

Olimpíadas Internacionais da Física (Londres, 1986)

Em 1986 as olimpíadas tiveram lugar em Londres, na Escola de Harrow, tendo participado 102 concorrentes, de 21 países (8 da Europa de leste, 9 da Europa ocidental, EUA, Canadá, Cuba e China), agrupados em equipas ou delegações com um número de concorrentes não superior a cinco. As delegações são acompanhadas por dois professores sendo um deles o chefe da delegação e o outro o responsável pedagógico. Para além dos países participantes estiveram representados a Austrália e o Kuwait, que enviaram observadores.

A presente notícia tem por finalidade mostrar à comunidade dos docentes de Física dos ensinos secundário e universitário do nosso país os conteúdos programáticos para as olimpíadas, adoptados em 1985, por ocasião das Olimpíadas Internacionais da Física, em Portoroz, Jugoslávia, bem como as questões teóricas e práticas que foram postas aos concorrentes nas olimpíadas de 1986.

I. Conteúdos Programáticos (*)

Considerações Gerais

- a) Todos os problemas devem ser resolúveis sem o uso extensivo de cálculo (diferencial ou integral) e sem requerer a utilização de números complexos ou resolução de equações diferenciais.
- b) Novos conceitos e fenómenos não contidos no programa podem ser utilizados, mas deverão ser explicados nos textos dos problemas.
- c) No caso de questões experimentais, os dispositivos experimentais sofisticados não deverão dominar a física das questões. O uso dos dispositivos deve ser cuidadosamente explicado.

Parte Teórica

1. Mecânica

- a) Fundamentos da cinemática do ponto material.
- b) Leis de Newton, referenciais de inércia.
- c) Sistemas fechados e abertos, momento linear e energia, trabalho, potência.
- d) Conservação da energia, conservação do momento linear, impulso.
- e) Forças elásticas, forças de atrito, lei da gravitação, energia potencial e trabalho num campo gravitacional.
- f) Aceleração centrípeta, leis de Kepler.

2. Mecânica dos Corpos Rígidos

- a) Estática, centro de massa, momentos de forças.
- b) Movimento do corpo rígido, translação, rotação, velocidade angular, aceleração angular, conservação do momento angular.
- c) Forças exteriores e interiores, equação do movimento de um corpo rígido em torno de um eixo fixo, momento de inércia, teorema do eixo paralelo (teorema de Steiner), energia cinética de um corpo em rotação.
- d) Referenciais acelerados forças de inércia.

3. Hidromecânica

Não se porão questões especificamente neste tópico, mas os estudantes deverão conhecer os conceitos elementares de pressão, flutuação e a lei de continuidade.

4. Termodinâmica e Física Molecular

- a) Energia interna, trabalho e calor, primeira e segunda leis da termodinâmica.
- b) Modelo de um gás perfeito, pressão e energia cinética molecular, número de Avogadro, equação de estado dum gás ideal, temperatura absoluta.

(*) Fixados no ano precedente em Portoroz, Jugoslávia (Junho, 1985).

- c) Trabalho realizado por um gás em expansão limitado a processos adiabáticos e isotérmicos (a prova da equação do processo adiabático não é exigida).
- d) O ciclo de Carnot, eficiência termodinâmica, processos reversíveis e irreversíveis, entropia (abordagem estatística), factor de Boltzmann.

5. *Oscilações e Ondas*

- a) Oscilações harmónicas, equação da oscilação harmónica.
- b) Ondas harmónicas, propagação de ondas, ondas transversais e longitudinais, polarização linear, efeito de Doppler clássico, ondas sonoras.
- c) Sobreposição de ondas harmónicas, ondas coerentes, interferência, batimentos, ondas estacionárias.

6. *Carga Eléctrica e Campo Eléctrico*

- a) Conservação da carga, lei de Coulomb.
- b) Campo eléctrico, potencial, lei de Gauss limitada a sistemas simétricos simples como a esfera, o cilindro e a placa.
- c) Condensadores, capacidade, constante dieléctrica, densidade de energia do campo eléctrico.

7. *Corrente e Campo Magnético*

- a) Corrente, resistência, resistência interna numa fonte, lei de Ohm. Leis de Kirchoff, trabalho e potência das correntes contínua e alternada, lei de Joule.
- b) Campo magnético (B) de uma corrente, corrente num campo magnético, força de Lorentz (partícula carregada num campo magnético).
- c) Lei de Ampère, campo magnético de sistemas simétricos simples como um fio rectilíneo, um anel circular e um solenóide longo.
- d) Lei da indução electromagnética, fluxo magnético, lei de Lenz, self-indução, indutância, permeabilidade, densidade de energia do campo magnético.
- e) Corrente alternada, resistências, indutâncias e condensadores em circuitos a.c., ressonância de tensão e corrente (paralela e série).

