann, nos primeiros momentos da vida do universo o fluido cosmológico que haveria de dar lugar às galáxias encontrava-se num estado de compressão que excedia largamente o das estrelas mais densas. Como se explica que este universo primitivo não tenha terminado num gigantesco buraco negro, e bem ao contrário tenha escapado à acção do seu próprio campo gravítico e se tenha expandido literalmente desde a origem dos tempos (ou do tempo) até aos nossos dias?

Como já afirmámos anteriormente, a radiação térmica de origem cósmica que banha o

universo chega até nós com uma temperatura uniforme, qualquer que seja a direcção de observação. Esta radiação antes de chegar até nós percorreu distâncias da ordem de biliões de anos luz e, portanto, se encontrasse algum desvio da uniformidade transportaria consigo essa informação.

Concluiu-se, portanto, que a própria expansão deve ser uniforme em alto grau. Não só a taxa de expansão é a mesma em todas as direcções como também é a mesma nas diferentes regiões do cosmos, pelo menos a partir da época em que a radiação deixou de estar acoplada com a matéria.

Mas como se explica esta homogeneidade espacial e esta isotropia, características dos modelos de Friedmann, quando se sabe que de acordo com estes modelos o cosmos original possuía múltiplas regiões isoladas do ponto de vista causal? Efectivamente, um segundo após o Big-Bang a luz tinha percorrido cerca de 3×10^5 Km mas, por essa altura, o universo observável actualmente ocupava uma região do espaço de cerca de $(10^{14}/10^5)^3 = 10^{27}$ regiões separadas, incapazes de comunicar entre si por qualquer processo físico!

Como se explica, então, o alto grau de cooperação, que está patente na uniformidade da radiação cósmica de fundo, entre partes do universo que nunca estiveram em comunicação entre si?

A não ser que o universo tenha sido sempre homogéneo e isotrópico...

Mas, então, como explicar as pequenas perturbações que deram origem às galáxias e às outras estruturas do universo actual? E finalmente, qual será a origem de toda a matéria no universo?

Talvez seja possível encontrar respostas, pelo menos alguns cosmologistas e alguns físicos de partículas assim o crêem, para estas (e outras) perguntas no âmbito dos chamados modelos inflacionários do universo. Estes modelos têm sido desenvolvidos na sequência da grande unificação das interacções electro-magnéticas, fracas e fortes, com o objectivo de explicar o facto de não serem detectados os monopolos que estas teorias predizem.

Embora os modelos inflacionários, de que não vamos falar aqui, tenham lançado alguma luz sobre as questões básicas aqui levantadas, em articulação com os modelos de Big-Bang, não estão isentos de dificuldades no quadro da própria física das partículas.

Por outro lado, embora a maioria dos cosmologistas advogue que os modelos de Friedmann são boas aproximações globais do universo *actual*, não deixam de ressaltar o seu carácter demasiadamente simplista para representar o universo. Por isso mesmo, um número crescente de cosmologistas tem vindo a prestar mais atenção ao estudo de modelos heterogéneos e anisotrópicos.

No quadro destes modelos já não é possível, em geral, encontrar um conceito de tempo comum a uma família privilegiada de observadores. Ou seja, ao reduzir as simetrias dos modelos cosmológicos perde-se a noção semi-newtoniana de tempo cósmico, característica dos modelos de Big-Bang. Mesmo que o universo tenha uma singularidade inicial, a origem do espaço e do tempo, já não é possível falar sem ambiguidade de «tantos segundos após a singularidade inicial». Não fará sentido falar de um tempo próprio comum a todo o universo e, por isso, a idade do universo é algo que não teria qualquer significado.

BIBLIOGRAFIA

Para quem quiser saber mais sobre estes assuntos (a um nível não matemático), sugerimos:

DAVIES, P. C. W. — *Space and time in the modern Universe*, Camb. Univ. Press. (1977).

GEROCH, R. — *General relativity from A to B*, Univ. of Chicago Press. (1978).

WALD, R. — *Space, Time and Gravity*, Univ. of Chicago Press. (1977).

Para os mais audaciosos e dispostos a aprofundar os seus conhecimentos recomendamos mais dois livros de texto que são particularmente completos, embora não muito avançados:

RINDLER, W. — *Essential relativity*, 2nd edition, Springer Verlag (1977).

SCHUTZ, B. — *A first course in general relativity*, Camb. Univ. Press. (1985).

Anemometria Laser^(*)

D. F. G. DURÃO e J. C. F. PEREIRA

Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Rovisco Pais — 1096 Lisboa Codex

Anemómetros Laser são sistemas ópticos, não intrusivos, para a medição da velocidade dos escoamentos de fluidos líquidos ou gasosos. Estes instrumentos de medida devem a sua existência à invenção do Laser nos anos sessenta. Tentativas anteriores para medição da velocidade de fluidos por métodos ópticos foram realizadas; contudo só depois do aparecimento da luz Laser com suas propriedades únicas de coerência espacial e temporal, foi possível projectar e realizar um anemómetro óptico. Hoje em dia muitos dos equipamentos de anemometria Laser são comercializados mas não vai longe o tempo em que os investigadores de mecânica dos fluidos tinham que desenvolver o seu próprio equipamento. A sua aplicação constitui uma ferramenta de trabalho extremamente útil na investigação da Mecânica dos Fluidos. Neste trabalho será apresentada uma breve introdução à técnica de Anemometria Laser.

1. Introdução

A utilização de sondas para medir pressões estáticas e totais foi e continua a ser um meio para a determinação de velocidades médias. A termo-anemometria, também chamada anemometria de fio quente, veio permitir não só a determinação daquelas, mas também o conhecimento do valor instantâneo da velocidade. Apesar destas técnicas terem fornecido informação relevante para a Mecânica de Fluidos, a sua aplicação tem sido limitada a escoamentos com propriedades constantes, relativamente baixas velocidades, temperatura ambiente e fora de regiões de recirculação. Assim as limitações de ambos os processos conduziram ao aparecimento e desenvolvimento de uma técnica óptica: a Anemometria Laser. A primeira aplicação desta técnica é devida a Yeh e Cummins (1964) e foi depois generalizada a escoamentos em que a utilização de pontas de prova não é viável; por exemplo, chamas e escoamentos isotérmicos, escoamentos de pequenas dimensões ou ainda em ambientes corrosivos. Trata-se de uma técnica não intrusiva sendo também aplicável a todos os escoamentos onde as duas técnicas anteriormente mencionadas podem ser usadas.

2. Princípio de funcionamento

2.1. Descrição sumária

O princípio de funcionamento baseia-se no desvio de frequência que um feixe de luz sofre quando se provoca a sua difracção por um meio em movimento. Quando uma partícula móvel passa por um feixe de luz de intensidade e características bem definidas (Laser) provoca a difracção da luz alterando a sua frequência. Teoricamente se houvesse um instrumento que pudesse com a elevada precisão necessária medir a frequência da luz difractada, nada mais seria necessário para a determinação da velocidade das partículas suspensas no fluido em movimento. Devido à inexistência de tal instrumento desenvolveram-se sistemas ópticos para pôr em evidência o desvio de frequência. Tal foi conseguido de várias maneiras que originam diferentes configurações do anemómetro Laser. É de realçar que a velocidade medida é a das partículas em suspensão no escoamento, pelo que há que garantir que ela

(*) Apresentado nas Jornadas da Divisão de Óptica da SPF (Porto, Dezembro 1985), mas não incluído na colectânea Laser Portugal—25 anos depois (Gaz. Fis. 9, Jan. e Abr. 1986).

coincida instantaneamente com a do fluido. O arranjo óptico usualmente e historicamente mais utilizado é representado na figura 1, e foi

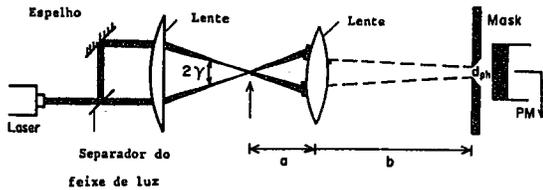


Fig. 1 — Anemômetro convencional.

convencionalmente chamado de duplo feixe ou método das franjas (dual beam or fringe mode). Este sistema (figura 1) usa uma lente para fazer intersectar dois feixes de luz igualmente intensos e coerentes. A intersecção dos dois feixes, que acabam por ser radiações electromagnéticas, forma um volume de controlo, que é a região de interferência entre as duas ondas electromagnéticas. Assim se forma um campo electromagnético que vai somar-se numa faixa e anular-se noutras de modo a formar franjas alternadamente iluminadas e escuras, como representado na figura 2.

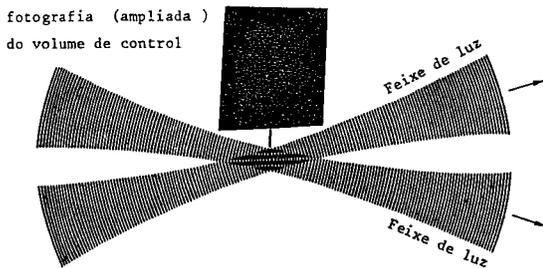


Fig. 2 — Volume de controlo.

Se uma partícula suspensa no fluido atravessa o volume de controlo constituído por essas franjas, passará sucessivamente por zonas iluminadas e escuras, apenas difundindo luz nas zonas iluminadas, causando uma variação periódica da intensidade da luz difractada pela partícula. A luz difractada é então colectada por um detector e apresenta uma variação de amplitude ao longo do tempo, isto é uma frequência; esta frequência resultante é a frequência Doppler. Posteriormente e para efeitos de

leitura o sinal óptico é convertido numa diferença de potencial eléctrico através de um fotomultiplicador.

A equação relacionando a frequência do sinal (frequência Doppler), ν_D , com a velocidade instantânea, U é dada por:

$$\nu_D = (\nu_0/c) U \sin \gamma$$

com $\lambda = c/\nu_0$ igual ao comprimento de onda da luz Laser usada, e γ metade do ângulo formado pela intersecção dos dois raios (ver figura 1).

SISTEMA ÓPTICO

O sistema de LDA representado na figura 1 não resolve o sentido da velocidade. Esta ambiguidade que pode existir nos escoamentos com recirculação ou de alta intensidade de turbulência pode ser ultrapassada incorporando dispositivos que provoquem uma variação de frequência da luz. Fazendo intersectar dois feixes com diferentes frequências transforma-se o sistema estático de franjas apresentado na figura 1 num sistema móvel. Se o sistema de franjas estiver animado de uma velocidade de translação U_s , então obter-se-á um sinal no fotodetector correspondente a $U \pm U_s$, onde o sinal $+$ ou $-$ depende de U_s ter o mesmo sentido ou o sentido oposto em relação à velocidade instantânea U . O valor da frequência correspondente à velocidade instantânea U é dado por $\nu_D = \nu_{\text{medido}} \pm \nu_s$. A realização prática deste esquema pode ser obtida através da utilização de células óptico-acústicas, em que os princípios de Debye-Sears e o efeito de reflexão de Bragg constituem a base das células óptico-acústicas e envolvem interacções de som-luz que foram investigadas por exemplo por Durão e Whitelaw (1975). O mesmo poderá ser obtido através de discos de difracção. Assim as novas unidades ópticas são constituídas não só pelas lentes para obter o cruzamento dos dois feixes e para colectar a luz reflectida mas também por células de Bragg ou alternativamente por disco de difracção. A figura 4 mostra uma unidade óptica em que a diferença de frequência entre os dois feixes ou raios incidentes é conseguida através

da passagem dos feixes de luz por células de Bragg onde um cristal propaga ondas acústicas.

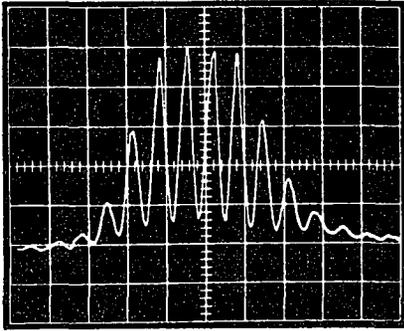


Fig. 3 — Sinal de saída do fotomultiplicador.

A informação da velocidade instantânea será assim obtida através do conhecimento da frequência ν_D do sinal. O sinal é modulado por uma distribuição Gaussiana como representado na figura 3, pois o raio laser tem na

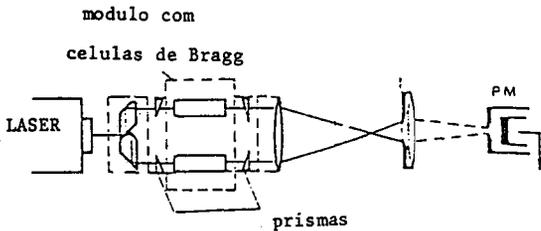


Fig. 4 — Anemómetro com unidade óptica incorporando células de Bragg.

direcção radial uma distribuição de luz Gaussiana. O valor da frequência ν_D é conhecido através de um processador de sinal.

Assim, basicamente, o sistema de anemometria laser que utiliza a frequência Doppler para medir a velocidade, denominado normalmente LDA (Laser Doppler Anemometry), é constituído por:

- Fonte (Laser)
- Sistema óptico
- Fotodetector
- Processador de sinal

2.2. Constituição de um sistema de LDA

FUNTE

A fonte produtora do feixe de luz será sempre um Laser. A escolha do Laser dependerá de vários factores. Os Lasers mais usados em aplicações de Mecânica dos Fluidos são o Laser de Hélio-Neon ($\lambda = 632.8$ nm, vermelho) e o Laser de Argon-ionizado ($\lambda = 514.5$ nm, verde). A potência do Laser varia de 5mW a 10Watt.

As unidades ópticas podem ser projectadas para em vez de colectar a luz a juzante do ponto de medida, como representado nas figuras 1 e 4, ela poder ser colectada a montante. Tal arranjo será conveniente para medidas em geometrias de grandes dimensões ou em condições difíceis de acesso óptico.

É possível medir simultaneamente duas ou três componentes do vector velocidade usando vários sistemas LDA que poderão estar integrados a partir de uma só fonte laser. A realização prática de tal anemómetro Laser é complexa devido à necessidade de identificação da luz

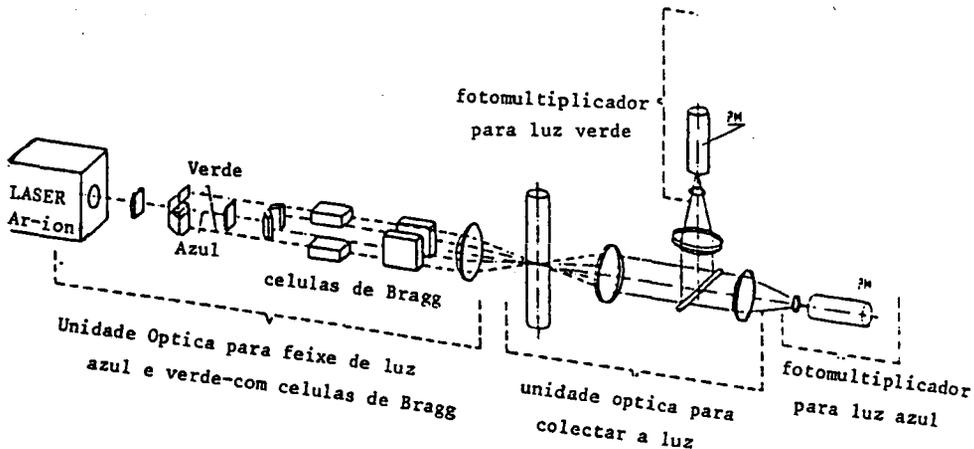


Fig. 5 — Anemómetro para medição simultânea de duas componentes do vector velocidade.

difundida pelas partículas para cada um dos conjuntos LDA. A figura 5 mostra um anemómetro Laser de duas cores (azul e verde) para a medição simultânea e instantânea de duas componentes do vector velocidade.

