OLIMPÍADAS NACIONAIS DE FÍSICA 1994

Porto, 5, 6, 7 Maio 1994

Selecção de cinco alunos para representarem Portugal na 25.ª Olimpíada Internacional de Física (a realizar em Pequim, Rep. Popular da China, Julho 94)

Apuramento de oito alunos para futura selecção de 5 representantes de Portugal na 26.ª Olimpíada Internacional de Física, a realizar na Austrália

PROVA PARA O ESCALÃO A

Problema 1: *Uma luz de fibra*

ATENÇÃO:

Nesta experiência vais utilizar um laser e como tal terás que observar algumas regras de segurança:
O laser já estará ligado no início da experiência, não sendo necessário mexer directamente nele.
Este laser tem uma potência suficientemente baixa para não provocar qualquer efeito por incidência directa na pele, nem olhando para o ponto obtido numa folha de papel. No entanto a sua incidência directa nos olhos pode provocar algumas perturbações de visão. Assim, deves observar as seguintes regras de segurança:

- Deve existir sempre um anteparo a bloquear a saída do feixe para fora da zona de experiência.
- Se tiveres que te baixar de forma a passar com os olhos ao nível da mesa, fecha os olhos ao passar nessa zona.
- Não trabalhes com relógios, pulseiras ou anéis que possuam superfícies lisas, pois podem reflectir a luz acidentalmente (mesmo a superfície de um vidro de relógio pode reflectir mais de 5% da luz!)
- Acima de tudo, **NÃO OLHES O LASER DIRECTAMENTE!**

Quando se trabalha com fibras ópticas, para o transporte de luz, um dos parâmetros mais importantes que é necessário conhecer é o ângulo de espalhamento da luz à saída da fibra.

Neste trabalho pretende-se determinar este ângulo; para tal dispões de um laser, uma fibra óptica e um detector de luz com área pequena e montado numa carruagem provida de um parafuso micrométrico. A experiência já está montada, pois é bastante difícil proceder ao alinhamento da fibra.

Atenção: Durante a execução da experiência deves tomar todos os cuidados necessários de modo a não alterar o alinhamento óptico da fibra.

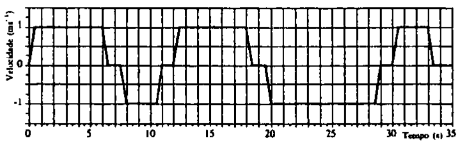
Com auxílio do papel milimétrico traça o gráfico da intensidade da luz em função da distância medida transversalmente em relação ao eixo da fibra.

A partir do gráfico, estima os pontos em que a intensidade decai para um décimo da intensidade máxima.

Apresenta uma estimativa dos erros cometidos nesta determinação.

Problema 2: *Sobe e desce*

Na figura seguinte está representada a velocidade de um elevador em funçã tempo.



No interior do elevador, que tem uma massa de 500 kg, viaja uma pessoa, de massa 50 kg, em cima de uma balança dinamómetro (de massa desprezável). No início dos tempos o elevador encontra-se no R/C.

a) Indica qual é o valor do deslocamento do elevador no intervalo, de tempo 0 a 35 s.

b) Calcula o espaço total percorrido pelo elevador no mesmo intervalo de tempo.

c) Calcula a potência média fornecida pelo motor durante os primeiros 7 s.

d) Calcula o valor indicado pela balança nos intervalos de tempo de 0 a 0,5 s, de 0,5 a 6 s e de 6 a 6,5 s.

PROVA PARA O ESCALÃO B

Problema 1: *Lançamento do dardo*

O lançamento do dardo é uma das mais nobres modalidades olímpicas. A Fig. 1 representa três lançamentos do

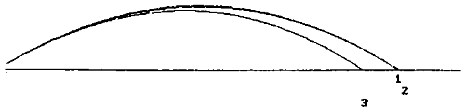


Fig. 1 — Três lançamentos do dardo simulados em computador.