8. *Ondas Electromagnéticas*

- a) Circuito oscilatório, frequência das oscilações, geração por feedback e ressonância.
- b) Óptica ondulatoria, difracção de uma ou duas fendas, rede de difracção, poder resolvente de uma rede de difracção, interferência em camadas finas, reflexão de Bragg, princípio de Fermat (apenas aplicações simples).
- c) Espectros de dispersão e de difracção, espectros de riscas dos gases.
- d) Ondas electromagnéticas como ondas transversais, polarização por reflexão, polarizadores.
- e) Podre resolvente de sistemas de tratamento de imagem (imaging systems).
- f) Corpo negro, lei de Stefan - Boltzmann.

9. *Física Quântica*

- a) Efeito fotoeléctrico, energia e impulsão do fotão.
- b) Comprimento de onda de De Broglie, princípio de incerteza de Heisenberg.

10. *Relatividade*

- a) Princípio de relatividade, adição de velocidades, efeito de Doppler relativista.
- b) Equação relativista do movimento, momento linear, energia, relação entre energia e massa, conservação da energia e do momento linear.

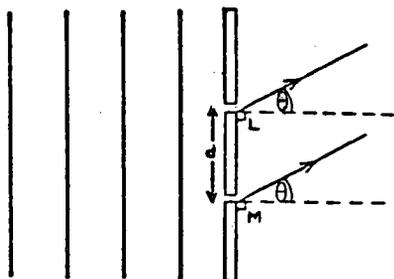
11. *Matéria*

- a) Aplicações simples da equação de Bragg.
- b) Níveis de energia de átomos e moléculas (qualitativamente), emissão, absorção, espectros dos átomos hidrogenóides.
- c) Níveis de energia de núcleos (qualitativamente), desintegração alfa, beta e gama, absorção de radiação, período de semidesintegração e declínio exponencial, componentes de núcleos, defeito de massa, reacções nucleares.

II. Questões Teóricas

As três questões que constituíam o exame teórico eram as seguintes.

1.



Uma onda plana de luz monocromática, de comprimento de onda λ e frequência f , incide perpendicularmente sobre um alvo com duas ranhuras idênticas L e M, separadas por uma distância d , como é indicado na figura.

A onda luminosa emergente em cada ranhura é dada, a uma distância x , numa direcção θ e no instante t , por

$$y = a \cos[2\pi(ft - x/\lambda)]$$

onde a amplitude a é a mesma para ambas as ondas. (Admite-se que x é muito maior do que d).

- (i) Mostre que as duas ondas observadas segundo um ângulo θ com a normal ao plano das ranhuras, têm uma amplitude resultante A que pode ser obtida por adição de dois vectores, cada um com grandeza a e com uma direcção associada determinada pela fase da onda luminosa. Verifique geometricamente, a partir do diagrama vectorial, que

$$A = 2a \cos \beta$$

onde

$$\beta = \frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta$$

- (ii) A dupla ranhura é substituída por uma rede de difracção com N ranhuras igualmente separadas, sendo d a distância que separa duas ranhuras adjacentes. Use o método vectorial de adição de amplitudes para mostrar

que as amplitudes dos vectores, cada um de grandeza a , formam uma parte de um polígono regular com vértices num círculo de raio R dado por

$$R = \frac{a}{2 \sin \beta}$$

Deduz que a amplitude resultante é

$$a \frac{\sin N \beta}{\sin \beta}$$

e obtenha a diferença de fase resultante relativamente à da luz proveniente da ranhura da extremidade da rede.