O recente desenvolvimento de fibras ópticas veio impulsionar a modificação da estrutura das unidades ópticas, possibilitando unidades compactas em que uma grande redução de volume pode ser conseguida. As fibras ópticas possibilitaram ainda a realização de sondas com 3 graus de liberdade espacial, como representado na figura 6.

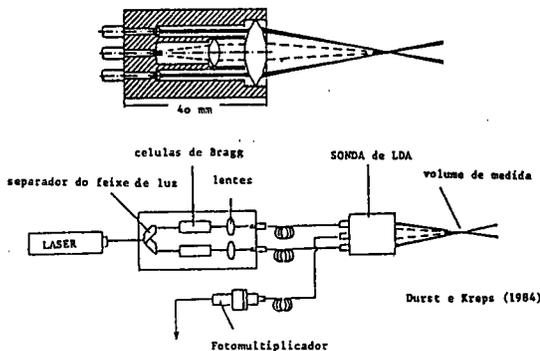


Fig. 6 — Anemómetro utilizando fibras ópticas.

FOTODETECTOR

Este constituinte do sistema LDA faz com que o fluxo de fótons do sinal óptico, recebido

do volume de controlo, origine um fluxo de electrões. O fotodetector usualmente utilizado é um fotomultiplicador.

PROCESSADOR

O sinal eléctrico que o fotomultiplicador fornece terá que ser processado para obter os valores instantâneos da velocidade (e daí as velocidades médias e as correlações das flutuações de velocidade). Diferentes tipos de instrumentos podem ser utilizados: analisadores de frequência; seguidores de frequência (frequency trackers); contadores de frequência, ver por exemplo Durão (1976); e registadores de fenómenos transitórios (transient recorders), ver por exemplo Durst e outros (1981). Estes aparelhos podem estar ligados a um sistema de aquisição de dados e controlados por um mini-computador.

3. Aplicações

A aplicação de LDA é corrente não só em centros de investigação universitária como em unidades fabris por todo o mundo. As suas aplicações são inúmeras indo desde medições do campo de velocidades no interior dos cilindros de motores reais, para optimização de disposição e geometria de válvulas, até medidas da velocidade do sangue em artérias do corpo

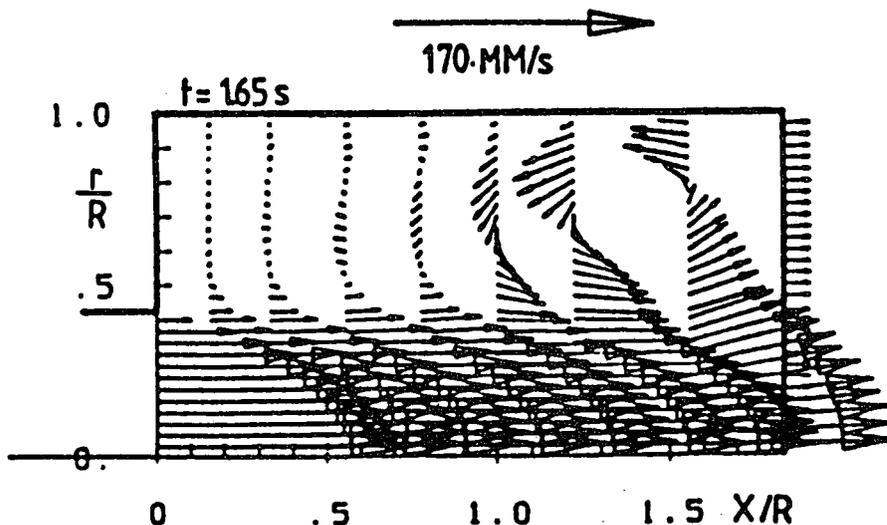


Fig. 7 — Escoamento num cilindro.

humano, ver por exemplo Go Tomonaga e outros (1983); podendo ser utilizado para medição de velocidades em escoamentos com duas fases ou ainda em escoamentos supersônicos para estudo das ondas de choque. Seguidamente dão-se, a título ilustrativo, três exemplos de medições de velocidade usando LDA em diferentes tipos de escoamento.

A figura 7 mostra vectores de velocidade num escoamento laminar não estacionário e com recirculação num tubo em que uma das paredes tem movimento não estacionário (êmbolo), Durst e Pereira (1985).

Na figura 8 está representado o campo de velocidades médias num escoamento turbulento em volta de um disco, Durão e Firmino (1983).

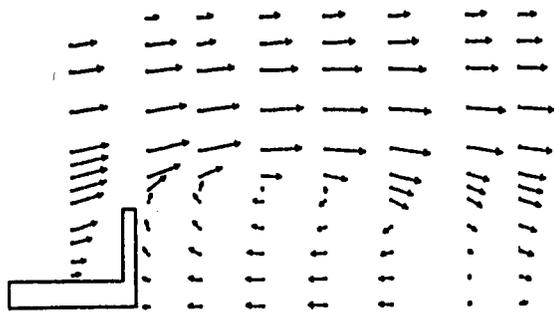


Fig. 8 — Escoamento em torno de um disco.

A figura 9 mostra os perfis de duas componentes do vector velocidade do escoamento numa turbina de gás com combustão, numa geometria real, Heitor e Whitelaw (1985).

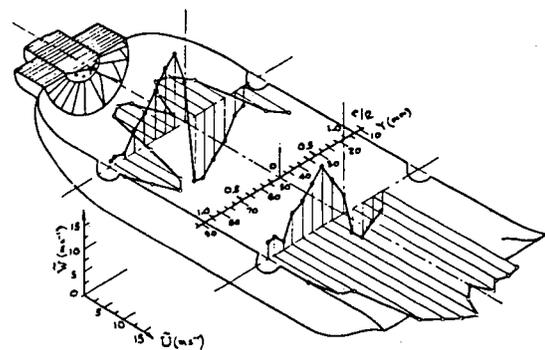


Fig. 9 — Escoamento numa turbina a gás.

4. O futuro de LDA

A técnica de LDA está em permanente desenvolvimento e o seu campo de utilização

em contínuo alargamento. A utilização de fibras ópticas em LDA simplificará o anemómetro, tornando o seu uso ainda mais simples e eficiente. A construção futura de sondas miniatura (parecidas com uma pequena lanterna de bolso) ligadas por fibras ópticas ao equipamento, tornará possível a medição das três componentes do vector velocidade em equipamentos industriais, possibilitando a caracterização precisa do campo das velocidades médias e turbulentas.

Em Portugal o factor mais restritivo ao uso e desenvolvimento de LDA é o seu custo, (o sistema LDA mais simples custa actualmente 3000 contos). Porém nas universidades portuguesas existem já centros utilizadores e difusores da técnica LDA, sendo ainda de realçar a realização sistemática em Lisboa de um importante Simpósio bi-anual sobre a aplicação de LDA à Mecânica dos Fluidos.

REFERÊNCIAS

- Y. YEH and H. Z. CUMMINS — Localized Fluid Flow Measurements with an He-Ne Laser Spectrometer, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 4, pp. 176-178, 1964.
- D. F. G. DURÃO and J. H. WHITELAW — The performance of acousto-optic cells for laser-Doppler anemometer, *J. Phys. E. Sci. Instrum.*, vol. 8, p. 776, 1975.
- D. F. G. DURÃO — The application of Laser Anemometry to free jets and flames with and without recirculation, Ph. D. Thesis, University of London, 1976.
- F. DURST, A. MELLING and J. H. WHITELAW — *Principles and Practice of Laser-Doppler Anemometry*, 2nd edition, Academic Press, 1981.
- GO TOMONAGA, F. NAJIYA, Y. OGASAWARA, K. MITO, K. TSUJIOKA, K. HIRONAGA, H. KANO and H. NISHIHARA — Analysis of Coronary Flow Dynamics by Laser Doppler, Proc. of the Osaka Symposium on Flow Measuring-Techniques, Osaka, Japan, 1983.
- F. DURST and J. C. F. PEREIRA — Piston-Drive, unsteady separation at a sudden expansion in a tube, submetido ao *Journal of Fluid Mechanics*.
- D. F. G. DURÃO and F. C. FIRMINO — Velocity field around a disk, Fourth Symposium on Turbulent Shear Flows, Karlsruhe, R. F. A., 1983.
- M. V. HEITOR and J. H. WHITELAW — Velocity temperature and species characteristics of the flow in a gas-turbine combustor, aceite para publicação em *Combustion and Flame*.

A utilização dos Lasers na espectroscopia Raman^(*)

M. PEREIRA DOS SANTOS e C. HIRLIMANN

Laboratório de Física, Universidade do Minho, BRAGA (Portugal)

Laboratoire de Physique des Solides, Université Pierre et Marie Curie, PARIS (França)

1. Introdução

O efeito Raman foi descoberto em 1928 por Chandrasekhara Raman, e valeu-lhe o Prémio Nobel da Física em 1930.

Este efeito foi utilizado principalmente em Química, mas constituía uma técnica pesada e difícil (longos tempos de exposição eram necessários).

O aparecimento dos lasers, na década de sessenta, veio permitir a renovação profunda da espectroscopia Raman. De facto, a monocromaticidade das riscas do laser permite obter uma muito melhor resolução, dado serem mais finas, e os tempos de exposição tornaram-se muito menores, porque a densidade de energia é muito maior.

Será, depois, o aparecimento dos lasers de corantes (dye lasers), permitindo variar continuamente a energia (e a frequência) de excitação, que reforçará ainda mais o esforço de investigação neste campo. Na realidade, com este tipo de lasers tornou-se possível o acesso ao estudo das transições electrónicas, bem como da interacção entre os electrões e as vibrações da rede cristalina, em espectroscopia Raman ressonante (R.R.S., resonant Raman scattering).

Contrariamente ao que poderíamos supor, desde muito cedo houve quem, em Portugal, estudasse este assunto: refira-se uma nota de A. da Silveira «Sur l'effet Raman dans les solutions salines» (extraída das «Comptes Rendus des Scéances de l'Académie des Sciences», t. 195, p. 521, scéance du 5 spétembre 1932). Actualmente, tanto quanto sabemos, apenas três grupos trabalham em espectroscopia Raman, em Portugal.

O efeito Raman, ressonante ou não, tem interesse em estudos de moléculas, em Química,

pois a energia envolvida é da ordem da das vibrações destas. Em estudos de Biofísica, permite também a identificação de constituintes de certas células, pela presença dos picos característicos de certas substâncias. Sem pretendermos ser parciais, cremos que a utilização maior do efeito Raman foi em Física do Estado Sólido, com o estudo de cristais simples, ligas, e ainda de vidros e sólidos amorfos, alguns dos quais vieram a ter larga utilização em componentes electrónicos («displays» de LEDs de arsenieto de gálio, por exemplo).

O efeito Raman, envolvendo energias da ordem de um ou poucos quanta de vibração da rede cristalina dos sólidos (fonões), vai-nos permitir fazer estudos sobre a dinâmica dessa rede, as alterações introduzidas pela presença de impurezas (dopantes ou implantadas), ou a perda de simetria ao passarmos duma substância pura a uma liga.

2. A Física duma experiência de difusão Raman

Quando se envia sobre um cristal um feixe de luz monocromática de frequência angular w_i , e se analisa a luz difundida, de frequência w_d , podem surgir vários casos:

- uma risca de difusão elástica, $w_i = w_d$, chamada risca Rayleigh;
- uma ou várias riscas de difusão inelástica, $w_d = w_i \pm \Omega$, ditas Stokes se a frequência w_d é inferior à frequência

(*) Apresentado nas Jornadas da Divisão de Óptica da SPF (Porto, Dezembro 1985), mas não incluído na colectânea Laser Portugal—25 anos depois (Gaz. Fis. 9, Jan. e Abr. 1986).

incidente, e anti-Stokes no caso contrário; estas frequências Ω são atribuídas aos modos de vibração do cristal (fonões), e chama-se, neste caso, difusão Raman.

O que sucede, em termos simples, é a interacção entre um fotão e um átomo ou ião da rede, em que o fotão pode ganhar (ou perder), nessa interacção, a energia dum quantum de vibração dessa rede (chamado fonão, de energia $\hbar\Omega$). Daí que essa diferença de energia seja a mesma para qualquer energia de excitação ($\hbar w_i$) do cristal.

No processo completo a energia é conservada:

$$\hbar w_d = \hbar w_i \pm \hbar \Omega$$

tal como a quantidade de movimento das partículas

$$\hbar \mathbf{k}_d = \hbar \mathbf{k}_i + \hbar \mathbf{q}$$

em que $\hbar \mathbf{k}_{d(i)}$ é a quantidade de movimento dos fotões difundidos (incidentes), e $\hbar \mathbf{q}$ a do fonão.

Note-se, entretanto, que a energia dos fonões, da ordem de 50 meV, é muito menor que a dos fotões (~ 2.5 eV), e que portanto

$$w_d \simeq w_i \quad \text{e} \quad |\mathbf{k}_d| \simeq |\mathbf{k}_i| \simeq 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

O choque inelástico entre os fotões e os quanta de vibração dos iões (ou átomos) não se faz directamente, mas por intermédio dos electrões da matéria. É que, dada a diferença de massa entre um electrão e um ião (da ordem de 2000 para o mais simples, H^+), são os electrões que «respondem» à excitação das ondas electromagnéticas.

Quando a energia de excitação corresponde exactamente à energia própria dos electrões, a intensidade da luz difundida a w_d é muito aumentada. Fala-se, então, de efeito Raman ressonante (R.R.S., resonant Raman scattering). O Raman ressonante não só nos permite o acesso às transições electrónicas, como também a vibrações de sistemas bastante diluídos.

3. Efeito Raman e luminescência

Vamos referir algumas diferenças que se observam entre a difusão Raman, e a luminescência, em experiências de espectroscopia.

Numa experiência de luminescência, a energia de excitação não é relevante, pois o cristal vai-se desexcitar, de vários modos, até atingir um certo nível de energia, e emitir então um fotão, de energia sempre bem definida, e igual à diferença entre a desse estado excitado e a do estado fundamental inicial. Ou seja, mesmo variando a energia de excitação, obtemos sempre a mesma resposta fixa para a frequência do fotão emitido.

Em Raman tudo se passa «mais rapidamente», e o fotão inicial, perdendo (ou ganhando) energia por emissão (absorção) de um fonão, como que «guarda em memória» a energia que possuía no início, e emite um fotão de frequência w_d diferente, mas sempre a uma «distância» (em frequência) fixa em relação à risca de excitação: esta diferença corresponde à frequência do fonão emitido (ou absorvido). Fazendo variar a frequência de excitação, os picos Raman acompanham-na sempre à mesma distância. Esta é a diferença fundamental, relativamente à luminescência..