Lançamento	Ângulo de lançamento (°)	Alcance do dardo (m)	Observações
1	45	93.55	Sem resistência do ar e com altura inicial (2 m)
2	44.5	93.72	Sem resistência do ar e com altura inicial (2 m)
3	44	84.97	Com resistência do ar e com altura inicial (2 m)
4	20	58.64	Sem resistência do ar e sem altura inicial
5	35	86.01	Sem resistência do ar e sem altura inicial
6	44.5	91.58	Sem resistência do ar e sem altura inicial
7	45	91.64	Sem resistência do ar e sem altura inicial
8	60	79.35	Sem resistência do ar e sem altura inicial
9	70	78.89	Sem resistência do ar e sem altura inicial

Tab. 1 — Dados correspondentes a 9 lançamentos do dardo simulados em computador.

dardo simulados computacionalmente. Os dados correspondentes a estes lançamentos (casos 1, 2 e 3) estão sumariados na Tab. 1. Nesta Tabela apresentam-se também outros resultados da simulação computacional para vários ângulos de lançamento e nas circunstâncias indicadas. O módulo da velocidade inicial do dardo, v_0, é o mesmo para todos os lançamentos.

Treinadores e atletas utilizam este tipo de simulações para melhorarem as suas marcas.

O dardo pode ser descrito, de uma forma simplificada, como um projéctil que se move a duas dimensões. Para uma dado instante t, a posição do dardo pode ser dada por um par ordenado (x, y) tal que:

$$x = x_0 + v_{0x}\, t$$

e

$$y = y_0 + v_{oy}\, t - gt^2/2\,,$$

onde g é a aceleração gravítica, x_0 e y_0 as posições iniciais segundo os dois eixos, e $v_{0x} = v_0 \cos\theta$ e $v_{0y} = v_0 \operatorname{sen}\theta$ as componentes da velocidade inicial segundo os dois eixos, sendo θ o ângulo de lançamento, i.e. o ângulo que a velocidade inicial faz com a horizontal. Em todas as situações que te vão ser apresentadas considera que $x_0 = 0$.

a) Escreve as equações das componentes v_x e v_y da velocidade segundo os eixos.

b) A expressão que dá o alcance máximo do dardo em função do ângulo de lançamento, *para uma altura inicial nula,* seja, $y_0 = 0$, é:

$$x_{máx} = \operatorname{sen}(2\,\theta)\, v_0^2/g.$$

Deduz esta expressão (trata-se de obter x no instante correspondente a y = 0). A partir de um conjunto de dados da tabela, calcula o valor da velocidade inicial v_0 que foi usado na simulação computacional (g = 9.8 m s^{-2}). Nota: $2 \operatorname{sen}\theta \cos\theta = \operatorname{sen}(2\,\theta)$.

c) Na fig. 1, o lançamento 3 é o do menor alcance. Interpreta com base nos dados da Tab. 1.

d) Comparando os lançamentos 1 e 2 da fig. 1, verifica-se ser 44,5° e não 45° o ângulo a que corresponde um maior alcance ao passo que, para os lançamentos 6 e 7 tal já não acontece. Interpreta.

e) Qual o alcance equivalente ao lançamento 1 nos «Jogos Olímpicos Lunares»? ($g_{Lua} = g_{Terra}/6$). Nota: se na alínea *b*) não determinaste o valor de v_0 usa o valor 30 m s^{-1} para a velocidade inicial do dardo. Atenção! Há uma altura inicial e, por isso, a expressão da alínea *b*) não é aplicável!

f) Na fig. 2 indica-se a evolução das marcas mais significativas no lançamento do dardo. Faz uma previsão para o recorde mundial do lançamento do dardo, no ano 2000. Fundamenta, tanto quanto possível, a tua resposta.

g) Foi obtido o seguinte conjunto de dados experimentais em lançamentos efectuados por uma máquina que lança projécteis com um ângulo de lançamento fixo e velocidade variável. A máquina que lança projécteis com um ângulo de lançamento fixo e velocidade variável. A máquina encontra-se ao nível do solo pelo que $y_0 = 0$ para todos os lançamentos.