- (iii) Esquematize, no mesmo gráfico, $\sin N \beta$ e $(1/\sin \beta)$ em função de β . Num gráfico separado mostre como varia a intensidade da onda resultante em função de β .
- (iv) Determine as intensidades dos máximos de intensidade principais.
- (v) Mostre que o número de máximos principais não pode exceder

$$\left[\frac{2d}{\lambda} + 1 \right]$$

- (vi) Mostre que dois comprimentos de onda λ e $(\lambda + \Delta\lambda)$, onde $\Delta\lambda \ll \lambda$, produzem máximos principais com uma separação angular dada por

$$\Delta\theta = \frac{n \Delta\lambda}{d \cos \theta} \quad \text{onde } n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Calcule esta separação angular para as riscas D do sódio para as quais

$$\lambda = 589.0 \text{ nm},$$

$$(\lambda + \Delta\lambda) = 589.6 \text{ nm}, \quad n = 2$$

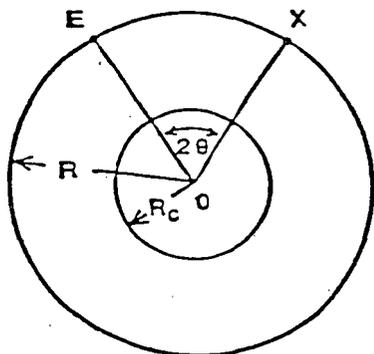
e

$$d = 1.2 \times 10^{-6} \text{ m}.$$

Recorde-se que:

$$\cos A + \cos B = 2 \cos \frac{A+B}{2} \cos \frac{A-B}{2}$$

2. No princípio deste século foi proposto um modelo da Terra em que ela era considerada esférica de raio R e constituída por uma manta sólida homogênea e isotrópica desde R até ao raio R_C . A região central interior ao raio R_C continha um líquido.



As velocidades das ondas sísmicas longitudinais e transversais, ondas P e S respectivamente, são constantes, V_P e V_S , na manta. Na região central, as ondas longitudinais têm uma velocidade constante $V_{CP} < V_P$ e não se propagam ondas transversais.

Um abalo sísmico em E , na superfície da Terra, produz ondas sísmicas que se propagam através da Terra e são observadas por um observador à superfície, o qual pode montar o seu sismómetro em qualquer ponto X sobre a superfície da Terra. A separação angular entre E e X , 2θ , é dada por

$$2\theta = \angle E O X$$

onde O é o centro da Terra.

- (i) Mostre que as ondas sísmicas que percorrem a manta em linha recta chegam a X num instante t (tempo de percurso após o abalo sísmico), dado por

$$t = \frac{2R \sin \theta}{V}, \text{ para } \theta \leq \arccos \left(\frac{R_C}{R} \right).$$

onde $V = V_P$ para as ondas P e $V = V_S$ para as ondas S .

- (ii) Para algumas posições de X tais que $\theta > \arccos(R_C/R)$ as ondas sísmicas P chegam ao observador depois de duas refrações na interface manta—interior. Desenhe o trajecto de uma tal onda sísmica P . Obtenha a relação entre θ e i , o ângulo de incidência da onda P na interface manta—interior, para ondas P .

- (iii) Usando os dados

$$R = 6370 \text{ km}$$

$$R_C = 3470 \text{ km}$$

$$V_P = 10.85 \text{ km s}^{-1}$$

$$V_S = 6.31 \text{ km s}^{-1}$$

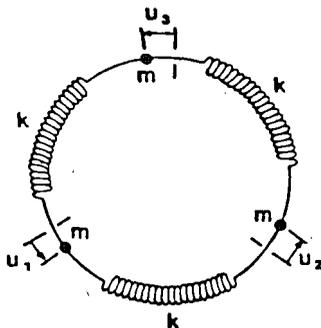
$$V_{CP} = 9.02 \text{ km s}^{-1}$$

e o resultado obtido em (ii), desenhe um gráfico de θ em função de i . Comente as consequências físicas da forma deste gráfico para observadores colocados em diferentes pontos sobre a superfície da Terra.

Faça um esquema da variação do tempo de trânsito gasto pelas ondas P e S em função de θ para $0 \leq \theta \leq 90^\circ$.

- (iv) Após um abalo sísmico, um observador mede o tempo decorrido entre a chegada da onda S que se segue à onda P , que é 2 minutos e 11 segundos. Deduza a separação angular entre o centro do abalo sísmico e o observador usando os dados da alínea (iii).
- (v) O observador na medida anterior nota que algum tempo depois da chegada das ondas P e S há mais dois registos no sismómetro separados por um intervalo de tempo de 6 minutos e 37 segundos. Explique este resultado e verifique que ele está realmente associado com a separação angular determinada na alínea anterior.

3. Três partículas, cada uma de massa m , estão em equilíbrio e ligada por molas sem massa distendidas, cada uma com constante de mola k . As massas estão condicionadas a mover-se sobre uma circunferência, como é indicado na figura.