Do ponto de vista experimental, isto significa que, para um espectro Raman, temos de determinar inicialmente a frequência de excitação do laser, e afastar-nos então, em frequência de análise (acima ou abaixo) de um ou vários fonões, conforme a ordem do espectro Raman pretendido. No caso dos espectros de luminescência não existe emissão a uma energia superior à da risca de excitação, e a frequência desta é irrelevante, situando-se a luminescência sempre na mesma região do espectro.

Em termos de intensidade e largura dos fenómenos, também não há qualquer semelhança: um cristal do género daqueles com que trabalhamos (GaP:N) luminescia cerca de um milhão de vezes mais fortemente do que a intensidade da sua emissão Raman; apenas em condições de ressonância esta razão diminui muito significativamente. Dum modo geral,

também, a luminescência aparece ligada, ou a bandas muito largas, ou (ver fig. 1) a picos mais ou menos estreitos, mas sempre pelo menos uma ordem de grandeza mais largos que os picos Raman.

Nas figuras 1 e 2 temos exemplos dum espectro de luminescência (com riscas relativamente finas), e dum espectro Raman ordinário.

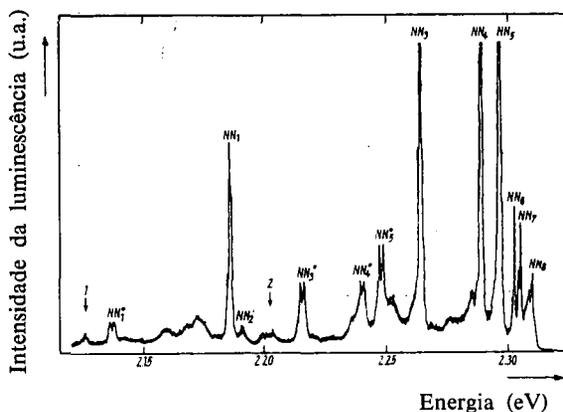


Fig. 1 — Espectro de emissão de GaP:N, a 5 K, quando excitado pela risca 514.5 nm dum laser de Ar⁺; [N] = $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ [Ref. 3].

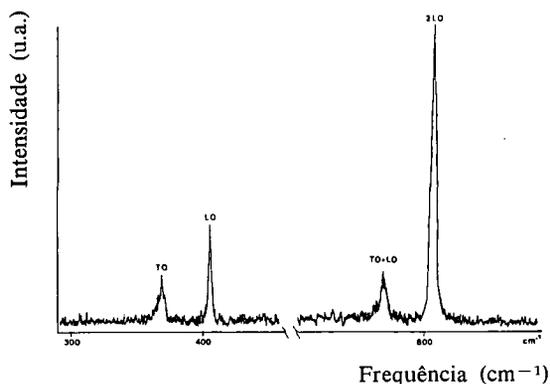


Fig. 2 — Espectro de difusão de GaP (T ambiente), observação simultânea do espectro Raman de primeira ordem e da primeira réplica [Ref. 2].

4. Técnica experimental

Um experiência de difusão Raman compreende quatro grandes partes, esquematizadas na figura 3: uma fonte luminosa de excitação,

uma platina porta-amostras, um espectrómetro de análise, e um sistema de detecção e registo.

A fonte luminosa é constituída, geralmente, por dois lasers de tipos diferentes:

- um laser gasoso (de argon ionizado, por exemplo), com riscas discretas, para várias frequências, e uma potência total de bombagem mínima, com todas as riscas, de pelo menos 3W;

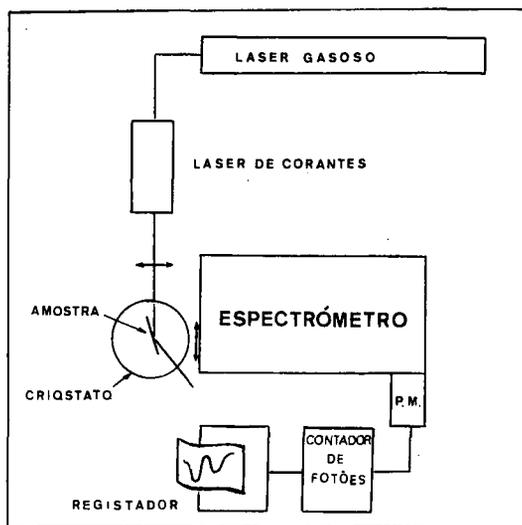


Fig. 3 — Esquema geral do dispositivo experimental.

- um laser de corantes (dye laser), no qual o efeito de laser tem lugar entre bandas de energia, o que permite, após selecção, a obtenção de gamas de frequência variáveis dum modo contínuo; o tipo mais comum, actualmente, é constituído por um jacto de corante, de grande velocidade, que forma uma espécie de lâmina líquida; a excitação é obtida focalizando o feixe do laser gasoso sobre o jacto, e selecciona-se a frequência pretendida com um mecanismo dispersor (um filtro de Lyot, por exemplo); a potência obtida, para cada frequência, é da ordem das dezenas de miliwatts.

O sinal obtido após a excitação da amostra é analisado num monocromador; este monocromador é geralmente duplo, e de grande distância focal (600 a 800 mm), para ter uma boa resolução, pois em espectroscopia Raman necessita-se duma resolução muito superior à necessária para experiências de luminescência, dada a extrema estreiteza dos picos Raman.

Finalmente, um fotomultiplicador, ligado a um contador e a um registador, converte o sinal analisado em impulsos eléctricos, que dão o espectro no papel. Como já referimos, e dado

que a difusão Raman é muito pouco intensa, este sistema de detecção tem de ser extremamente sensível.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. P. DOS SANTOS — Tese de Doutoramento, Braga, 1985.
- [2] C. HIRLIMANN — Thèse d'État, Paris, 1981.
- [3] M. P. DOS SANTOS, C. HIRLIMANN, M. BALKANSKI — Phys. Stat. Solidi (b), **126**, K 114 (1984).

FRONTEIRAS DA FISICA

A Gazeta de Fisica procurará, de tempos a tempos, publicar informações sucintas, em termos acessíveis a um vasto grupo de leitores, sobre progressos recentes em diferentes áreas da Física e suas aplicações. Não haverá obviamente qualquer pretensão de escrever sobre todos os desenvolvimentos importantes; mas espera-se interessar um grupo crescente de físicos a enviar colaboração para esta nova secção da Gazeta de Fisica.

Astrofísica

Os anos de 1983 a 1985, vão ficar assinalados na história da astrofísica como fundamentais para o desenvolvimento da astronomia planetária, ramo da astrofísica em que se faz o estudo de sistemas planetários, e de planetas exteriores ao sistema solar. É pois a ciência que nos poderá encaminhar para eventualmente se estabelecer contacto com outros seres vivos do Universo. As descobertas recentes que se fizeram são notáveis, e criaram um ambiente de grande entusiasmo e espectativa na comunidade científica internacional. Avanços tecnológicos recentes e a possibilidade de se fazerem observações astronómicas a partir de satélites, permitiram estudar e analisar o espectro electromagnético de modo mais completo e preciso. Obtiveram-se assim as primeiras imagens de objectos, fun-

damentalmente novos para lá do sistema solar e talvez capazes de suportar vida.

A estrela *Beta Pictoris* é uma estrela de quarta grandeza de uma constelação do hemisfério Sul, que se situa a uma distância de 51 anos — luz do sistema solar. A única coisa notável que a distingue de muitos milhares de outras estrelas, é ter sido identificada [1] como a origem de um excesso de radiação infravermelha pelo satélite IRAS (Infrared Astronomy Satellite). Dados obtidos pelo IRAS, revelaram a presença de matéria relativamente fria em redor de β Pic, e também em redor de outras estrelas, como seja, Vega e Formalhaut. Porém o telescópio do IRAS é incapaz de produzir imagens bidimensionais de elevada resolução. Apenas com este meio de observação, não é possível decidir se o sistema circum-estelar tem uma forma esférica ou forma de disco. É importante encontrar a resposta a esta pergunta, porque se supõe desde há muito tempo, que a evolução inicial do sistema solar se fez a partir do colapso de uma nuvem de poeira e gás num disco. Mais tarde o disco condensou-se levando à formação dos planetas; a sua forma relativamente plana explica porque razão as órbitas dos planetas se encontram todas praticamente no mesmo plano, ao contrário do que se observa com os cometas.

O problema de determinar a forma do sistema relativamente frio que envolve β Pic, foi resolvido por B.A. Smith e R. J. Terile [2]

com o telescópio de 2.5 m de diâmetro do Observatório da Las Campanas no Chile. Tal foi possível mediante a utilização de um coronógrafo, sistema cujo elemento principal é um disco para ocultação do objecto muito luminoso cuja imagem se pretende obstruir para possibilitar a observação do espaço vizinho. A imagem de β Pic reproduzida na capa deste número da Gazeta de Física, foi obtida no comprimento de onda de 8900 Å (um pouco para além do visível) com um detector CCD, constituído por uma matriz bidimensional de fotodetectores microelectrónicos. Além do coronógrafo, foi também necessário utilizar técnicas de processamento de imagens, capazes de evidenciar a forma de distribuição espacial da matéria circum-estelar. A imagem que finalmente se obteve, revela um disco fino que se estende nas direcções NE e SW, a partir da estrela e com um raio máximo da ordem de 400 unidades astronómicas (1 AU = 1.5×10^8 Km, é a distância média da Terra ao Sol). O disco tem espessura inferior a 50 AU a uma distancia de 300 AU da estrela. Isto implica que as partículas constituintes têm a orbita num angulo de 5° a partir do plano do sistema. A radiação emitida pelo disco, que na imagem obtida por Smith e Terrile aparece com cor avermelhada, resulta da reflexão da luz proveniente de β Pic, nas pequenas partículas de poeira que o constituem.

A região central do disco que circunda β Pic tem dimensões comparáveis ao sistema solar. Será que nela existem planetas? Os meios de observação até agora utilizados não permitem responder a esta pergunta. Porém podemos avançar um pouco mais com base nos dados que possuímos. β Pic é uma estrela da sequência principal e da classe A, cuja idade poderá portanto variar entre 3×10^6 e 10^9 anos. Pensa-se que a formação de um sistema planetário leva cerca de 10^8 anos. Consequentemente se β Pic tem uma idade muito menor do que 10^8 anos estamos provavelmente a observar um sistema protoplanetário. Se, pelo contrário, a idade da estrela é superior a 10^8 anos estamos a

observar o disco de poeiras residual dum sistema planetário. No caso do nosso sistema solar, cuja idade é da ordem de 5×10^9 anos, o disco de poeiras poderá ter-se dissipado há já muito tempo.

Para além das notáveis observações em β Pic, conseguiu-se, também nos últimos anos, identificar pela primeira vez um objecto subestelar exterior ao sistema solar. D. McCarthy, R. Probst e F. Low [3] da Universidade do Arizona, utilizando o telescópio de 4 m do Kitt Peak National Observatory, detectaram uma anã castanha, designada por VB8B, com uma órbita de 7AU de raio em redor da estrela VB8 situada a uma distância de 21 anos-luz, na constelação do Ophiucus. Trata-se de um objecto algo semelhante a Júpiter que não é bem uma estrela nem bem um planeta. A observação de VB8B fez-se para comprimentos de onda no infravermelho de 2.2 e 1.6 μ m. Com os dados obtidos foi possível deduzir que a temperatura da superfície é de 1260 K, a luminosidade é 3×10^{-5} a do Sol e o diâmetro 0.09 o do Sol. VB8B deverá ter uma massa entre 10 e 50 vezes a massa de Júpiter.

Será que em redor de VB8 gravitam, além de VB8B, outros planetas mais frios tal como no sistema solar? As anãs castanhas, isto é, objectos do mesmo tipo de VB8B são frequentes no Universo? São perguntas fascinantes cuja resposta desconhecemos. Uma coisa é certa: estamos presentemente a assistir a um espectacular desenvolvimento da astronomia planetária.

REFERÊNCIAS

- [1] H. H. AUMANN et al., *Astrophys. J. Lett.* **278**, L23 (1984).
- [2] B. A. SMITH and R. J. TERRILE, *Science* **226**, 1421 (1984); *Physics Today* **38**, 19 (1985).
- [3] D. MCCARTHY, R. PROBST and F. LOW, *Astrophys. J. Lett.* **290**, L9 (1985).

FILIFE DUARTE SANTOS
Dep. Física da FCUL

Alterações humanas do clima

O aumento de CO_2 na atmosfera

RICARDO J. F. DE AGUIAR * e FILIPE DUARTE SANTOS

Departamento de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa

1. Introdução

O clima constitui um dos factores determinantes das condições de vida da humanidade, da sua distribuição geográfica e da sua história. As mudanças que se registam no clima devem-se à alteração das condições existentes nas fronteiras do sistema climático (ver Fig. 1), por exemplo, modificação da reflectividade superficial do Globo, ou da intensidade da radiação solar que nos chega do espaço — e devem-se também a mudanças na estrutura ou composição da atmosfera.

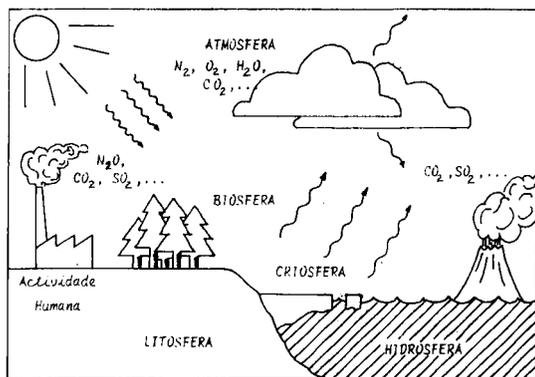


Fig. 1—Representação esquemática das componentes do sistema climático.

Embora possa passar despercebido, o facto é que a humanidade conduz actualmente uma experiência geofísica em larga escala, não controlada, ao injectar na atmosfera grandes quantidades de gases e poeiras provenientes da sua actividade industrial e agrícola. Entre estes produtos, aquele que se prevê poder vir a originar, a prazo bastante curto, os efeitos climáticos mais graves, é o dióxido de carbono [1].

Este gás faz parte da composição normal da atmosfera e, ainda que a sua concentração seja pequena — actualmente cerca de 340 ppmv (partes por milhão de volume da atmosfera) — tem um papel de primeiro plano nos processos radiativos que têm lugar na atmosfera, visto possuir fortes propriedades de absorção e emissão de radiação infravermelha.

O mecanismo pelo qual o CO_2 afecta o clima é conhecido pela expressão um pouco imprópria de *efeito de estufa*. O efeito de estufa consiste, essencialmente, no seguinte: o sistema climático está em equilíbrio energético radiativo, de tal modo que o fluxo de radiação solar (incidente) é compensado pela emissão (para o espaço exterior) de radiação infravermelha de origem terrestre. O dióxido de carbono é transparente à radiação solar mas absorvente em largas regiões do espectro infravermelho. A energia assim absorvida é reemitida, parte em direcção ao espaço exterior e parte em direcção à superfície. Uma vez que o balanço de energia da superfície do solo tem de ser mantido, isto deve traduzir-se num aumento da temperatura superficial.