Alguns alcances do lançamento do dardo al longo dos anos

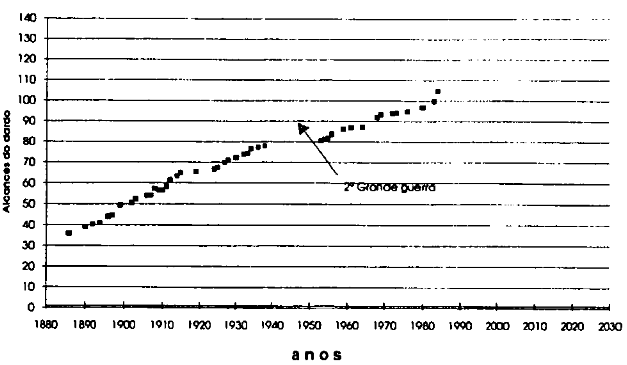


Fig. 2 — Gráfico com sucessivas marcas significativas do lançamento do dardo ao longo dos anos.

$x_{máx.}$ (m)	v_0 (m/s)
5.20	7.9
10.71	11.3
15.02	13.3
26.65	17.9
30.54	19.0
41.31	22.2

Representa graficamente os resultados de modo a obteres uma dependência linear. A partir do gráfico determina o ângulo de lançamento.

Problema 2: *Pouca terra, pouca terra...*

Com um relógio, uma massa suspensa de um fio e um transferidor, é possível determinar a aceleração durante o arranque do comboio em que viajamos.

Quando o comboio descreve uma curva em movimento circular uniforme, é também possível determinar o raio de curvatura da trajectória. Neste caso é necessário conhecer, por exemplo, o comprimento de cada carril (ou visualizar marcos quilométricos).

Durante o arranque, com aceleração constante, a massa suspensa faz um ângulo de 5° com a normal.

a) Qual é a aceleração do comboio durante o arranque?

b) Com este valor de aceleração, qual o tempo necessário para atingir 100 km/hora?

Supõe que o comprimento de cada carril é 30 metros e que sentimos 50 solavancos por minuto. Ao percorrer uma curva circular a massa suspensa faz um ângulo de 32 graus com a normal.

c) Determina a velocidade do comboio e o raio de curvatura da linha férrea.

Dados: g = 9,8 m/s2

Problema 3: *Ampères ao quilo*

O dispositivo indicado na figura seguinte é designado por balança de correntes que, tal comoo nome indica, permite «pesar» correntes eléctricas.

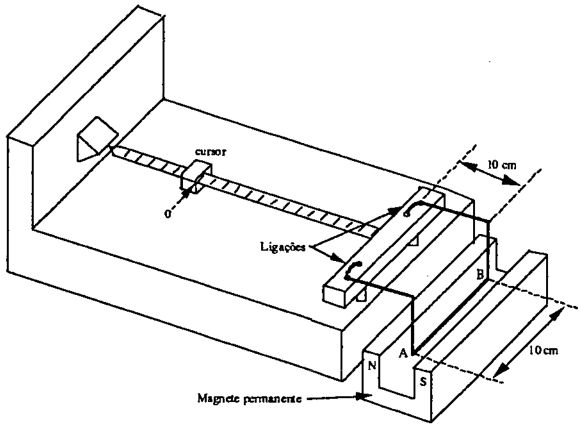
O princípio de funcionamento do aparelho baseia-se na lei de Laplace, que nos dá a força F exercida sobre um condutor rectilíneo de comprimento L, percorrido por uma corrente I, na presença de um campo magnético B *:

$$F = I\,L\,B \operatorname{sen} \theta$$

* A unidade SI do campo magnético é o tesla (T).

em que θ é o ângulo entre as direcções da corrente e do campo magnético. A força é perpendicular ao plano definido pela direcção do campo magnético e pela corrente.

Para o caso da figura, quando a corrente tem o sentido de A para B, a força é dirigida para baixo.

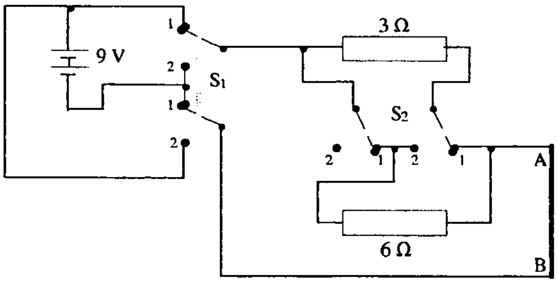


Considera que a balança se encontra em equilíbrio quando não passa corrente no fio AB, estando o cursor na posição zero.