- (i) Se as massas se deslocam do equilíbrio de pequenos arcos u_1 , u_2 e u_3 , escreva a equação do movimento de cada massa.
- (ii) Verifique que o sistema tem soluções harmônicas simples da forma

$$u_n = a_n \cos \omega t,$$

com acelerações $(-\omega^2 u_n)$, onde a_n ($n=1, 2, 3$) são amplitudes constantes, e ω , a frequência angular, pode ter 3 valores possíveis

$$\omega_0 \sqrt{3}, \quad \omega_0 \sqrt{3} \text{ e } 0$$

onde $\omega_0^2 = k/m$.

- (iii) O sistema de molas e massas alternadas é estendido a N partículas, sendo cada massa m ligada por molas às massas vizinhas. Inicialmente as molas estão distendidas, em equilíbrio. Escreva a equação do movimento da massa n ($n=1, 2, \dots, N$), em termos do seu deslocamento e dos das massas adjacentes quando as partículas são afastadas do equilíbrio.

$$u_n(t) = a_s \sin \left(\frac{2n s \pi}{N} + \phi \right) \cos \omega_s t,$$

são soluções oscilatórias onde $s=1, 2, \dots, N$, $n=1, 2, \dots, N$ e onde ϕ é uma fase arbitrária, desde que as frequências angulares sejam dadas por

$$\omega_s = 2 \omega_0 \sin (s\pi/N).$$

onde a_s ($s=1, 2, \dots, N$) são amplitudes constantes independentes de n .

Determine a gama de frequências possíveis para uma cadeia contendo um número infinito de massas.

- (iv) Determine a razão u_n/u_{n+1} para N grande, nos dois casos:
- (a) soluções de baixa frequência;
- (b) $\omega = \omega_{\max}$, onde ω_{\max} é a solução de frequência máxima.

Esquematize em gráficos típicos que indiquem os deslocamentos das partículas em função do número de partículas ao longo da cadeia no instante t para os casos (a) e (b).

- (v) Se uma das massas for substituída por uma massa $m' \ll m$ estime qual a alteração *importante* que é de esperar na distribuição de frequência angular.

Descreva qualitativamente a forma do espectro de frequência que seria de prever para uma cadeia diatômica com massas alternadas m e m' , tomando como base o resultado anterior.

Recordar:

$$\sin (A+B) = \sin A \cos B + \cos A \sin B$$

$$\sin A + \sin B = 2 \sin \left(\frac{A+B}{2} \right) \cos \left(\frac{A-B}{2} \right)$$

$$2 \sin^2 A = 1 - \cos 2A$$

III. Parte Experimental

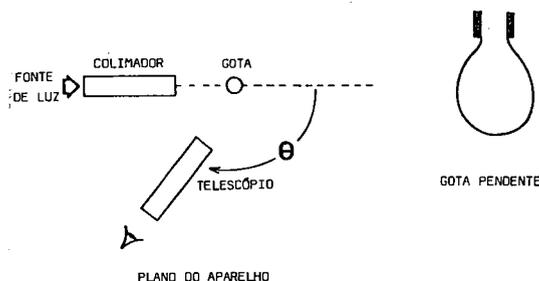
As duas experiências que constituíam o exame prático eram as seguintes.

Experiência 1 (prova com a duração máxima de 2h30)

Aparelhagem

1. Espectrómetro com colimador e telescópio.
2. Três seringas: uma para água, uma para o líquido A e uma para o líquido B.
3. Um copo de água mais dois tubos contendo os líquidos A e B.
4. Três bases com haste de suporte e garras.
5. Fonte de luz branca protegida de 12 V.
6. Cartão preto, plasticina e fita adesiva preta.
7. Dois quadrados de plástico com buracos para fazer de tampas a ser colocadas nas extremidades do telescópio, com a ajuda de dois elásticos.
8. Folhas de papel milimétrico.
9. Três recipientes para receber a água e os líquidos A e B que caem das seringas.

Complete a folha de sumário além de responder às questões experimentais.



Instruções e Informação

1. Ajuste o colimador de modo a produzir luz paralela. Isto pode ser conseguido realizando a seguinte série de operações:

- a) foque o telescópio num objecto distante, usando o parafuso de ajuste do telescópio, de modo que o retículo e o objecto fiquem ambos em foco;
- b) posicione o telescópio de modo que fique oposto ao colimador com a fenda iluminada de maneira que a fenda pode ser vista através do telescópio;
- c) ajuste a posição da lente do colimador, usando o parafuso de ajuste do colimador, de modo

que a imagem da fenda fique focada com o retículo da ocular do telescópio;

d) fixe a mesa do espectrómetro escolhendo um «zero» apropriado na escala do nónio, de modo que se possam fazer convenientemente as medidas angulares subsequentes da posição do telescópio.

