

XI Olimpíada Ibero-Americana de Física - OIBF 2006

Coimbra, Portugal, 23-30 de Setembro de 2006

PROVA EXPERIMENTAL 1

INSTRUÇÕES:

- 1 – O tempo disponível é de 2h 30m.
- 2 – Escreva de forma clara o seu nome e país na respectiva folha. **NÃO se identifique de qualquer forma nas restantes folhas da prova.** Escreva também o número de folhas que utilizou na resolução da prova.
- 3 - Tem à sua disposição dois tipos de folhas: folhas brancas com logótipo, que são as folhas de resposta onde só pode escrever no lado com o logótipo; e folhas de rascunho (em papel reciclado) que são para entregar mas que NÃO serão corrigidas.
- 4 - Identifique claramente a alínea a que está a responder.
- 5 - Quando terminar, organize e numere todas as folhas de maneira lógica (no canto superior direito), e coloque-as no envelope juntamente com o enunciado e as folhas de rascunho. Se, por exemplo, tiver escrito **5** páginas (incluindo a que tem a sua identificação), a **3ª** página deve ser a **3 / 5**.
- 6 - Não é permitido levar consigo qualquer papel nem qualquer outro material que esteja no posto de trabalho.

EXPERIÊNCIA 1: Pesa-espíritos

OBJECTIVO/OBJETIVO

O objectivo/objetivo desta experiência é a determinação da densidade de um líquido por dois métodos diferentes, um estático e um dinâmico.

INTRODUÇÃO

É conhecida a lenda sobre Arquimedes que, tendo sido solicitado pelo Rei Herão de Siracusa a pronunciar-se sobre se uma determinada coroa era feita de ouro maciço, conseguiu fazê-lo sem destruir a coroa. As reflexões de Arquimedes sobre este assunto levaram-no a descobrir a chamada lei da impulsão. Segundo a lenda Arquimedes correu nu pelas ruas de Siracusa gritando “Eureka! ... Eureka!” (“Descobri! ... Descobri!”).

Portugal é um país produtor de bons vinhos. Para determinar o teor alcoólico do mosto é vulgar utilizar um aparelho (*pesa-espíritos*) que se baseia na lei de Arquimedes.

MATERIAL

- Recipiente grande com líquido de densidade desconhecida
- Tubo de ensaio grande
- Grãos de chumbo
- Paquímetro ou nónio
- Cronómetro/Cronômetro
- Papel milimétrico/milimetrado/milimetrado
- Tesoura
- Balança (a partilhar)

DADOS

aceleração da gravidade: $g = (9,81 \pm 0,01) \text{ m/s}^2$

massa de cada grão de chumbo: $m_{\text{pb}} = (0,88 \pm 0,01) \text{ g}$

PRECAUÇÕES:

- 1 - Quando introduzir grãos de chumbo para dentro do tubo de ensaio não os deixe cair na vertical pois o tubo pode partir-se.
- 2 - O chumbo é tóxico por ingestão.
- 3 - Não deixe entrar líquido para dentro do tubo de ensaio!
- 4 - O acesso à balança deve fazer-se ordeiramente sem conversar com os outros participantes e sem causar qualquer tipo de perturbação.

MEDIDAS E ANÁLISE

A) MÉTODO ESTÁTICO:

1 - Pese o tubo de ensaio vazio. Coloque dentro dele grãos de chumbo em número suficiente de modo que flutue verticalmente. Anote o número de grãos de chumbo introduzidos.

2 – Vá adicionando grãos de chumbo e meça a profundidade (h) que o tubo mergulha em função do número de grãos adicionados (n).

3 - Construa um gráfico, em papel milimétrico/milimetrado, que mostre a dependência da profundidade com a massa adicionada.

4 - A partir dos seus dados experimentais obtenha o valor da densidade do líquido e estime a incerteza experimental desse valor.