2. Reservatórios e Fluxos de CO_2

A evolução dos níveis de dióxido de carbono na atmosfera só é conhecida com razoável certeza desde há 25 anos [2], quando começaram as primeiras medições pre-

* Actualmente no Departamento de Física da Universidade de Aveiro.

cisas em Mauna Loa (Pacífico Norte). Pode afirmar-se a partir destes registos que o teor atmosférico do CO_2 tem vindo a aumentar com um ritmo aproximadamente exponencial desde o nível base de 292 ppmv de antes da Revolução Industrial até aos 340 ppmv actuais, isto em termos de valores médios anuais, já que se registam oscilações relacionadas com as variações sazonais da actividade foto-sintética da biosfera.

Podem obter-se indicações até épocas muito mais recuadas, através da medição de razões entre as concentrações de diversos isótopos de carbono presentes em materiais muito antigos: por exemplo em pólen pré-histórico ou em anéis de troncos de árvores milenárias.

Na figura 2 estão representadas, desde a época da Revolução Industrial, estimativas em Gt C/ano ($1 \text{ Gt C} = 10^9 \text{ Kg}$ carbono) dos fluxos anuais de carbono para a atmosfera e das contribuições parciais devidas às diferentes actividades humanas.

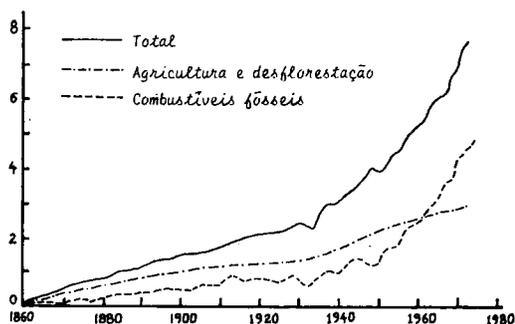


Fig. 2—Fluxo de carbono para a atmosfera, discriminando as duas componentes de origem humana.

O aumento verificado nos últimos 100 anos deve-se principalmente a três factores: em primeiro lugar, a queima de combustível de origem fóssil — carvão, petróleo, gás natural; em segundo lugar, a desflorestação, que por decaimento da matéria orgânica vegetal liberta grande parte do carbono nela armazenado; e por último as práticas agrícolas, através da redução do conteúdo em carbono dos solos.

Nem todo o carbono libertado para a atmosfera aí fica retido, sendo a quantidade que persiste cerca de 50 % do total. Este facto deve-se a que a atmosfera não é o único reservatório de carbono existente na Terra. Com efeito, existe carbono armazenado também nos sedimentos (por exemplo, entra na composição dos calcários), na biosfera (compostos orgânicos) e na hidrosfera (iões bicarbonato em solução, carbonato de cálcio nas conchas e esqueletos da fauna marinha). Entre os diversos reservatórios existem sempre fluxos de carbono. Porém, no caso dos sedimentos, o tempo médio de residência de um átomo de carbono nesse reservatório é tão elevado que numa escala de tempo de algumas centenas de anos este não nos vai interessar na compreensão dos processos que determinam a concentração atmosférica de CO_2 . Na biosfera, os principais fluxos de carbono dão-se com a atmosfera e constituem os processos opostos de foto-síntese e respiração. No caso da hidrosfera vão-nos interessar os processos relativos à dissolução do carbono atmosférico no oceano, formando iões bicarbonato, e à reconversão destes em dióxido de carbono, processos que são controlados pela pressão parcial de CO_2 na atmosfera e pela concentração de iões no oceano.

A situação pré-industrial era a de um equilíbrio dinâmico entre os diversos reservatórios, equilíbrio que tem vindo a ser perturbado pelas emissões, de origem humana, de carbono para a atmosfera.

Na predição dos níveis futuros de CO_2 na atmosfera são utilizados modelos matemáticos que descrevem o sistema que atrás analisámos; são admitidos cenários de desenvolvimento económico da humanidade que vão servir para simular a função perturbadora das emissões do CO_2 . Mesmo admitindo evoluções muito restritivas do consumo de combustíveis fósseis, por exemplo da ordem de 2,0 % ao ano — enquanto que nas últimas décadas tem sido 4,3 % ao ano — todos os modelos prevêm, pelo menos, a duplicação do teor atmosférico de CO_2 algures entre 2050 e 2150, conforme os valores iniciais pré-

industriais admitidos para os diversos reservatórios e conforme as características dos modelos e dos cenários utilizados.

3. Modelos Climáticos

Uma larga variedade de modelos matemáticos do clima foi desenvolvida para estimar as consequências do aumento do efeito de estufa causado pelas emissões de CO_2 e até de outros gases, nesse respeito menos importantes, tais como o CH_4 , CCl_4 , N_2O e os clorofluorcarbonetos.

De entre esses modelos, os mais simples são os ditos «radiativo-convectivos», que se baseiam na equação do balanço de calor do sistema climático:

$$\langle \delta Q / \delta t \rangle = S_0 (1 - \langle \alpha \rangle) / 4 - \langle E \rangle$$

onde $\delta Q / \delta t$ representa o armazenamento de calor; S_0 a constante solar, que é uma medida da intensidade da radiação solar no topo da atmosfera; α designa o albedo terrestre, que representa a razão entre o fluxo de radiação incidente no Globo e o fluxo por este reflectido; E , a emissão infravermelha terrestre; e $\langle \rangle$ representa uma média anual e sobre todo o Globo. Consideram-se pois apenas variações verticais das grandezas. O primeiro termo do lado direito é a energia absorvida pelo globo; o factor $1/4$ provém da razão entre a superfície que a Terra expõe à radiação solar, πR^2 (R é o raio médio da Terra) e a superfície total da Terra pela qual é distribuída a radiação, $4\pi R^2$.

No cálculo do albedo terrestre tomam-se em conta a nebulosidade, a transparência da atmosfera e as diferenças de reflectividade entre os diversos tipos de solos e/ou coberturas vegetais. A este respeito devemos referir que um mecanismo importante é o que toma em conta a reflectividade muito grande dos gelos, 0,60, em relação à média das regiões não geladas, 0,35. Quando a temperatura sobe há uma diminuição das extensões geladas e conseqüentemente o albedo global terrestre diminui: há mais radiação solar absorvida e portanto a

temperatura sobe ainda mais — o que por sua vez tende a reduzir ainda mais as regiões cobertas de gelos. Trata-se neste caso de um processo de retroacção positiva, mas no sistema climático existem retroacções de carácter negativo como é provavelmente o caso da nebulosidade.

No que respeita à emissão infravermelha, o vapor de água é o absorvente mais importante, logo seguido do dióxido de carbono, mas outros constituintes pouco frequentes na atmosfera têm também a sua contribuição como é o caso do N_2O , do CH_4 e dos clorofluormetanos. A concentração destes últimos tem vindo a aumentar paralelamente à do CO_2 em virtude da actividade industrial e agrícola.

Num sistema climático em equilíbrio, $\langle \delta Q / \delta t \rangle = 0$, isto é, não se verifica armazenamento de energia no interior do sistema e portanto a absorção de energia solar é equilibrada pela emissão de radiação infravermelha. Sabendo então como variam com a temperatura a emissão e absorção é possível determinar a elevação de temperatura correspondente a um certo aumento da retenção da radiação de origem terrestre, causada pelo excesso de dióxido de carbono.

Os modelos climáticos mais complexos tomam em conta não apenas o perfil vertical médio global anual mas toda a estrutura tridimensional da atmosfera, os seus movimentos, e a geografia e hidrografia da superfície da Terra. São então ditos modelos climáticos de circulação geral e em muitos aspectos são semelhantes aos usados na previsão meteorológica do tempo.

Outro tipo de modelos climáticos são os modelos paleoclimáticos. Estes modelos procuram na história do clima terrestre um período em que as temperaturas médias tenham sido superiores às actuais; o estudo das condições nessas épocas — tais como o Altitermico, 4000 a 8000 A.C. — é feito através da análise de certas fontes históricas, como depósitos de pólen no fundo de lagos, anéis de crescimento em troncos de árvores, etc.

4. Avaliação das Consequências

No estado actual de refinamento a que os modelos climáticos chegaram há concordância em que uma duplicação do teor atmosférico de CO₂ provocaria uma subida de 2 a 3 K na temperatura superficial *média*; na atmosfera o aquecimento diminui com a altitude e cerca dos 15 Km (limite da troposfera) passa a registar-se arrefecimento em relação à situação actual.

Estas alterações provocam respostas dos diversos subsistemas climáticos, respostas que produzem quase sempre efeitos sobre as condições de vida da Humanidade [3], como vamos ver de seguida.

análises do Período Altitérmico mostram que nas latitudes médias houve incremento médio na precipitação, enquanto que por outro lado os modelos de circulação geral prevêm um deslocamento para os pólos das bandas latitudinais onde em média a evaporação é maior do que a precipitação, isto é, das cinturas desérticas subtropicais. Isto seria consequência do decréscimo da diferença de temperatura entre os pólos e o equador que está na origem dos movimentos atmosféricos. Efectivamente, prevê-se que o aumento de temperatura à superfície será maior nas regiões de latitudes elevadas (de 4 K a 5 K) do que nas zonas equatoriais (cerca de 1 K) — uma distribuição geográfica pro-

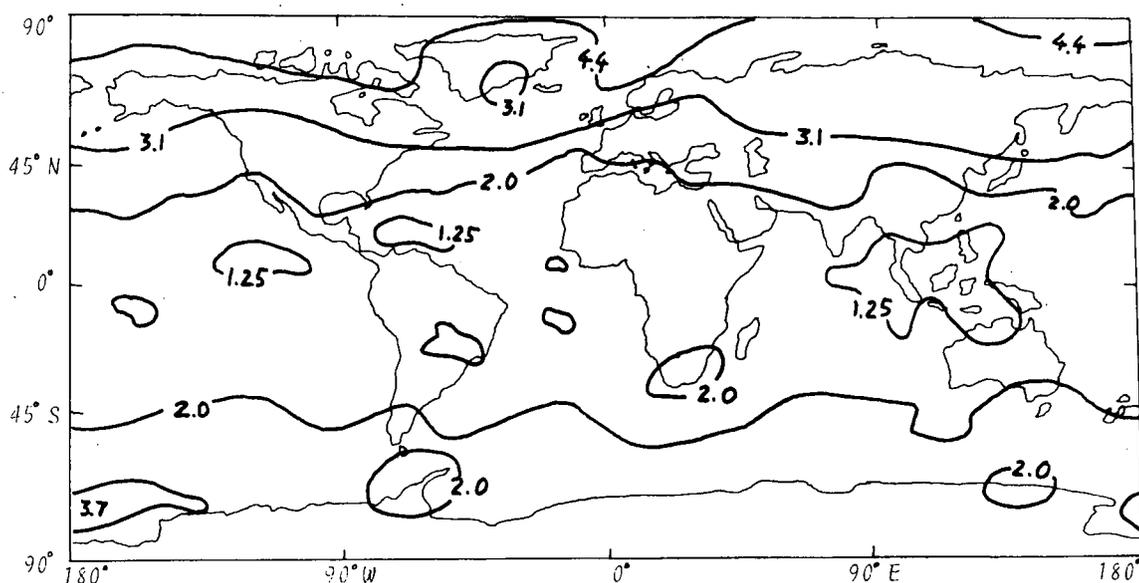


Fig. 3 — Distribuição do aumento de temperatura média anual sobre o globo, estimada para uma concentração atmosférica de CO₂ dupla da actual.

4.1. Efeitos na Atmosfera

A elevação da temperatura permite que quantidades maiores de água sejam introduzidas no ciclo hidrológico, isto é, na intensidade e localização das zonas de precipitação, evaporação e transporte de vapor de água. Relacionados com este problema existem porém resultados contraditórios. Com efeito,

vável do aquecimento superficial está representada na figura 3.

A acreditar nestes resultados, prevê-se no caso de Portugal a deslocação do anticiclone dos Açores para uma posição mais a norte, levando a condições meteorológicas de Inverno semelhantes às que actualmente se verificam no Verão, o que evidentemente arrastaria consigo condições de seca e problemas de desertificação.

4.2. Efeitos na Criosfera

A prevista elevação das temperaturas à superfície, elevação que é maior precisamente nas regiões com maior cobertura de gelos, teria três consequências principais, que vamos analisar de seguida. Para já haveria uma retracção geral dos glaciares e das regiões cobertas de gelos. Na verdade prevê-se que parte do Oceano Ártico fique livre de gelos, facilitando a navegação, outro tanto acontecendo à maior parte das massas de gelo marítimo da Antártida. Intimamente ligada a estes factos estaria uma subida do nível do mar de 2 a 10 m, provocando a inundação de grandes áreas costeiras, onde se localizam muitas das maiores concentrações populacionais.

A par destes efeitos que podemos considerar negativos, a retracção dos glaciares e em particular a diminuição das zonas onde o solo se encontra gelado em profundidade («permafrost») traria a libertação de muitos solos com possibilidades agrícolas.

4.3. Efeitos na Hidrosfera

Se bem que em certas áreas do Oceano a elevação de temperatura possa ser benéfica é quase certo que em vista da relação íntima que existe entre o regime de ventos e a circulação oceânica, alterações na circulação geral da atmosfera provocariam mudanças nas correntes oceânicas e nas áreas de afundamento de águas superficiais e de afloramento de águas profundas. Ora estas últimas são de muita importância para a indústria piscatória, visto que o ressurgimento de águas carregadas de nutrientes vindos do solo oceânico é determinante de uma intensa actividade biológica nessas áreas. Importa lembrar que este fenómeno é a razão da abundância de peixe na nossa orla costeira ocidental e não é certamente necessária mais ênfase nos problemas resultantes do desaparecimento ou enfraquecimento dessas zonas de ressurgimento.

4.4. Efeitos na Biosfera

Devido à dependência vital dos grandes eco-sistemas terrestres em relação ao clima,

aqueles vão responder às variações climáticas com mudanças na sua produtividade, posição geográfica e área que ocupam.

Existem vários modelos que se debruçam sobre aspectos particulares do comportamento da biosfera. Uma classe destes modelos é a que se dedica à previsão da produtividade dos eco-sistemas naturais em função da temperatura e precipitação médias anuais. Socorrendo-se de índices climáticos do mesmo género, outros modelos há que tentam prever a área ocupada e a distribuição no planeta. Devido à grande gama de espécies vegetais, ao seu crescimento depender dos valores extremos da temperatura e humidade e não apenas de valores médios, à imperfeição dos modelos climáticos atmosféricos que os fornecem e ainda aos diferentes tipos de solos, as indicações obtidas são ainda de carácter muito geral, não sendo dignas de confiança a nível regional [4]. Tendo em conta esta reserva, podemos no entanto indicar que estes modelos prevêem, em caso de duplicação do teor atmosférico de dióxido de carbono, uma deslocação geral para os pólos dos principais eco-sistemas: por ordem, a partir do equador, Tropicais, Subtropicais, Temperados Quentes, Temperados Frios e Boreais. A par disto, um desaparecimento quase completo das tundras, um avanço dos desertos e a substituição de muitas florestas tropicais por bosques temperados.

Os modelos mais complexos até agora construídos referem-se a culturas como o arroz, milho, trigo e outras gramíneas, entrando em conta com as características particulares destas espécies e das suas necessidades em radiação, água e temperatura através de toda a época de crescimento. Se a nível regional as conclusões são incertas, a nível global parecem bem estabelecidos os seguintes resultados: maiores dificuldades quanto ao cultivo do milho; regiões favorecidas e outras desfavorecidas quanto ao cultivo do trigo; e melhoria das condições para a produção do arroz.