2. Retire a ocular do telescópio e coloque as tampas de plástico pretas simetricamente em ambas as extremidades do telescópio, usando elásticos, de modo que o ângulo de visão seja reduzido.
3. Abra a fenda do colimador.
4. Use as seringas para suspender, verticalmente, uma gota simetricamente sobre o centro da mesa do espectrómetro de modo que fique totalmente iluminada pela luz do colimador e possa ser vista pelo telescópio.
5. A região central horizontal da gota suspensa produzirá arco-íris em resultado de duas refrações e $k(k=1, 2, \dots)$ reflexões internas da luz. O arco-íris de 1.^a ordem corresponde a uma reflexão interna. O arco-íris de 2.^a ordem corresponde a duas reflexões internas. O arco-íris de ordem k corresponde a k reflexões internas. Cada arco-íris contém todas as cores do espectro. Estas podem ser observadas directamente a olho nu e as suas posições angulares podem ser rigorosamente medidas usando o telescópio. Cada arco-íris é devido aos raios de luz branca incidente na gota para um ângulo de incidência bem determinado, o qual é diferente para cada arco-íris.
6. O arco-íris de 1.^a ordem pode ser reconhecido porque tem a maior intensidade e aparece do lado direito da gota (*). Estes dois arcos-íris estão separados de 20 um do outro para as gotas de água. O arco-íris de 5.^a ordem, de fraca intensidade, pode ser observado no lado direito da gota localizado algures entre os outros dois extremos azuis dos arcos-íris de 1.^a e 2.^a ordem.
7. A luz reflectida directamente da superfície exterior da gota e a refractada duas vezes mas não internamente reflectida, produzirá manchas brancas brilhantes que impedirão as observações.
8. Os índices de refração, n , dos líquidos são:

água: $n_w = 1.333$

líquido A: $n_A = 1.467$

líquido B: $n_B = 1.534$

Além do relatório experimental preencha a folha de sumário.

(*) Esta afirmação é correcta se o colimador estiver à esquerda do telescópio, como se indica no diagrama. Se o colimador estiver à direita do telescópio o arco-íris de 1.^a ordem aparecerá do lado esquerdo da gota e o arco-íris de 2.^a ordem do lado direito da gota.

Medidas

1. Observe a olho nu os arcos-íris de 1.^a e 2.^a ordem para a água. Meça o ângulo θ de que o telescópio tem de rodar, a partir da direcção inicial de observação da luz paralela vinda do colimador, para observar, usando uma gota de água pendente, a luz vermelha do extremo do espectro visível a partir:
 - (a) do arco-íris de 1.^a ordem à direita da gota ($k=1$);
 - (b) do arco-íris de 2.^a ordem à esquerda da gota ($k=1$);
 - (c) do arco-íris de 5.^a ordem, fraco, ($k=5$) entre os arcos-íris de 1.^a e 2.^a ordens.

Alguns destes ângulos podem não ser possíveis de medir pela rotação do telescópio devido a constrangimentos mecânicos limitando a gama de θ . Se fôr este o caso, use uma régua em vez do telescópio para medir θ (*).

Deduz a o ângulo de desvio, ϕ , que é o ângulo de que a luz incidente é desviada pelas duas refacções e k reflexões na parede interna da gota, para (a), (b) e (c). Construa um gráfico de ϕ em função de k .

2. Determine ϕ para os arcos-íris de 2.^a ordem produzidos pelos líquidos A e B usando a luz vermelha visível do extremo do espectro visível. (Coloque os respectivos recipientes na mesa para apanhar algum líquido que caia pois as quantidades de líquido são limitadas).

Usando papel milimétrico ponha $\cos \phi/6$ em função de $1/n$, sendo n o índice de refacção, para todos os 3 líquidos e insira o ponto adicional para $n=1$. Obtenha a *melhor* recta que passa por esses pontos; meça a sua inclinação e o valor de ϕ para $n=2$.

Aparelhagem

1. Computador RML Nimbus.
2. Dez folhas de papel de gráfico.

Preencha a folha de resumo além de responder a este problema experimental.