O campo magnético tem o valor de 0.1 T, a distância AB é de 10 cm, a distância do fulcro da balanço ao plano vertical em que se encontra o fio é de 10 cm e a massa do cursor é de 10 gramas.

a) Se o fio for percorrido por uma corrente de 1 A no sentido de A para B, quanto teremos que deslocar o cursor da sua posição inicial para restabelecer o equilíbrio?

Considera agora que à balança de correntes (entre os pontos A e B) é ligado o seguinte circuito.



Cada um dos interruptores S_1 e S_2 é composto por dois contactos móveis ligados por uma barra isoladora rígida.

Considera os interruptores S_1 e S_2 na posição 1, conforme indicado na figura.

b) Calcula o valor e o sentido da corrente no fio AB.

c) Calcula o deslocamento do cursor da balança de correntes para restabelecer o equilíbrio.

Considera agora que mudamos o interruptor S_2 para a posição 2, mantendo S_1 na posição 1.

d) Calcula o deslocamento do cursor que restabelece o equilíbrio da balança.

Considera que alteramos agora o interruptor S_1 para 2 mantendo S_2 em 2:

e) Calcula o deslocamento do cursor que restabelece o equilíbrio da balança.

Nota: Os deslocamentos do cursor devem ser apresentados em relação à posição zero.

PROVA PARA O ESCALÃO C

Problema 1: *O campo olímpico*

Cilindros infinitos ocos com raio R são dispostos de modo que a intersecção das suas superfícies com um plano perpendicular aos seus eixos (paralelos entre si) forma os anéis olímpicos, como mostra a figura.

Cada cilindro é carregado com uma carga uniformemente distribuída pela sua superfície. Na intersecção das superfícies cilíndricas não há redistribuição de cargas pelo que, após a constituição da disposição indicada, cada cilindro mantém, à sua superfície, a distribuição uniforme de carga que tinha inicialmente.

Coordenadas dos pontos:

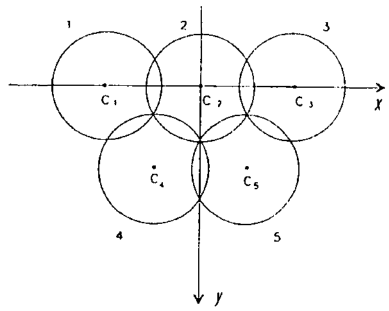
$C_1\ (-\sqrt{3}\,R, 0)$

$C_2\ (0, 0)$

$C_3\ (\sqrt{3}\,R, 0)$

$C_4\left(-\frac{\sqrt{3}}{2}\,R, \frac{3}{2}\,R\right)$

$C_5\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\,R, \frac{3}{2}\,R\right)$



a) Calcula o campo eléctrico criado, em todos os pontos do espaço, por uma distribuição uniforme de carga sobre a superfície de um cilíndrico de raio R e comprimento infinito (carga por unidade de comprimento do cilindro: λ).

b) Havendo cargas em pelo menos dois dos cilindros representados na figura, indica uma condição para que seja nulo o campo eléctrico no ponto (0, 0).

c) Se todos os cilindros estiverem carregados, indica uma situação para a qual se tenha um campo eléctrico nulo em (0, 0).

d) Indica em que ponto(s) do plano da figura é nulo o campo eléctrico criado pela seguinte distribuição uniforme de cargas:

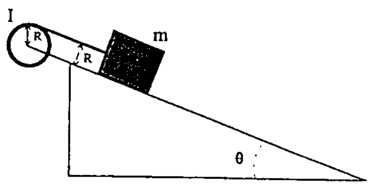
Cilindro 1: carga por unidade de comprimento: 4 λ;
Cilindro 2: carga por unidade de comprimento: 7 λ;
Cilindro 3: carga por unidade de comprimento: 4 λ;
Cilindro 4: carga por unidade de comprimento: λ;
Cilindro 5: carga por unidade de comprimento: λ.