Em Portugal ainda não há trabalhos detalhados sobre o assunto, mas estudos feitos para a zona da CEE apontam para uma

diminuição da produtividade agrícola que é mais notória nos países mediterrânicos. Este agravamento está intimamente relacionado com a deslocação para norte da cintura subdesértica saariana.

5. Conclusão

A detecção de um aumento da temperatura média superficial do globo, ligada ao incremento da concentração de CO₂ atmosférico, não pode ainda ser feita, pois que o *ruído de fundo* climático, isto é a variabilidade natural do clima, de ano para ano, é suficiente para obscurecer um eventual *signal* com aquela proveniência. No entanto, há uma tal concordância quanto à existência de perigos reais decorrentes do tipo de práticas em que actualmente se baseia o alto e crescente consumo energético da humanidade que os governos, alertados pela comunidade científica, começam a tomar consciência deste facto embora até ao momento não haja acções concretas a registar. A OMM (Organização Mundial de Meteorologia) passou recentemente a dedicar a estes assuntos um programa especial de investigação, pois que muito ainda há a fazer na elaboração de modelos que respondam às perguntas que qualquer analista de impacto deseja fazer: Onde vão acontecer mudanças climáticas? Com que intensidade? Quais as consequências para a biosfera, a hidrosfera e o meio ambiente em geral? Há meios de impedir ou alterar a marcha do processo? As respostas a estas perguntas influenciam, sem excepção, o futuro de todos nós...

BIBLIOGRAFIA

- [1] R. J. F. AUIAR — «Alterações antropogénicas do clima», tese de Estágio Científico, Faculdade de Ciências de Lisboa, 1985.
- [2] H. I. SCHIFF — «A review of the carbon dioxide greenhouse problem» *Planetary Space Science*, n.º 29, págs. 935-950, 1981.
- [3] J. WILLIAMS (Ed.) — «CO₂, Climate & Society», IIASA Series, n.º 1, J. Wiley & Sons, 1978.
- [4] B. SANTER — «The use of general circulation models in climate impact analysis», *Climatic Change*, n.º 7, págs. 71-93, 1985.

II SEMANA DE MAGNETISMO

Com o apoio do INIC, JNICT, Secretaria de Estado do Ensino Superior e do Centro e Laboratório de Física da Universidade do Porto, realiza-se, de 6 a 10 de Outubro de 1986, um *Curso Livre sobre Magnetismo e Propriedades Magnéticas dos Materiais*. Em seminários, a cargo de físicos nacionais e estrangeiros, serão versados os temas:

- Magnetismo na Indústria Moderna;
- Paleomagnetismo;
- Processos Dinâmicos;
- Interações Competitivas.

O curso é aberto a universitários e a profissionais ligados à indústria, podendo os participantes contactar os grupos que, no Centro e Laboratório de Física do Porto, realizam trabalho de investigação em Magnetismo.

Haverá um número limitado de bolsas para participantes ligados ao ensino superior.

Os interessados poderão contactar a Comissão Organizadora (J. M. Machado da Silva, E. J. Seabra Lage, J. F. D. Montenegro), até 1 de Outubro de 1986 (telfs. 310290, 317717, 317751).

SOCIEDADE EUROPEIA DE FÍSICA

Pela primeira vez esteve em Portugal o «EPS traveling lecturer», este ano o Prof. H. Haken, Stuttgart (RFA). O Prof. Haken proferiu duas palestras em Lisboa, no Centro de Física da Matéria Condensada (Synergetics, an overview; Theory of non-equilibrium phase transitions, slaving principle and order parameters); no Porto, além da primeira daquelas palestras, apresentou o seminário «Pattern formation in systems far from thermal equilibrium».

Estatutos da Sociedade Portuguesa de Física

CAPÍTULO I

FINS, SEDE E ANO SOCIAL

Artigo 1.º

A Sociedade Portuguesa de Física tem por objectivo promover, cultivar, desenvolver e divulgar, em Portugal, o estudo, o ensino, a investigação e as aplicações da Física e das Ciências com esta mais directamente relacionadas, uma e outras Ciências consideradas como fenómeno cultural e como agente dinamizador e condicionante do desenvolvimento económico nacional.

Para conseguir este objectivo a Sociedade Portuguesa de Física procurará:

- a) Realizar sessões científicas;
- b) Editar publicações que dêem conta de trabalhos relativos à Física e às Ciências afins;
- c) Organizar e manter uma biblioteca;
- d) Estabelecer contacto com sociedades científicas nacionais e estrangeiras e filiar-se nas uniões internacionais da sua especialidade;
- e) Fazer-se representar em congressos e outras reuniões científicas internacionais;
- f) Promover visitas de carácter científico no País e no Estrangeiro;
- g) Tomar quaisquer outras iniciativas julgadas convenientes para o progresso do ensino, da investigação e da aplicação da Física em Portugal;
- h) Contribuir para o estabelecimento de mecanismos de prospecção, equacionamento e solução de problemas do sector produtivo no domínio da Física e das Ciências afins.

Artigo 2.º

A Sociedade Portuguesa de Física tem a sua Sede em Lisboa, Avenida da República 37-4.º, Freguesia de Nossa Senhora de Fátima, e delegações em qualquer ponto do território nacional onde se justifiquem.

Por «delegação» entende-se uma representação permanente da Sociedade com actividade própria.

§ único — Estão criadas as Delegações de Coimbra, de Lisboa e do Porto.

Artigo 3.º

O ano social começa em 1 de Janeiro e termina em 31 de Dezembro.

CAPÍTULO II

SÓCIOS

Artigo 4.º

A Sociedade Portuguesa de Física tem quatro categorias de sócios:

- a) Sócios honorários;
- b) Sócios beneméritos;
- c) Sócios efectivos;
- d) Sócios estudantes.

Serão «sócios honorários» os indivíduos, nacionais ou estrangeiros, aos quais, pela sua categoria científica a Sociedade entenda dever conferir este testemunho de consideração.

Serão «sócios beneméritos» as pessoas singulares ou colectivas que, de modo notável, tenham contribuído para o progresso da Sociedade ou para os fins a que esta se propõe.

Serão «sócios efectivos» os indivíduos, nacionais ou estrangeiros, cuja actividade profissional se processe no domínio da Física ou de Ciências afins e que possuam um curso superior ou tenham dado provas de ter contribuído para o progresso dessas Ciências ou para a realização de outros fins da Sociedade.

Serão «sócios estudantes» os que frequentam o ensino superior e se interessam pelo estudo da Física ou das Ciências afins.

§ 1.º — O número de sócios de qualquer categoria não será limitado.

§ 2.º — São considerados sócios fundadores as pessoas que, reunindo as condições previstas neste artigo, aderiram à formação da Sociedade, manifestando o seu consentimento por escrito antes da realização da primeira assembleia geral da Sociedade.

Artigo 5.º

A eleição de sócios honorários será feita, em assembleia geral, por proposta do conselho directivo da Sociedade, por maioria de dois terços dos votos dos sócios presentes e dos que tenham feito uso do direito de voto por correspondência.

Artigo 6.º

A admissão de sócios beneméritos é da competência do conselho directivo, deliberada por maioria de dois terços dos seus membros efectivos.

Artigo 7.º

A admissão de sócios efectivos e estudantes é feita pela direcção da delegação respectiva, devendo a proposta ser subscrita por dois sócios efectivos em pleno uso dos seus direitos.

§ único — Depois de aprovadas, as propostas serão enviadas para o secretariado-geral.

Artigo 8.º

Os sócios honorários, beneméritos e estudantes têm direito a voto, mas não podem ser eleitos para os órgãos directivos da Sociedade.

§ único — Um sócio benemérito, quando pessoa colectiva, credenciará um representante seu para exercício do correspondente direito de voto.

Artigo 9.º

Todos os sócios têm direito a participar nas actividades da Sociedade, a receber as publicações gratuitas e a receber informação sobre as publicações não gratuitas editadas ou patrocinadas pela Sociedade.

§ 1.º — Todos os sócios têm o direito a receber gratuitamente a Gazeta de Física.

§ 2.º — O preço de capa das publicações não gratuitas editadas pela Sociedade será fixado pelo secretariado-geral, sobre proposta da direcção da delegação que promover a publicação ou da comissão redactorial, conforme aplicável.

§ 3.º — Atendendo à descentralização das actividades da Sociedade pelas suas delegações, a divulgação das publicações referidas neste artigo será, em princípio, efectuada no âmbito de cada delegação.

Artigo 10.º

O valor da quota anual dos sócios efectivos e dos sócios estudantes é fixado pela assembleia geral da Sociedade, em sessão ordinária ou em sessão extraordinária expressamente convocada para esse fim.

§ 1.º — Os sócios honorários são isentos do pagamento de quota.

§ 2.º — O valor da quota anual dos sócios beneméritos é fixado, individualmente, por livre iniciativa de cada sócio, em comunicação ao secretário-geral da Sociedade.

§ 3.º — Reduções de quota a sócios de outras sociedades científicas, serão estabelecidas em base de reciprocidade, nos termos de acordos a negociar pelo conselho directivo.

Artigo 11.º

O não pagamento da quota no decurso de dois anos consecutivos determinará a perda da qualidade de sócio se, avisado, não satisfizer as quotas em atraso no prazo de dois meses.

§ 1.º — A readmissão como sócio é da competência exclusiva do conselho directivo, que terá de se pronunciar sobre cada caso individual.

§ 2.º — Em todos os casos a readmissão implicará o pagamento de jóia, de valor correspondente a duas quotas anuais.

Artigo 12.º

Os sócios devem abster-se de exercer quaisquer actividades contrárias aos interesses da Sociedade.

CAPÍTULO III

ADMINISTRAÇÃO

Artigo 13.º

Cada uma das delegações terá uma mesa de assembleia geral regional e uma direcção de delegação.

Artigo 14.º

A mesa da assembleia geral regional é constituída por um presidente, por um primeiro-secretário e por um segundo-secretário.

§ 1.º — Ao presidente da assembleia geral regional compete convocar e dirigir os trabalhos da assembleia.

§ 2.º — Ao primeiro-secretário compete elaborar as actas, dar execução ao expediente da mesa e substituir o presidente nos seus impedimentos.

§ 3.º — O segundo-secretário coadjuva o primeiro-secretário nas suas funções e substitui-o nos seus impedimentos.

Artigo 15.º

Compete às assembleias gerais das delegações:

- a) Eleger e exonerar os órgãos directivos da delegação;
- b) Aprovar o relatório anual da direcção da delegação;
- c) Discutir propostas de ordem administrativa e outras propostas de interesse regional.

Artigo 16.º

A direcção de cada delegação é constituída por cinco elementos:

- a) Presidente;
- b) Secretário;
- c) Tesoureiro;
- d) Dois Vogais.

§ 1.º — Ao presidente da direcção compete orientar e coordenar a actividade da delegação, em estreita ligação com o conselho directivo e o secretariado-geral da Sociedade.

§ 2.º — Ao secretário compete coadjuvar o presidente nas suas funções, substituí-lo quando necessário e manter organizado o sector administrativo da delegação.

§ 3.º — Ao tesoureiro compete receber as receitas da delegação, pagar as respectivas despesas, manter actualizados os livros de registo das despesas e receitas, e apresentar o balanço anual das contas na assembleia geral regional.

§ 4.º — Aos vogais compete assistir nas tarefas comuns da direcção e, nomeadamente, realizar as actividades específicas que, no seu âmbito, lhes forem cometidas.

§ 5.º — A direcção de uma delegação será considerada demissionária quando três dos seus membros, ou o presidente e o secretário, apresentem pedidos

de demissão, sejam exonerados das suas funções ou expulsos da Sociedade.

§ 6.º — No caso de demissão isolada de um membro de uma direcção de delegação, o cargo será preenchido por uma eleição específica, em termos paralelos aos estipulados para a eleição da direcção, em data a fixar pela assembleia geral regional.

Artigo 17.º

Compete às direcções das delegações resolver, à escala regional, sobre os problemas de carácter científico e administrativo decorrentes da realização dos fins da Sociedade. Em particular:

- a) Dar execução às deliberações da respectiva assembleia regional;
- b) Solicitar à mesa da respectiva assembleia regional a convocação de assembleias extraordinárias;
- c) Promover e realizar iniciativas consentâneas com os fins próprios da Sociedade, decorrentes da matéria do Art.º 1.º;
- d) Decidir quanto à admissão de novos sócios efectivos ou estudantes.

§ único — As delegações deverão manter o secretariado-geral informado das suas actividades e enviar-lhe cópia do relatório anual.

Artigo 18.º

Os órgãos nacionais da Sociedade são:

- a) A mesa da assembleia geral da Sociedade;
- b) O conselho directivo da Sociedade;
- c) O secretariado-geral da Sociedade;
- d) O conselho fiscal.

§ único — Estes órgãos funcionam na sede da Sociedade.

Artigo 19.º

A mesa da assembleia geral da Sociedade é constituída por um presidente, por um primeiro-secretário e por um segundo-secretário.

§ 1.º — Ao presidente da mesa da assembleia geral da Sociedade compete convocar e dirigir os trabalhos da assembleia.

§ 2.º — Ao primeiro-secretário compete elaborar as actas, dar execução ao expediente da mesa e substituir o presidente nos seus impedimentos.

§ 3.º — O segundo-secretário coadjuva o primeiro-secretário nas suas funções e substitui-o nos seus impedimentos.

Artigo 20.º

Compete à assembleia geral da Sociedade:

- a) Aprovar as linhas de orientação das actividades da Sociedade, propostas pelo conselho directivo;
- b) Aprovar o relatório e as contas relativas às actividades gerais e o planeamento das despesas a efectuar pela Sociedade;

- c) Deliberar quanto à admissão de sócios honorários;
- d) Eleger a mesa da assembleia geral da Sociedade, os respectivos secretário-geral, secretários-gerais adjuntos e tesoureiro e o conselho fiscal;
- e) Aprovar a exoneração de sócios ou a sua expulsão quando haja motivos para tal, salvo o caso previsto no Art.º 11.º;
- f) Aprovar alterações dos estatutos;
- g) Criar e extinguir divisões técnicas;
- h) Dissolver a Sociedade nos termos do Capítulo VII dos presentes estatutos.

Artigo 21.º

O conselho directivo da Sociedade é constituído por:

- a) Presidente da Sociedade;
- b) Presidentes das delegações;
- c) Secretariado-geral da Sociedade;
- d) Secretários das delegações.

Artigo 22.º

Compete ao conselho da Sociedade:

- a) Propor à assembleia geral as linhas gerais de orientação das actividades da Sociedade.
- b) Promover as medidas adequadas para a realização dos fins da Sociedade;
- c) Submeter à assembleia geral o relatório trienal e contas;
- d) Dar execução às deliberações da assembleia geral da Sociedade;
- e) Empreender a criação de divisões técnicas, sujeita a ratificação pela assembleia geral da Sociedade, nos termos do Art.º 46;
- f) Assegurar a harmonização das actividades das divisões técnicas com as das delegações;
- g) Solicitar à mesa da assembleia geral da Sociedade a convocação de sessões extraordinárias;
- h) Propor à assembleia geral da Sociedade a admissão de sócios honorários;
- i) Deliberar sobre a admissão de sócios beneméritos;
- j) Propor à assembleia geral da Sociedade a exoneração de sócios ou a sua expulsão quando haja motivos para tal, em particular nos casos abrangidos pelo Art.º 12.º, salvo o caso previsto no Art.º 11.º.
- k) Propor à assembleia geral da Sociedade a dissolução da Sociedade;
- l) Estabelecer o estatuto editorial das publicações periódicas da Sociedade e nomear os respectivos corpos directivos.