Informação

O microcomputador foi programado para resolver as equações de Newton do movimento para um sistema bidimensional de 25 partículas em interacção, no plano XY. Ele é capaz de gerar as posições e velocidades de todas as partículas a intervalos de tempos discretos igualmente separados. Premindo teclas apropriadas (que serão indicadas) pode-se ter acesso a informação dinâmica sobre o sistema.

O sistema de partículas é confinado a uma caixa que inicialmente ($t=0$) está dividida numa rede quadrada bidimensional. Mostra-se uma imagem do sistema no visor juntamente com os dados numéricos requeridos. Todas as partículas são idênticas; as cores servem para permitir distinguir as partículas. À medida que o sistema evolui no tempo as posições e velocidades das partículas mudam. Se uma partícula sai da caixa o programa automaticamente gera uma nova partícula que entra na caixa na face oposta com a mesma velocidade, conservando-se assim o número total de partículas na caixa.

Quaisquer duas partículas «i» e «j», separadas de uma distância r_{ij} , interactuam com um potencial bem definido u_{ij} :

É conveniente usar quantidades adimensionais na computação. As quantidades dadas a seguir são usadas nos cálculos

(*) Coloque o recipiente apropriado na mesa do espectrómetro para captar quaisquer gotas que caiam.

<i>Quantidade</i>	<i>Símbolo</i>
Distância	r^*
Velocidade	V^*
Tempo	t^*
Energia	E^*
Massa de Partícula	$m^* = 48$
Potencial	U_{ij}^*
Temperatura	T^*
Energia Cinética	$E_k^* = 1/2 m^* v^{*2}$

Instruções

O programa do computador permite-lhe o acesso a três conjuntos distintos de informações numéricas e visualizá-las no visor. O acesso é controlado pelas teclas de função (cinzentas) no lado esquerdo do teclado, marcadas F1, F2, F3, F4 e F10. Estas teclas devem ser premidas e largadas—não manter a tecla premida, nem a premir repetidamente. O programa pode levar até 1 segundo a responder.

Primeiro Conjunto de Informações (Problemas 1-5)

Premir F1 permite obter no visor as três quantidades $\langle VX, n \rangle$, $\langle VY, n \rangle$ e $\langle U \rangle$ definidas por

$$\langle VX, n \rangle = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} (V_{ix}^*)^n,$$

$$\langle VY, n \rangle = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} (V_{iy}^*)^n$$

$$e \quad U = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{25} U_{ij}^*$$

onde

V_{ix}^* = componente x adimensional da velocidade para a partícula i,

V_{iy}^* = componente y adimensional da velocidade para a partícula i

e n é um inteiro, tal que $n \geq 1$.

[Nota: o somatório de U_{ij}^* exclui os casos em que $i=j$]

Depois de premir F1 é necessário dar o inteiro n ($n \geq 1$) premindo uma das teclas brancas no topo do teclado, antes da informação aparecer no visor.

A informação é mostrada sob a forma de intervalos de tempo adimensionais Δt^* , a tempos adimensionais $S \Delta t^*$ ($S=0, 1, 2, \dots$). Δt^* é definido pelo programa como tendo o valor $\Delta t^* = 0.100\ 000$.

O valor de S é visível no canto inferior direito do visor. Inicialmente tem o valor $S=0$. A palavra «waiting» («à espera») no visor indica que o cálculo parou e a informação respeitante ao valor de S aparece.

Premindo a tecla de espaço na base do teclado, permite-se que o cálculo da evolução do sistema prossiga em intervalos de tempo Δt^* . O valor corrente de S fica sempre visível no visor. Enquanto o cálculo prossegue a palavra «running» aparece no visor.

Premindo a tecla F1 novamente, pára o cálculo no tempo inteiro indicado por S no visor, e aparecem os valores correntes de

$\langle VX, n \rangle$,

$\langle VY, n \rangle$

e $\langle U \rangle$ depois de introduzir o inteiro n .

A evolução do sistema continua premindo a tecla de espaço.

O sistema pode, se necessário, ser posto no estado original em $S=0$ premindo F10 duas vezes.

Problemas Computacionais

1. Verifique que o momento linear total adimensional do sistema é conservado para os tempos dados por

$$S=0, 40, 80, 120, 160.$$

Indique a precisão do cálculo.

2. Faça o gráfico da variação da energia cinética adimensional do sistema em função do tempo usando a sequência de tempos

$$S=0, 2, 4, 6, 12, 18, 24,$$

$$30, 50, 70, 90, 130, 180.$$

3. Faça o gráfico da energia potencial adimensional do sistema em função do tempo, usando a sequência de tempos dada em 2.