Problema 2: *Sebo nas canelas*

Um motor acoplado a um cilindro é usado para elevar blocos de massa 100 kg sobre um plano inclinado, como se mostra na figura, por intermédio de uma corda enrolada no cilindro. A corda tem massa desprezável; considera ainda que não há atrito entre o bloco e o plano e que o cilindro gira também sem atrito em torno do seu eixo. O momento de inércia do cilindro é 25 kg m^2 e o seu raio 1 m. A corda pode enrolar-se ou desenrolar-se sem escorregar sobre o cilindro.

a) Determina a potência que o motor desenvolve para elevar um bloco com velocidade constante v.

I = 25 kg m^2
m = 100 kg
R = 1 m
θ = 30°



Em dado instante o motor desliga-se do cilindro, ficando este livre para rodar sem atrito.

b) Determina a aceleração que o bloco adquire.
c) Calcula a tensão na corda durante a descida.

No momento em que o cilindro inicia o seu movimento descendente, está a 40 m da base do plano inclinado. Nesse momento está um homem no plano inclinado, a 30 m da base do plano que, apercebendo-se da situação, começa a correr em direcção à base do plano pois só aí, desviando-se para o lado, pode escapar! Admite que o tempo de reacção do homem é de 0.5 s e que o seu movimento é, durante 2.5 s, uniformemente acelerado e depois, atingida a velocidade v_f, uniforme.

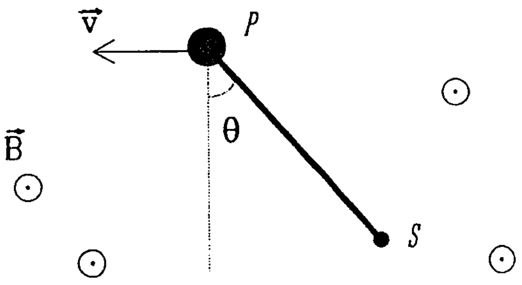
d) Calcula a energia cinética do cilindro quando o bloco atinge a base do plano inclinado.

e) Determina o valor mínimo de v_f para que o homem não seja atingido pelo bloco.

f) Se o momento de inércia do cilindro fosse nulo explica, qualitativamente, qual seria a situação, sabendo que o homem não pode correr a uma velocidade superior à calculada em *e*).

Problema 3: *O satélite português* [1]

Em Janeiro do ano 2001 será colocado em órbita à volta da Terra o veículo espacial Portugália. Num instante prefixado, desprende-se do veículo espacial um satélite S, o qual permanece unido ao Portugália P, através duma barra condutora de comprimento L (ver figura). Supõe-se que a barra é rígida e de massa desprezável e que está revestida por um bom isolador eléctrico. Despreza-se também todo o tipo de atrito. A órbita do Portugália é circular e situada no plano equatorial sendo θ o ângulo que a barra faz com a linha que une o Portugália ao centro da Terra. O satélite S está também no plano equatorial. Supõe-se que a massa do satélite é muito mais pequena do que a do Portugália e que L é muito menor do que o raio da órbita.



a) Deduz para que valor (ou valores) de θ se mantém inalterada a configuração do veículo espacial e do satélite, em relação à Terra; por outras palavras, para que valor (ou valores) de θ se mantém constante este ângulo durante o movimento orbital?

b) Discute, em cada caso, a estabilidade da situação de equilíbrio.

Supõe que, num determinado instante, a barra se afasta de um pequeno ângulo relativamente à configuração estável. O sistema começa então a oscilar como um pêndulo.

c) Exprime o período de oscilação em função do período de revolução do sistema à volta da Terra.

Na figura representa-se também o campo magnético terrestre, perpendicular ao plano da figura (plano da órbita) e dirigido para o leitor. Devido à velocidade orbital da barra, é gerada uma diferença de potencial entre os seus extremos. O meio circundante, a magnetosfera, é um gás rarefeito e ionizado com elevada condutividade eléctrica. O contacto eléctrico com o gás ionizado é estabelecido através de eléctrodos colocados em P (o Portugália) e em S (o satélite). Como resultado do movimento, uma corrente I circula através da barra.

d) Em que sentido circula a corrente na barra? Considera $\theta = 0$.