§ único — Para todos os efeitos legais a Sociedade fica obrigada pela assinatura de dois membros do Secretariado-Geral.

Artigo 23.º

O presidente da Sociedade é eleito, de entre sócios de reconhecidos prestígio, idoneidade e competência profissionais, por maioria de dois terços dos membros do conselho directivo referidos nas alíneas b) a d) do Art.º 21.º

§ único — O mandato do presidente cessa no termo da vigência do conselho directivo que o elegeu.

Artigo 24.º

De entre os presidentes das delegações será eleito, por maioria simples dos votos dos membros do conselho directivo, o vice-presidente da Sociedade.

Artigo 25.º

Compete ao presidente da Sociedade representar a Sociedade, convocar e presidir às reuniões do conselho directivo e empreender acções que contribuam para o reforço da influência da Sociedade e melhor adequação dos meios aos fins prosseguidos ao abrigo do Art.º 1.º

§ único — Compete ao vice-presidente substituir o presidente nos seus impedimentos ou até sua nomeação.

Artigo 26.º

As deliberações do conselho directivo, à excepção dos casos abrangidos pelos Art.ºs 6.º e 23.º, são tomadas por maioria simples dos votos dos membros presentes, cabendo ao presidente o voto de desempate.

§ 1.º — O conselho directivo não poderá deliberar sem a presença de pelo menos metade dos seus membros.

§ 2.º — Ao secretário-geral adjunto para os assuntos nacionais compete elaborar as actas das reuniões do conselho directivo.

Artigo 27.º

O Secretariado-geral da Sociedade é constituído por:

- a) Secretário-geral;
- b) Secretário-geral adjunto para os assuntos nacionais;
- c) Secretário-geral adjunto para os assuntos internacionais;
- d) Tesoureiro.

Artigo 28.º

Ao secretário-geral compete:

- a) Providenciar para tornar efectivas as decisões do conselho directivo;
- b) Estabelecer a ligação entre o conselho directivo e as delegações;
- c) Assegurar, de acordo com as decisões do conselho directivo, os contactos com as sociedades científicas, nacionais e estrangeiras, e as uniões internacionais de que a Sociedade seja membro;
- d) Propor ao conselho directivo a política financeira da Sociedade;

- e) Manter o conselho directivo informado das actividades das divisões técnicas;
- f) Orientar superiormente os serviços de secretaria da Sociedade;
- g) Dirigir os serviços da biblioteca;
- h) Coordenar o serviço de publicações da Sociedade.

Artigo 29.º

Aos secretários-gerais adjuntos compete coadjuvar o secretário-geral da Sociedade, nos respectivos pelouros, respectivamente, assuntos nacionais e assuntos internacionais.

Artigo 30.º

Ao tesoureiro compete receber as receitas da Sociedade, pagar as respectivas despesas, manter actualizados os livros de registo das despesas e receitas e apresentar os balanços anual e trienal das contas na assembleia geral da Sociedade.

§ 1.º — As delegações regionais deverão proceder à cobrança das quotas dos sócios da delegação.

§ 2.º — A orientação geral relativa à retenção de receitas pelas direcções das delegações, a título de fundo de maneo, será estabelecida pelo conselho directivo.

Artigo 31.º

O conselho fiscal é constituído por um presidente, um secretário e um relator.

Artigo 32.º

Compete ao conselho fiscal examinar a escrita da Sociedade, relatório e contas do conselho directivo, antes de serem presentes à assembleia geral da Sociedade, e dar o seu parecer sobre os mesmos.

§ 1.º — Ao presidente do conselho fiscal compete convocar e dirigir as reuniões deste conselho e representá-lo em todos os actos inerentes à sua existência legal.

§ 2.º — Ao secretário e ao relator compete coadjuvar o presidente e redigir as actas e todas as consultas e pareceres.

Artigo 33.º

O presidente do conselho fiscal ou o seu secretário, por sua delegação, poderá assistir, a título consultivo, às reuniões do conselho directivo, quando se trate de tomar deliberações de carácter financeiro.

CAPÍTULO IV

PATRIMÓNIO DA SOCIEDADE

Artigo 34.º

O património da Sociedade Portuguesa de Física é constituído pelas quotas dos sócios, pelo produto

da venda de publicações, por subsídios e donativos oficiais ou particulares, pelos bens e direitos que adquirir e por qualquer rendimento dos bens sociais da Sociedade.

§ 1.º — Os fundos da Sociedade, à excepção dos abrangidos pelo parágrafo seguinte, deverão ser depositados num banco à ordem do secretário-geral, de um secretário-geral adjunto e do tesoureiro. Para efectuar levantamentos são suficientes duas assinaturas.

§ 2.º — Os fundos postos à disposição das delegações regionais, nos termos do § 2.º, Art.º 30.º, deverão ser depositados num banco à ordem de três dos membros da direcção regional. Para efectuar levantamentos são suficientes duas assinaturas.

CAPÍTULO V

REUNIÕES DA SOCIEDADE

Artigo 35.º

As reuniões da Sociedade Portuguesa de Física poderão ser:

- a) Sessões científicas, destinadas à apresentação de relatórios, comunicações e conferências;
- b) Sessões públicas de divulgação das Ciências da sua especialidade e dos fins a que se propõe;
- c) Assembleias gerais regionais, realizadas em cada uma das delegações;
- d) Assembleias gerais da Sociedade.

Artigo 36.º

As assembleias gerais regionais reúnem, ordinariamente, no mês de Janeiro de cada ano, para apreciação do relatório da direcção da delegação, discussão de propostas de ordem administrativa e outras propostas de interesse regional.

§ 1.º — Trienalmente, a assembleia geral regional elegerá os órgãos directivos da delegação para o triénio seguinte.

§ 2.º — A assembleia geral regional reunirá extraordinariamente por iniciativa da respectiva mesa, por solicitação da direcção da delegação ou a requerimento de quinze sócios efectivos na plena posse dos seus direitos.

Artigo 37.º

A assembleia geral da Sociedade reúne trienalmente, no mês de Fevereiro, em sessão ordinária, para:

- a) Apreciação do relatório do conselho directivo da Sociedade e do parecer do conselho fiscal;
- b) Discussão de propostas de ordem administrativa e outras que transcendam os interesses de uma única delegação;

- c) Eleição da mesa da assembleia geral da Sociedade;
- d) Eleição do secretário-geral da Sociedade, dos secretários-gerais adjuntos e do tesoureiro;
- e) Eleição do conselho fiscal.

§ único — A assembleia geral da Sociedade reunirá, extraordinariamente, por iniciativa da respectiva mesa, por solicitação do conselho directivo da Sociedade ou a requerimento de vinte sócios efectivos na plena posse dos seus direitos.

Artigo 38.º

Para todas as sessões a que se refere o Art.º 36.º será enviado a cada sócio da delegação respectiva, com uma antecedência mínima de cinco dias, um aviso convocatório no qual serão discriminados o local, o dia e a hora da sessão e indicada a ordem do dia.

Artigo 39.º

Para as sessões a que se refere o Art.º 37 será enviado a cada sócio da Sociedade, com uma antecedência de quinze dias, um aviso convocatório no qual serão discriminados o local, o dia e a hora da sessão e indicada a ordem do dia.

Artigo 40.º

Às sessões a que se referem os Art.ºs 36.º e 37.º deve assistir, em primeira convocação, pelo menos metade dos sócios a que digam respeito; não havendo número suficiente de sócios, a assembleia reunirá em segunda convocação, trinta minutos depois da hora marcada nos avisos convocatórios, com qualquer número de sócios.

Artigo 41.º

Em relação às eleições a que se refere o Art.º 5.º, o parágrafo 1.º do Art.º 36.º e as alíneas c), d), e) do Art.º 37.º, admitir-se-á o voto por correspondência para os sócios impossibilitados de comparecer.

§ único — O voto por correspondência poderá ser extensivo a outras deliberações quando a mesa da assembleia geral (regional ou da Sociedade) o julgue conveniente.

Artigo 42.º

Todas as deliberações serão tomadas por maioria absoluta de votos, salvo as que se referirem à admissão de sócios honorários ou à alteração dos estatutos, as quais devem ser tomadas por maioria de, respectivamente, dois terços ou três quartos dos votos, bem como as que tenham por fim a dissolução da Sociedade, que devem ser tomadas por três quartos dos votos de todos os sócios.

§ 1.º — Em todas as eleições o voto será secreto.

§ 2.º — Em todas as outras votações o voto será expresso, excepto se, a pedido de algum dos presentes a assembleia determinar em contrário.

Artigo 43.º

No mês de Dezembro que antecede as reuniões ordinárias das assembleias gerais regionais destinadas às eleições, as mesas recebem candidaturas para os cargos directivos das respectivas delegações.

§ 1.º — As candidaturas podem ser apresentadas pela direcção da delegação ou por um grupo de dez sócios efectivos no pleno uso dos seus direitos.

§ 2.º — Se não tiver sido apresentada qualquer candidatura, a mesa da assembleia geral regional deverá tomar esse encargo.

Artigo 44.º

No mês de Janeiro que antecede a reunião ordinária da assembleia geral da Sociedade destinada às eleições da sua competência, a mesa recebe candidaturas para os cargos expressos nas alíneas *c)*, *d)* e *e)* do Art.º 37.º.

§ 1.º — As candidaturas poderão ser apresentadas pelo conselho directivo da Sociedade ou por vinte sócios efectivos no pleno uso dos seus direitos.

§ 2.º — Se não tiver sido apresentada qualquer candidatura, a mesa da assembleia geral da Sociedade deverá tomar esse encargo.

Artigo 45.º

As candidaturas referidas nos Art.ºs 43.º e 44.º serão comunicadas com o aviso convocatório, acompanhadas de curriculum sumário dos candidatos.

CAPÍTULO VI

ACTIVIDADE CIENTÍFICA

Artigo 46.º

Poderão ser criadas na Sociedade Portuguesa de Física «divisões técnicas», com o objectivo de agrupar os sócios com interesses científicos afins, independentemente da sua distribuição geográfica.

§ único — A proposta de criação de divisões técnicas competirá ao conselho directivo da Sociedade, tendo de ser ratificada na primeira assembleia geral da Sociedade posterior à formalização da proposta.

Artigo 47.º

Qualquer sócio se pode agregar a uma ou mais das divisões técnicas criadas.

Artigo 48.º

A coordenação das actividades das divisões técnicas compete a um membro designado pelo conselho directivo da Sociedade de entre os sócios que aderirem à divisão.

Artigo 49.º

As iniciativas e as actividades das divisões técnicas deverão ser previamente comunicadas ao secretário-geral, dependendo da aprovação do conselho directivo sempre que envolvam despesas para a Sociedade ou que estejam em relação com organismos estranhos à Sociedade.

Artigo 50.º

As divisões técnicas poderão funcionar como órgãos consultivos do conselho directivo da Sociedade.

Artigo 51.º

O conselho directivo da Sociedade, as direcções das delegações e o secretariado-geral podem criar grupos de trabalho ad-hoc, com carácter temporário, destinados ao estudo de problemas específicos.

CAPÍTULO VII

ALTERAÇÃO DOS ESTATUTOS, DISSOLUÇÃO E LIQUIDAÇÃO

Artigo 52.º

Os presentes estatutos só poderão ser alterados depois de um ano de entrada em vigor, por proposta aprovada em assembleia geral expressamente convocada para esse fim, observando-se o preceituado no artigo 42.º.

Artigo 53.º

A dissolução da Sociedade só pode ser considerada em assembleia geral expressamente convocada para o efeito, observando-se o preceituado no artigo 42.º.

§ 1.º — Uma vez decidida a dissolução da Sociedade, o espólio reverterá, com o mesmo encargo ou afectação, a favor de uma pessoa colectiva a designar pela assembleia geral que votar a dissolução, nos termos do artigo 166.º do Código Civil.

§ 2.º — Extinta a Sociedade, os poderes dos seus órgãos ficam limitados à prática dos actos meramente conservatórios e dos necessários quer à liquidação do património social, quer à ultimateção dos negócios pendentes, nos termos do artigo 184.º do Código Civil.

OLIMPIADAS DE FÍSICA

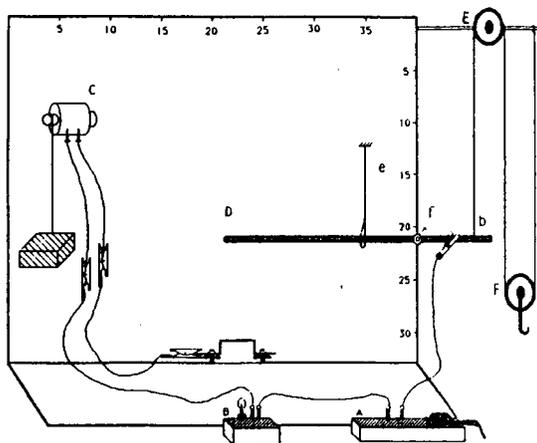
Realizaram-se, no período de 3 a 21 de Junho, as provas regionais das Zonas Norte, Centro e Sul. A exemplo do que foi feito anteriormente (Gaz. Fís. 8, 111 e 153), publica-se os textos das provas teórico-experimentais organizadas pelas diferentes delegações. Algumas informações adicionais sobre as provas e os resultados aparecem à frente, no Noticiário SPF.

Delegação do Porto (Zona Norte)

As provas constam de 4 fases: I, II, III, IV. O aluno só pode iniciar uma fase depois de ter completado as anteriores. Nas questões que envolvam respostas numéricas terá de indicar todos os cálculos efectuados.

Prova do 9.º ano

I. A montagem que a figura ilustra é uma das últimas invenções do Prof. Pardal.



1—Dos dispositivos A, B, C, D, E e F utilizados no seu invento indica aqueles cuja identificação não te oferece dúvidas (na fase II do trabalho terás oportunidade de completar esta resposta).

2—Sabendo que a barra *D* é metálica e pode girar em torno do eixo *f*, prevê como funciona o invento do Prof. Pardal.

II. 1—Com o material que te é fornecido põe a funcionar o invento do Prof. Pardal, indicando em que condições conseguiste o seu funcionamento.

2—Faz o esquema da montagem utilizada servindo-te dos símbolos convencionais.

3—Supõe que pretendias medir a intensidade da corrente que percorre o circuito eléctrico, bem como a diferença de potencial nos terminais da lâmpada. Indica, no esquema constituído em 2, como procederias.

4—Completa a montagem do invento de acordo com o esquema referido em 3.

5—Mede as grandezas referidas em 3 e apresenta os resultados em unidades SI.

III. 1—*a*) Determina o peso do corpo com que fizeste funcionar o invento.

b) De acordo com a resposta da alínea *a*) calcula:

—a intensidade da força exercida em E.

—a intensidade da força que o fio que liga E à barra D exerce sobre esta.