4. Obtenha a energia total adimensional do sistema nos tempos indicados em 2. A energia do sistema conserva-se? Indique a precisão do cálculo da energia total.

5. O sistema não está inicialmente (para $S=0$) em equilíbrio termodinâmico. Passado algum tempo o sistema atinge o equilíbrio termodinâmico, flutuando a energia cinética total adimensional em torno de um valor médio de E_k^* . Determine este valor de E_k^* e indique o tempo, SD , ao fim do qual o sistema está em equilíbrio termodinâmico.

Segundo Conjunto de Informações (Problema 6)

Premindo a tecla F2 inicia-se o programa para a compilação do histograma do problema 6. Este programa gera uma tabela histograma dos números acumulados, ΔN , das componentes das velocidades das partículas em função da velocidade adimensional. As componentes de velocidade adimensionais, V_X^* e V_Y^* , são referidas colectivamente por V_C^* . A gama da velocidade adimensional é dividida em intervalos iguais $\Delta V_C^* = 0.05$. Os centros dos intervalos de velocidade adimensionais têm grandezas

$$V_C^* = B \Delta V_C^* \quad (B=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

Quando a tecla de espaço do teclado é premida, as 2×25 componentes da velocidade adimensional são calculadas para cada salto do tempo e o programa adiciona um, para cada componente da velocidade, ao intervalo de velocidade apropriado.

Este processo prossegue, para cada salto no tempo, até que F3 é premido. Quando F3 é premido o histograma (acumulado) é visualizado. A acumulação de contagens pode continuar premindo a tecla de espaço. (Alternativamente se quiser voltar à situação inicial, com zero em todos os intervalos de velocidade, carregue em F2).

A acumulação de dados do histograma deve continuar por cerca de 200 saltos do tempo a partir do início.

No equilíbrio termodinâmico o histograma pode ser dado aproximadamente pela relação

$$\Delta N = A \exp[-24 (V_C^*)^2 / \alpha]$$

onde α é uma constante associada com a temperatura do sistema e A depende do número total de componentes de velocidade acumuladas.

6. Usando os dados da velocidade adimensional acumulados durante o equilíbrio termodinâmico, desenhe um histograma que dê o número ΔN de componentes de velocidade, em função da componente de velocidade adimensional, usando o intervalo de componente de velocidade, constante, $\Delta V_C^* = 0.05$, especificado na tabela disponível no segundo conjunto de informações. Devem ser usados dados acumulados de aproximadamente 200 saltos no tempo e os tempos iniciais inteiros S devem ser registados.

Verifique que ΔN satisfaz a relação

$$\Delta N = A \exp[-24 (V_C^*)^2 / \alpha]$$

onde α e A são constantes. Determine o valor de α .

Terceiro Conjunto de Informações (Problema 7)

Carrgando em F4 e a seguir na tecla de espaço em qualquer tempo durante a evolução do sistema, inicia-se o programa para o problema 7. O programa leva cerca de 30 segundos, em tempo real, até aparecer a tabela contendo as duas quantidades

$$\langle RX, 2 \rangle = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} [x_i^*(S) - x_i^*(SR)]^2$$

$$\langle RY, 2 \rangle = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} [y_i^*(S) - y_i^*(SR)]^2$$

onde x_i^* e y_i^* são as componentes da posição adimensional para a partícula i. S é a unidade de tempo inteira e SR é o tempo inteiro inicial fixado, para o qual o programa é iniciado ao premir a tecla F4. É conveniente introduzir o inteiro

$$SZ = S - SR.$$

O programa faz aparecer a tabela de $\langle RX, 2 \rangle$ e $\langle RY, 2 \rangle$ para $SZ = 0, 2, 4, \dots, 24$.

Antes de aparecer a tabela no visor, a palavra «Running» aparece indicando que o cálculo prossegue.

Premindo F4, seguido da tecla de espaço, reinicia-se uma nova tabela com o valor de SR até ao ponto em que se carregou em F4.

7. Para o sistema de partículas em equilíbrio termodinâmico calcule o valor médio de R^2 , $\langle R^2 \rangle$, onde R é a distância em linha recta entre a posição duma partícula num tempo inicial fixado SR e num tempo S. A diferença dos tempos inteiros $SZ (= S - SR)$ toma os valores

$$SZ = 0, 2, 4, \dots, 24.$$

Ponha em gráfico $\langle R^2 \rangle$ em função de SZ para qualquer valor apropriado de SR. Calcule o gradiente da função na região linear e especifique a gama de tempos para os quais este gradiente é válido.