Posteriormente, inclui-se no circuito um gerador de corrente, já existente no interior do transportador e que mantém, através da barra, uma corrente contínua de intensidade 0.1 A e de sentido contrário.

e) Durante quanto tempo é necessário manter esta corrente para que a altitude da órbita varie de 10 m? Supõe que θ se mantém em zero. Não incluas possíveis efeitos de correntes existentes na magnetosfera.

f) A atitude da órbita aumenta ou diminui?

Dados:

— período da órbita: $T = 5.4 \times 10^3$ s ;

— comprimento da barra: $L = 2.0 \times 10^4$ m ;

— Intensidade do campo magnético terrestre à altitude do satélite: $B = 5.0 \times 10^{-5}$ Wb m^{-2} ;

— massa do veículo espacial Portugália: $m = 10^5$ kg.

Problema 4: *Gás perfeito*

A equação de estado de uma substância é uma expressão matemática que relaciona variáveis de estado dessa substância como seja, no caso de um gás, a pressão (P), o volume (V) e a temperatura absoluta (T). Recorda-se que a temperatura absoluta, expressa em kelvin (símbolo K) se relaciona com a temperatura t expressa em grau Celsius (símbolo °C) através de

$$T = t - 273.15 \qquad (1)$$

Usando uma amostra de gás foi efectuada uma série de experiências, cujos resultados se sumariam a seguir.

A — Estudou-se a variação do volume com a temperatura, mantendo a pressão constante, P_1 = 1000 mbar. Registaram-se os valores seguintes:

[1] Esta questão foi adaptada de um problema saído nas Olimpíadas Internacionais de Física de 1990.

temperatura (°C)	volume (cm³)
16	18.00
27	18.65
34	19.30
47	19.90
60	20.65
68	21.40
77	28.80
90	22.55

B — Estudo-se a variação da pressão com o volume, mantendo a temperatura constante $T_2 = 27°C$. Registaram-se os seguintes valores:

volume (cm³)	pressão (mbar)
11.50	815
13.00	719
15.50	605
17.00	549
18.50	505
19.00	491

C — Estudou-se a variação da pressão com a temperatura, mantendo-se o volume constante. Obtiveram-se os seguintes resultados:

temperatura (°C)	pressão (mbar)
40	1050
50	1090
60	1120
75	1165
95	1240

a) Verifica que a equação de estado de um gás perfeito,

$$P\text{v} = RT, \qquad (2)$$

onde R é uma constante e $\text{v} = V/n$ o volume específico, com n o número de moles de substância, se ajusta aos resultados experimentais. Obtém, para os dados de cada tabela, gráficos y = y(x), introduzindo, quando necessário, novas variáveis, para que os três gráficos sejam rectas. Determina os declives das três rectas.

b) A quantidade de gás utilizado nas experiências A e C foi a mesma, mas diferente da utilizada na experiência B. Determina que quantidade de gás, relativamente a A (ou C), foi utilizado em B e faz uma estimativa do volume ocupado pelo gás na experiência C.

c) A partir do gráfico da experiência C faz uma extrapolação para pressão zero e estima o valor, em graus Celsius, da temperatura absoluta nula. Compara com o valor –273.15°C referido na equação (1).

d) Sabendo que se utilizaram 30 mg de árgon na experiência A, determina o valor da constante dos gases perfeitos R. Compara com o valor tabelado para esta constante e comenta o resultado.

e) O coeficiente de dilatação é definido pela expressão [1]

$$\beta = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \qquad (3)$$

ou seja, é a variação do volume com a temperatura, *à pressão constante P*, dividida pelo próprio volume. Mostra que para um gás ideal se tem $\beta = \frac{1}{T}$. Obtém o valor de β a partir dos dados experimentais apropriados e verifica se o resultado é compatível com a previsão teórica.