—a vantagem mecânica de D.

c) Explica porque razão se inclui o elástico *e* na montagem.

d) Calcula a variação da energia potencial do fardo quando é elevado pelo motor.

2—*a*) Calcula a resistência da lâmpada, de acordo com os dados obtidos em II—5.

b) Indica, justificando, se a barra D oferece grande resistência à passagem da corrente.

IV. Agora é a tua vez de seres inventor...

Constituirás um outro invento servindo-te por exemplo, total ou parcialmente, do material que utilizaste na montagem.

Poderás ainda utilizar outro material que está à tua disposição, em cima da mesa...

Prova do 11.º ano

I. A montagem que a figura ilustra é uma das últimas invenções do Prof. Pardal.

1—Dos dispositivos A, B, C, D, E e F utilizados no seu invento indica aqueles cuja identificação não te oferece dúvidas (na fase II do trabalho terás oportunidade de completar esta resposta).

2—Sabendo que a barra *D* é metálica e pode girar em torno do eixo *f*, prevê como funciona o invento do Prof. Pardal.

II. 1—Com o material que te é fornecido põe a funcionar o invento do Prof. Pardal, indicando em que condições conseguiste o seu funcionamento.

2—Faz o esquema da montagem utilizada, servindo-te dos símbolos convencionais.

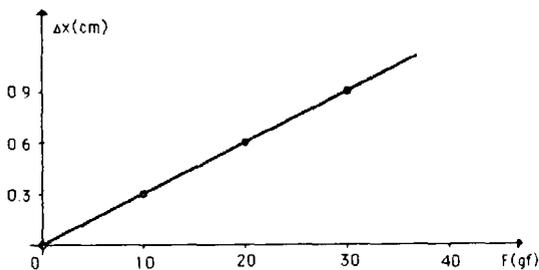
3—Pretende-se que determines a f.c.e.m. do motor bem como a sua resistência interna.

a) Descreve o que pretendes fazer.

b) Procede de acordo com o teu plano.

c) Determina os valores das grandezas acima referidas.

III. 1—O gráfico que se segue diz como estão relacionados os alongamentos Δx do elástico com a intensidade da força *F* que provoca esses alongamentos.



Para a situação do invento determina a intensidade da força:

a) que o elástico exerce sobre a barra.

b) que a barra exerce sobre o elástico.

2—*a)* Se colocares o elástico mais perto da extremidade esquerda da barra *D*, deverás aumentar ou diminuir o valor mínimo do peso a aplicar em *F*, para que o dispositivo continue a funcionar?

Justifica a resposta.

b) Coloca o elástico no último furo do lado esquerdo da barra *D*.

Faz as medidas que julgues necessárias para seres capaz de prever se o invento vai funcionar ou não. Porquê? Verifica experimentalmente a tua conclusão.

c) Admite, por hipótese que:

—o comprimento da barra *D* é 62 cm.

—a distância da extremidade esquerda da barra *D*, onde está colocado o elástico, ao eixo *f* é 50 cm.

—a distância do ponto *b* ao eixo *f* é 10 cm;

—o peso da carga em *F* (incluindo a roldana) é 200 g;

—a distância da barra, na posição horizontal, ao contacto eléctrico é 9 cm;

— a relação entre o alongamento do elástico e a força aplicada é dada pelo gráfico da figura 2.

Calcula o mínimo peso que deverá ter a barra *D* para que o dispositivo funcione.

3—*a)* Determina a variação da energia potencial do fardo quando é elevado ($g = 10\text{ms}^{-2}$).

b) Supõe que o fardo é elevado em duas situações diferentes: uma em que a intensidade da corrente é *I*, e outra em que a intensidade da corrente é *I'*, de modo que $I' > I$.

Indica, justificando, se podes prever em qual das situações é mais elevado o valor da velocidade de subida do fardo.

IV. Agora é a tua vez de seres inventor...

Constituirás um outro invento servindo-te por exemplo, total ou parcialmente, do material que utilizaste na montagem.

Poderás ainda utilizar outro material que está à tua disposição, em cima da mesa...

Delegação de Coimbra (Zona Centro)

Prova do 9.º ano

I. Determinação da constante de uma mola elástica.

Material utilizado:

1 mola elástica;

caixa de massas marcadas;

1 régua graduada.

a) Suspendendo massas marcadas na mola que te é fornecida, e com auxílio duma régua, obtém uma tabela dos valores dos alongamentos da mola em função da intensidade da força que lhe é aplicada.

b) Numa folha de papel milimétrico representa o gráfico da intensidade da força aplicada na mola em função dos alongamentos.

c) Com base na tabela de valores obtida calcula o valor da constante da mola.

II. Estudo do plano inclinado.

Material utilizado:

- 1 mola elástica;
- 1 carro;
- 1 tábua;
- 1 suporte para inclinar a tábua;
- 1 régua;
- 1 pequeno pedaço de fio.

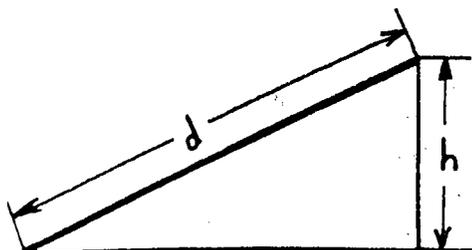
Como já terás observado algum dia, se pretendemos segurar um carro numa rampa, a intensidade da força que temos de aplicar no carro é tanto maior quanto maior for a inclinação da rampa.

Com auxílio da mola que estudaste e do restante material fornecido vais projectar e realizar uma experiência, cujo objectivo é determinar a intensidade da força que é necessário aplicar a um pequeno carro, para o manter em repouso num plano inclinado, em função da inclinação deste.

Para três inclinações diferentes do plano:

a) Compara a intensidade da força que a mola exerce sobre o carro com o peso deste, ($|F|/|P|$).

b) Calcula a razão h/d , onde h é a altura e d o comprimento do plano.

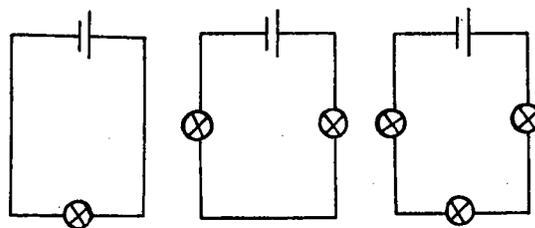


Que conclusões podes tirar do estudo realizado anteriormente?

c) Representa graficamente, num esquema desenhado na tua folha de papel, o peso do carro e a força que a mola exerce sobre o mesmo. (Escolhe e define uma escala para a representação da grandeza de vectores).

III. a) Diz em que consiste a corrente eléctrica.

b) Os esquemas da figura são constituídos por uma bateria de 12V e uma, duas ou três lâmpadas todas iguais e fabricadas para uma tensão de 6V.



Indica qual a montagem correcta e o que acontece nas outras duas, justificando a tua resposta.

Prova do 11.º ano

I. Aplicabilidade da lei de Ohm.

Pretende-se determinar a resistência dos filamentos de duas lâmpadas diferentes. Para tal dispões de:

- 1 lâmpada de 220V;
- 1 lâmpada de 14V;
- 1 fonte de tensão;
- 1 voltímetro;
- 1 amperímetro;
- 1 resistência variável.

a) Desenha o circuito que possibilita tal determinação.

b) Monta o circuito desenhado.

c) Para cada uma das lâmpadas faz um gráfico de variação de I com V , variando os valores de resistência no circuito.

d) Faz um comentário sobre os dois gráficos obtidos, nomeadamente sobre os valores encontrados para as resistências das lâmpadas. Procura uma justificação para os diferentes comportamentos encontrados.

II. a) Diz o que entendes por:

- i) força;
- ii) quantidade de movimento;
- iii) impulso de uma força;
- iv) impulsão de um fluido;
- v) pressão.

b) Considera um banhista que numa piscina salta de uma prancha para dentro de água. Pensa nas duas situações seguintes:

I) o banhista entra na água de cabeça, fazendo «um mergulho perfeito».

II) o banhista bate com a barriga fazendo «um mergulho de chapa».

Compara os efeitos sofridos pelo banhista no caso I) e no caso II) e tenta justificá-los com base nas noções de Física que conheces.

Delegação de Lisboa (Zona Sul)

Prova do 9.º ano

ACTIVIDADE 1 (50 min)

Dispõem, na vossa mesa de trabalho do seguinte material:

- Três resistências A, B e C;
- Uma fonte de alimentação, 9V;
- Fios de ligação;
- Um interruptor;
- Três copos de precipitação;
- Três termómetros;
- Uma proveta;
- Um recipiente com água.

1—Com o material disponível construam um circuito em série que lhes permita deter-

minar qual das três resistências A, B ou C tem um valor mais elevado.

Apresentem o raciocínio que lhes possibilitou seleccionar a resistência.

2—Sabendo que as três resistências são do mesmo material e que as respectivas secções são iguais, qual das três resistências prevêem que tenha maior comprimento.

Justifiquem a vossa previsão.

3—Das três resistências, qual dissipa menos energia?

Apresentem as justificações da vossa escolha.

ACTIVIDADE 2 (50 min)

Verifiquem se sobre a bancada de trabalho dispõem do seguinte material:

- Um suporte;
- Uma alavanca;
- Uma vela;
- Uma caixa de fósforos;
- Duas caixas de alumínio;
- Massas marcadas;
- Clips.

Com o material ao vosso dispor, montem um sistema constituído por uma alavanca, utilizando as massas marcadas para a colocar em equilíbrio.

1—Representem o esquema da montagem que realizaram.

2—Se aquecerem durante algum tempo um dos lados da alavanca, que sucede?

Justifiquem.

3—Que sucede, do ponto de vista do equilíbrio, se no mesmo ponto da alavanca for colocada a mesma massa depois de aquecida?

Justifiquem.

4—Substituam as massas marcadas pelas caixas de alumínio. Se necessário, restabeleçam o equilíbrio da alavanca.

Coloquem a vela a arder por baixo de uma das caixas.

4.1—Registem as vossas observações e interpretem-nas.

4.2—Representem a força que explica as observações realizadas na alínea anterior.

Expliquem como procederam e apresentem sucintamente o vosso raciocínio.

ACTIVIDADE 3 (50 min)

«CAIXA MISTÉRIO»

Têm perante vós uma caixa misteriosa. O trabalho da vossa equipa consiste em investigar as propriedades da caixa.

Ao longo da vossa investigação devem registar na folha de resposta, uma a uma, todas as conclusões, enunciando as leis ou princípios em que se basearam para as alcançar.

No final, devem ser capazes de fazer um esquema do interior da caixa.

Prova do 11.º ano

ACTIVIDADE 1 (75 min)

Encontra-se na vossa mesa de trabalho, o seguinte material:

- Uma calha com loop;
- Um dinamómetro de mola em hélice;
- Uma fita métrica;
- Um cronómetro;
- Uma esfera de aço e outra de madeira;
- Uma balança pesa-cartas.

Nota—Considerem a aceleração da gravidade local como sendo $9,8 \text{ m/s}^2$.

1—Determinem experimentalmente as alturas mínimas na calha, das quais se devem abandonar as esferas de ferro e de madeira para que descrevam o loop.

Descrevam o processo utilizado.

1.1—Comentem o facto de as alturas de abandono das esferas na calha, para descreverem o looping, serem diferentes.

2—Determinem experimentalmente as velocidades médias das bolas de aço e de madeira, após terem sido abandonadas do ponto mais alto da calha até à saída da mesma.

Descrevam o processo utilizado.

3—Determinem o vector velocidade instantânea, da bola de aço, ao abandonar a calha, depois de ter efectuado o loop.

4—Determinem o trabalho realizado para transportar com velocidade constante a esfera de aço ao longo do troço recto da calha até ao seu ponto mais alto.

Descrevam o processo utilizado.

5—Calculem o valor do trabalho realizado pela esfera ao descer o troço recto da calha.

6—Calculem a potência dinâmica da força aplicada na esfera de aço ao descer, do ponto mais alto da calha ao mais baixo.

7—Determinem experimentalmente a altura mínima da calha, de onde deve ser abandonada a esfera de aço, de forma que ela ao chocar com a esfera de madeira colocada no fundo do loop, a faça dar a volta.

8—Indiquem a condição para que toda a energia da esfera de aço seja transferida para a esfera de madeira.

ACTIVIDADE 2 (75 min)

Verifiquem se sobre a bancada de trabalho dispõem do seguinte material:

- Uma balança pesa-cartas;
- Fio condutor;
- Fios de ligação com bananas;
- Fios de ligação descarnados;
- Crocodilos;
- Massas marcadas;
- Tubo de mangueira;
- Folha de plástico transparente;
- Lâmpadas (3,5V);
- Suporte para pilhas;
- Uma pilha de 4,5V.

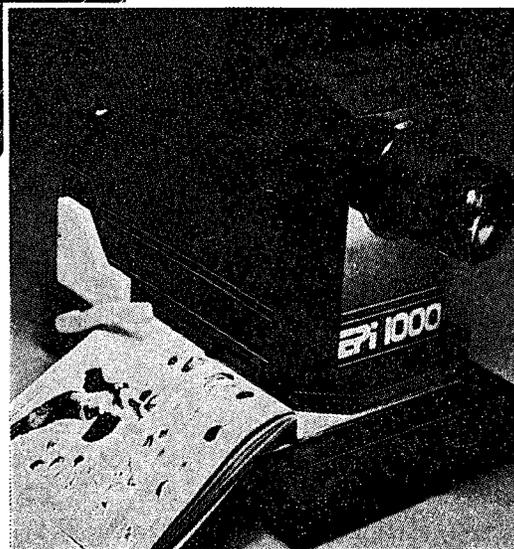
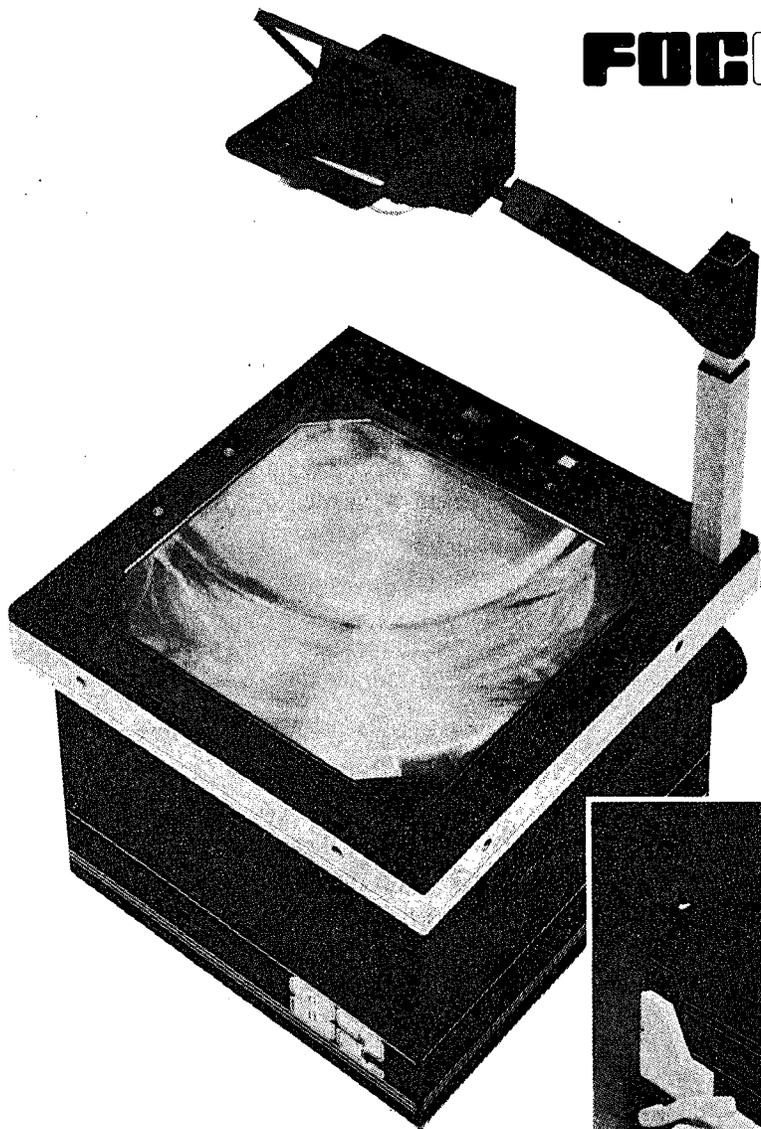
1—Seleccionem o necessário para montar um circuito que vos permita aumentar continuamente o brilho de duas lâmpadas ligadas em paralelo ao variar o número de massas colocadas no prato da balança pesa-cartas.