Para melhorar a precisão do gráfico repita os cálculos precedentes para mais três valores diferentes de SR e determine a média $\langle R^2 \rangle$ para os quatro conjuntos de resultados, juntamente com o gradiente linear e a gama de valores do tempo.

Deduzo, com raciocínio apropriado, o estado de equilíbrio termodinâmico do sistema, ou sólido ou líquido.

Estas Olimpíadas da Física, à semelhança de outras competições análogas, acabam por ter, talvez inevitavelmente, um carácter de excessiva competitividade que se traduz por algumas facetas contrárias a um espírito de sã aprendizagem e formação humana equilibrada. Independentemente de possível participação portuguesa numas próximas olimpíadas internacionais e das questões que a formação e preparação dum delegação nacional levantem, parece que antes do mais há que *reflectir* bem no nível do nosso ensino de Física e na implantação

dum ensino de qualidade em todo o país. *Reflectir* ... e *agir* em conformidade. É fundamental que eventuais resultados de bom nível, em competições internacionais, sejam a tradução duma qualidade média elevada. Isto deve ser assim na Física e na Ciência, como no Desporto ou na Arte.

Em próximo número da Gazeta serão apresentadas as soluções das questões aqui deixadas.

Manuel F. Thomaz

Departamento de Física, Universidade de Aveiro

Divulgação da Física Moderna — Uma Bibliografia em Português

II — Astrofísica e Cosmologia, Física dos Fenómenos Irreversíveis (*)

CARLOS FIOLHAIS

Departamento de Física da Universidade de Coimbra

Livros sobre Astrofísica e Cosmologia (1976-86)

ATKINS, P. W. — *A Criação*, Presença, Lisboa (1985), tradução de A. T. R. Sousa e J. J. Moura Ramos; original norte-americano *The Creation*, Freeman, 1981; 128 pp.

O autor, professor de Química-Física na Universidade de Oxford, defende nesta obra a tese de que o Universo não necessita de uma entidade divina para explicar a sua existência. O «Big Bang» tratar-se-ia, na sua opinião, de um «lançamento livre». Esta especulação ultrapassa obviamente o domínio da física. Parece ainda ser demasiado arrogante a frase do prefácio: «...a ciência... parece estar à beira de explicar tudo» (p. 9). A apresentação gráfica do livro é original, com uma página de texto e outra de comentários e referências. A tradução não se revela muito agradável de ler, uma vez que não prima pela fluência.

DAVIES, P.—*Deus e a Nova Física*, Edições 70, Lisboa (1986), tradução de V. Ribeiro; original inglês *God and the New Physics*, Dent, Londres, 1983 (existe uma edição da Penguin); 269 pp.

P. Davies, professor de Física Teórica na Universidade de Newcastle, Inglaterra, é um dos autores mais prolixos da actual divulgação científica, tendo

publicado dezenas de obras. A sua escrita é geralmente rigorosa, pelo menos no que diz respeito aos conceitos físicos. Nesta obra embrenha-se nos meandros das ligações de física moderna com a teologia, ou melhor, com as várias teologias. O resultado, embora talvez sedutor para um certo público, tem sido bastante criticado. Com efeito, se é verdade que o autor é um conhecedor profundo da física moderna, o mesmo não se pode dizer a respeito da religião. Algumas afirmações do seu livro foram por isso vivamente contestadas por vários físicos e devem ser encaradas como especulações mais ou menos livres. Nomeadamente a seguinte frase do prefácio é um bom exemplo: «na minha opinião, a ciência oferece um caminho mais certo para Deus do que a religião» (p. 10). A tradução é deficiente, por vezes muito deficiente (compare-se por exemplo o último parágrafo da p. 165, da edição portuguesa, com o respectivo original inglês, ou veja-se se não é engraçada a expressão spin «engraçado», da p. 171). É óbvia a falta de revisão por um especialista que domine os conceitos e a terminologia científica (na tabela da p. 166, escreve-se por exemplo «electrão-neutrino», em vez de «neutrino electrónico»).

Enciclopédia Einaudi, vol. 9, Matéria-Universo, Imprensa Nacional—Casa da Moeda, Lisboa (1986), tradução do original italiano da Enciclopédia Einaudi, dirigida por R. Romano,

(*) Vide parte I, Gaz. Fis., 10, 65 (1987).