Notas: 1 bar = 10^5 N m^{-2}; $M(Ar) = 39.9$ g/mol
$R = 8.314$ J K^{-1} mol^{-1}

Problema 5: *O laser na rede*

ATENÇÃO:

Nesta experiência vais utilizar um laser e como tal terás que observar algumas regras de segurança:
O laser já estará ligado no início da experiência, não sendo necessário mexer directamente nele.
Este laser tem uma potência suficientemente baixa para não provocar qualquer efeito por incidência directa na pele, nem olhando para o ponto obtido numa folha de papel. No entanto a sua incidência directa nos olhos pode provocar algumas perturbações de visão. Assim deves observar as seguintes regras de segurança:

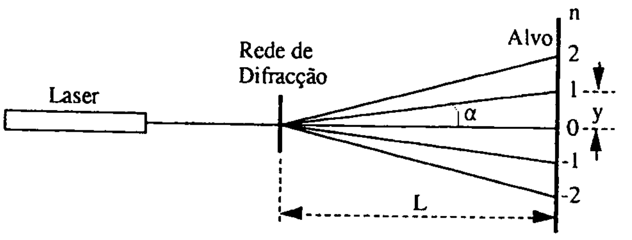
- Deve existir sempre anteparo a bloquear a saída do feixe para fora da zona de experiência.
- Se tiveres que te baixar de forma a passar com os olhos ao nível da mesa, fecha os olhos ao passar nessa zona.
- Não trabalhes com relógios, pulseiras ou anéis que possuam superfícies lisas, pois podem reflectir a luz acidentalmente (mesmo a superfície de um vidro de relógio pode reflectir mais de 5% da luz!)
- Acima de tudo, NÃO OLHES O LASER DIRECTAMENTE!

[1] A derivada nesta expressão chama-se «derivada parcial» e é calculada derivando a função V = V(T) que resulta da equação de estado (2), considerando que a pressão é constante.

Material disponível:

Laser, rede de difracção com suporte, alvo, régua e fita métrica.

Uma rede de difracção é uma sucessão de linhas paralelas transparentes espaçadas regularmente num meio opaco. A interferência construtiva * dá-se nas direcções para as quais a diferença de caminho entre luz provenientede linhas sucessivas é um múltiplo inteiro n do comprimento de onda λ da luz.



a) Determina a relação entre o espaçamento das linhas na rede de difracção d, o comprimento de onda da luz λ, a ordem de difracção n e o ângulo de difracção α.

Pretende-se a seguir efectuar a medição do espaçamento entre as linhas da rede de difracção que utilizas.

b) Descreve detalhadamente todos os procedimentos necessários, salientando os que pensas serem mais importantes para a realização da medida.

c) Apresenta o registo das medidas experimentais que efectuaste.

d) Determina o espaçamento das linhas da rede de difracção que utilizaste, não te esqueças de identificar o número de referência da rede.

e) Calcula o erro que afecta o valor obtido na alínea anterior.

---

* A interferência diz-se construtiva num ponto do alvo quando as ondas provenientes das diferentes linhas se encontram *em fase* nesse ponto (por exemplo a resultante de duas ondas com amplitudes A_1 e A_2 tem amplitude $A = A_1 + A_2$ nesse ponto).

A interferência diz-se destrutiva num ponto do alvo quando as ondas provenientes das diferentes linhas se encontram em oposição de fase nesse ponto (por exemplo a resultante de duas ondas com amplitudes A_1 e A_2 tem amplitude $A = |A_1 - A_2|$ nesse ponto).

ENCONTRO DE PROFESSORES DE TÉCNICAS LABORATORIAIS DE FÍSICA

Porto, 15-16 Setembro 1994

A Delegação Regional do Norte da Sociedade Portuguesa de Física, procurando responder a várias solicitações de docentes do Ensino Secundário, promove nos dias 15 e 16 de Setembro do corrente ano um Encontro de Professores de Técnicas Laboratoriais de Física, a decorrer no Porto, na Escola Secundária de Fontes Pereira de Melo, sob a orientação do Doutor Manuel Joaquim Marques da FCUP e dos licenciados Maria Lucinda Oliveira e Adriano Sampaio e Sousa da ESFPM, com o seguinte programa:

— Didáctica da disciplina;
— Exposição de trabalhos experimentais;
— Avaliação da disciplina.

Atendendo ao carácter essencialmente prático da acção, o número de participantes é limitado, devendo os professores interessados efectuar a sua inscrição até ao dia 9 de Setembro, através do telefone 02-2026620.

O custo de cada inscrição é de 2000$00 para sócios e de 3000$00 para não sócios da SPF.