2—Representem o esquema de montagem.

3—Descrevam as razões que vos levaram a fazer a montagem realizada.

AUDIOVISUAIS

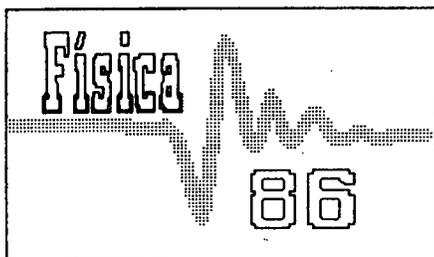
FOCLUMEN



MOBILIÁRIO E EQUIPAMENTO PARA ESCOLAS, SARL

Est. da Circunvalação / Portela da Ajuda
1495 Lisboa
Telef. 218 70 62
Telex 18682 Focesc P Portugal

EPI 1000



EXPOSIÇÕES CONVIDADAS

A SPF pode agora anunciar o conjunto de palestras previstas para a 5.^a Conferência Nacional de Física

Sessões Plenárias

- *O Ensino da Física em Portugal: Problemas e Perspectivas*
J. N. Urbano (U. Coimbra)
- *The Evolution of the Universe*
J. Kleczek (Astronomical Institute, Ordrejev, Checoslováquia)
- *O Movimento Browniano, uma Teoria em Movimento*
L. Streit (U. Bielefeld, RFA)
- *Probing Gas-Surface Interactions with Molecular Beams*
A. W. Kley (Amsterdam, Holanda)
- *A Física do Oceano*
I. Ambar (U. Lisboa)
- *As Teorias de Grande Unificação*
A. B. Henriques (C. Fis. Mat. Cond., Lisboa)

Física do Núcleo e Partículas

- *Progressos Recentes em Física dos Detectores Gasosos e nas suas Aplicações*
A. J. P. L. Policarpo (U. Coimbra)
- *How Deformed is the Deuteron?*
N. Rodning (U. Wisconsin, USA)

Física Atómica e Molecular

- *Formação de Pares de Iões em Colisões Átomo-Molécula*
A. M. C. Moutinho (C. Fis. Molec., Lisboa)
- *Spin Polarized Quantum Systems: New Challenges in Atomic and Molecular Physics*
T. Lim (U. Philadelphia, USA)

Física da Matéria Condensada

- *Developements Récents dans le Domaine des Phases Incommensurables*
J. C. Toledano (CNET, Bagnaux, França)

- *Técnicas Nucleares na Caracterização e Síntese de Novos Materiais*
J. Carvalho Soares (U. Lisboa)

Física dos Plasmas e Astrofísica

- *Nuclear Fusion*
D. Start (Culham Lab., UK)
- *Ondas e Instabilidades em Plasmas*
J. C. Cabral (C. Electrodin., Lisboa)

Física Estatística e Física Matemática

- *Autómatos Celulares: Uma Aproximação Computacional à Física*
R. Dilão (C. Fis. Mat. Cond., Lisboa)
- *Sistemas Auto-oscilantes em Interação Modelos e Equações de Estado*
J. Vassalo Pereira (U. Lisboa)

Ciências Geofísicas

- *Palaeomagnetism and the Geophysical Evolution of the North Atlantic Ocean Basin*
E. A. Hailwood (U. Southampton, UK)
- *Prospecção Geoeléctrica em Estruturas Generalizadas. Algumas Aplicações.*
J. Andrade Afonso (U. Lisboa)

Instrumentação

- *Lasers in Medicine*
T. A. King (U. Manchester, UK)
- *Nuevas Aplicaciones de la Técnica de Microdureza*
J. A. Saja (U. Valladolid, Espanha)

Ensino da Física

- *O Computador no Ensino da Física*
C. Marciano da Silva (U. Nova de Lisboa)
- *Instrumentação no Ensino Secundário: Reflexões e Propostas*
J. Sousa Lopes (U. Lisboa)

A CP oferece 30 % de desconto, em bilhetes de ida e volta a Braga, aos participantes devidamente identificados; a Comissão Organizadora enviará um «cartão de identificação» a todos os inscritos na Física-86.

OLIMPIADAS DE FÍSICA - 86

Delegação de Lisboa

Teve lugar no Edifício C1 da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, no dia 21 de Junho de 1986, a etapa regional das segundas Olimpíadas de Física para alunos do ensino secundário da região de Lisboa, Sul e Ilhas. Das 21 Escolas Secundárias que tinham declarado a intenção de enviar concorrentes estiveram presentes as 18 seguintes:

Gil Vicente, Falagueira, António Arroio, Olivais, Amadora, Linda-a-Velha, Fonseca Benevides, Afonso Domingues, Mouzinho da Silveira-Portalegre, n.º 1 de Abrantes, n.º 2 de Abrantes, S. Julião-Setúbal, Emídio Navarro, Antero de Quental-Ponta Delgada, Jaime Moniz-Funchal, Instituto Militar dos Pupilos do Exército, Instituto de Odivelas, Colégio Militar.

Cerca de 90 alunos participaram nas provas teórico-experimentais do 9.º ano e do 11.º ano e ainda nas provas constituídas pela apresentação de um trabalho original versando um tema de Física.

Foram vencedores nas diferentes provas as seguintes equipas:

Prova Teórico-Experimental

9.º Ano—Gonçalo Calado (14 anos)
Victor Reis (14 anos)

Escola Secundária Linda-a-Velha

11.º Ano—Vasco Dias Pereira (17 anos)
Nuno Filipe Homem (17 anos)
Duarte Nuno Borba (17 anos)

Escola Secundária S. Julião—Setúbal

Apresentação de trabalho original sobre tema de Física

Programa de Computador

Ricardo Castanheira Pires (14 anos)
Pedro Manuel Jorge Costa (14 anos)
Cristina Maria dos Santos Serra (18 anos)

Escola Secundária dos Olivais

Audiovisuais

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

Cristina Santos (17 anos)
Rosa Maria Roque (18 anos)
João Leonardo Nabais (17 anos)

Escola Secundária Mouzinho da Silveira—Portalegre

Sérgio Manuel Bastos Tavares (16 anos)
João José de Eugénio Aleixo (15 anos)
Paulo Jorge Lourenço Afonso (16 anos)

Instituto Militar dos Pupilos do Exército

Pelas 19h30 do mesmo dia, foram distribuídos os prémios às equipas vencedoras e respectivas escolas e ainda um prémio de participação às restantes escolas e alunos.

A Delegação Regional de Lisboa contou com o apoio das seguintes entidades para angariação dos prémios e despesas inerentes à organização:

Faculdade de Ciências de Lisboa, Caixa Geral de Depósitos, Tecnodidáctica, Nucleon, Câmara Municipal de Lisboa, Embaixada do Brasil, Dinalivro, Plátano Editora, Instituto Italiano de Cultura, Editorial Caminho.

Delegação de Coimbra

As provas regionais tiveram lugar no Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, no dia 19 de Junho. Participaram as Escolas Secundárias de Anadia, Castelo Branco, Avelar Brotero (Coimbra) e Rafael Bordalo Pinheiro (Caldas da Rainha), com um total de 6 equipas.

As equipas vencedoras das provas teórico-experimentais foram as seguintes:

9.º Ano—Paulo Manuel Nunes Coelho Santos
Victor José Figueira Ivo
Paulo Jorge Moreira Ribeiro Goulão

Escola Secundária de Castelo Branco

11.º Ano—Maria Isabel Leitão
José Luís Lima
Francisco José Baptista Salzedas

Escola Secundária Avelar Brotero—Coimbra

Esta última equipa apresentou também um trabalho sobre o tema «Computadores», que foi considerado de bom nível.

Para a elaboração e realização das provas, bem como para a aquisição de prémios, a Delegação de Coimbra contou com a colaboração e apoio do Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Delegação do Porto

As provas decorreram no Laboratório de Física da Faculdade de Ciências do Porto, nos dias 3 e 4 de Junho, com equipas das seguintes 18 escolas secundárias:

n.º 2 de Matosinhos, Vila Pouca de Aguiar, José Régio (Vila do Conde), Oliveira Martins (Porto), S. Pedro (Vila Real), Valadares, Esposende, Alberto Sampaio (Braga), n.º 2 de Vila Nova de Gaia, António Nobre (Porto), Marco de Canaveses, Macedo de Cavaleiros, Emídio Garcia (Bragança), Externato N. Senhora do Perpétuo Socorro (Porto), Paredes, Mogadouro, Valongo, Infante D. Henrique (Porto).

Prova teórico-experimental

9.º Ano—Concorreram 14 Escolas

Equipa vencedora: Marco Aurélio Silva
José Carlos Macedo
Carla Alexandra Soares
Escola Secundária Oliveira Martins (Porto)

11.º Ano—Concorreram 14 Escolas

Equipa vencedora: Óscar Filipe Barroso
Miguel Pedro Oliveira
João Filipe Neto
Escola Secundária Oliveira Martins (Porto)

Prova de criatividade

9.º ano

Equipa vencedora (dispositivo experimental):
Francisco José Lima
Manuel António Silva
João Pedro dos Santos
Escola Secundária de Esposende

11.º ano

Equipa vencedora (programa de computador)
Alexandre Falcão Carvalho
Pedro Miguel Moutinho
Rui Manuel Pinto
Escola Secundária António Nobre (Porto)

A Delegação Regional do Porto contou com o apoio das seguintes entidades:

Laboratório e Centro de Física da Universidade do Porto, Amorim Lage Lda., Sound Discos, Fundação Eng.º António de Almeida.

Assinale-se, por último, que a realização das Olimpíadas de Física tem o valioso apoio da Fundação Calouste Gulbenkian.

Curso sobre Aquisição e Tratamento de dados em Experiências Laboratoriais

Na sequência dos dois cursos de reciclagem que a Delegação Regional de Lisboa organizou em 1985 sobre *Microprocessadores no Ensino*, esta Delegação organizará, em Setembro/Outubro de 1986, um curso, para um número limitado de participantes, sobre *Aquisição e Tratamento de dados em pequenas Experiências de Laboratório utilizando microprocessadores*. O Curso será orientado pelos Profs. António Moreira Gonçalves e António de Almeida Melo. As pessoas interessadas deverão dirigir uma carta à Delegação Regional de Lisboa solicitando inscrição.

Curso sobre Aplicação de Computadores em Física

A Delegação Regional de Coimbra prevê a realização daquele curso na segunda quinzena de Setembro.

Os interessados poderão contactar aquela delegação.

Assembleia Geral da SFP

Será convocada uma reunião da Assembleia para as 18 horas do dia 2 de Outubro, em Braga, por ocasião da 5.ª Conferência Nacional de Física.

Todo o equipamento :

nucleon

EQUIPAMENTOS DE PRECISÃO LDA.

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

Para: ESCOLAS • UNIVERSIDADES • INVESTIGAÇÃO • INDÚSTRIA

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

LIVRARIA ESCOLAR EDITORA



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

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

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

LIVRARIA BRITÂNICA



THE ENGLISH BOOKSHOP
Para todos os seus livros
de inglês

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

Filial no Porto:

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

Edwards



VENDIDO POR:
MENDES DE ALMEIDA, LDA.



Av. 24 de Julho, 52 - A G
Telex 13559 ALMEDA P

Telef. 663371 1200 LISBOA

GAZETA DE FÍSICA Publicidade

Tiragem actual — 2200

Periodicidade — trimestral

Leitores: professores e estudantes de Física
(ensinos secundário e superior),
investigadores, técnicos industriais

Preços:*

Fracção de página	1/8	1/4	1/2	1/1
Preto e branco	4	6	10	20
Com cor adicional	5	7	12	24

* em contos

Contactos telefónicos: Lisboa 773325-774297 (Prof. J. Carvalho Soares)
Coimbra 23675-29252 (Prof. M. Margarida Costa)
Porto 310290-21653 (Prof. J. Bessa Sousa)

VÁCUO-86

- **CURSO PARA OPERADORES**

TECNOLOGIA E APLICAÇÕES DO VACUO

Braga, 25 e 26 de Setembro

Contactar: Prof. Pereira dos Santos
Departamento de FÍSICA
Universidade do Minho
Av. João XXI, 4700 BRAGA
Telef. 053 - 27707/8/9

- **ENCONTRO NACIONAL DOS UTILIZADORES DO VACUO**

Braga, 27 de Setembro, 09h00

Contactar: Prof. Pereira dos Santos
Departamento de FÍSICA
Universidade do Minho
Av. João XXI, 4700 BRAGA
Telef. 053 - 27707/8/9

- **EXPOSIÇÃO DE EQUIPAMENTO DE VÁCUO**

**Bombas rotativas • Bombas de difusão • Crio-Bombas
Acessórios de Vácuo • Instrumentos de medida**

Venha almoçar connosco

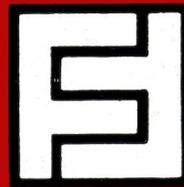
CRIOLAB

EQUIPAMENTO CRIOGÉNICO

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

E DE LABORATÓRIO, LDA.

... Aí verá o equipamento que aqui temos anunciado.



VOL. 9 • FASC. 3 • JULHO 1986

SUMÁRIO

Tempo e Relatividade - II	49
<i>P. Crawford do Nascimento e A. Isabel Simões</i>	
Anemometria Laser	57
<i>D. F. G. Durão e J. C. F. Pereira</i>	
A utilização dos Lasers na espectroscopia Raman	62
<i>M. Pereira dos Santos e C. Hirlimann</i>	
Fronteiras de Fisica	65
Alterações Humanas do Clima: o aumento de CO₂ na atmosfera	67
<i>Ricardo F. Aguiar e Filipe Duarte Santos</i>	
II Semana de Magnetismo / Sociedade Europeia de Fisica	72
Estatutos da Sociedade Portuguesa de Fisica	73
Olimpíadas de Fisica	79
Fisica - 86	85
Noticiário da Sociedade Portuguesa de Fisica	86