B) MÉTODO DINÂMICO:

Considere que o tubo cilíndrico, com uma massa de valor elevado no fundo, flutua verticalmente, com uma parte fora do líquido. Pode supor que o tubo é cilíndrico.

5 - Mostre que se afastar verticalmente o tubo da sua posição de equilíbrio e o largar, o movimento observado é harmónico simples e que o seu período é dado pela expressão:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M_{\text{total}}}{A\rho_L g}}$$

em que M_{total} é a massa total do tubo+chumbo, A é a área da sua secção ao nível do líquido, ρ_L é a densidade do líquido e g é a aceleração da gravidade (deve desprezar forças de atrito).

6 - Meça o período das oscilações verticais do sistema tubo+chumbos, de massa total M_{total} , à sua escolha. Indique a massa total que escolheu, M_{total} , e o período, T , com as respectivas incertezas.

7 - A partir dos dados que recolheu/mediu determine a densidade do líquido e compare com o valor determinado anteriormente pelo método estático. Apresente uma ou mais razões físicas para eventuais diferenças nos valores obtidos pelos dois métodos.

XI Olimpíada Ibero-Americana de Física - OIBF 2006

Coimbra, Portugal, 23-30 de Setembro de 2006

PROVA EXPERIMENTAL 2

INSTRUÇÕES:

- 1 - O tempo disponível é de 2h 30m.
- 2 – Escreva de forma clara o seu nome e país na respectiva folha. **NÃO se identifique de qualquer forma nas restantes folhas da prova.** Escreva também o número de folhas que utilizou na resolução da prova.
- 3 - Tem à sua disposição dois tipos de folhas: folhas brancas com logótipo, que são as folhas de resposta onde só pode escrever no lado com o logótipo; e folhas de rascunho (em papel reciclado) que são para entregar mas que NÃO serão corrigidas.
- 4 - Identifique claramente a alínea a que está a responder.
- 5 - Quando terminar, organize e numere todas as folhas de maneira lógica (no canto superior direito), e coloque-as no envelope juntamente com o enunciado e as folhas de rascunho. Se, por exemplo, tiver escrito **5** páginas (incluindo a que tem a sua identificação), a **3^a** página deve ser a **3 / 5**.
- 6 - Não é permitido levar consigo qualquer papel nem qualquer outro material que esteja no posto de trabalho.

EXPERIÊNCIA 2: Diodos Emissores de Luz (LED) e a constante de Planck

OBJECTIVO/ OBJETIVO

Os objectivos/objectivos desta experiência são:

- Determinar o comprimento de onda da luz emitida por um LED
- Determinar a constante de Planck

INTRODUÇÃO

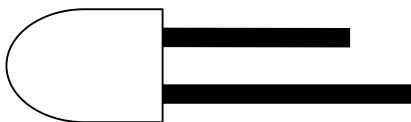
Os díodos emissores de luz ou LED (de *Light Emitting Diode*) emitem luz quando são percorridos por uma corrente eléctrica/elétrica. Esta emissão de luz ocorre quando electrões/elétrons transitam entre estados de diferentes energias ao passarem na junção entre os dois tipos (*n* e *p*) do material semiconductor de que é feito o díodo. A diferença de energia entre estes estados é uma propriedade do material semiconductor. Num díodo, a intensidade de corrente só é significativa quando o díodo é polarizado no sentido directo/direto (corrente eléctrica/elétrica convencional do lado *p*, a um potencial mais alto para *n*, a um potencial mais baixo) e, nestas condições, ocorre a emissão de luz. Na polarização directa/direta é aplicada uma diferença de potencial *V* e, para que um electrão/elétron atravessasse a junção semicondutora, é necessário realizar um certo trabalho *W*. Este trabalho é convertido, em grande parte, na energia dos fotões/fótons emitidos. No entanto, há pequenas perdas de energia, devidas ao efeito Joule e processos que ocorrem no interior da junção, que têm um valor praticamente constante para LED de um mesmo tipo quando **atravessados por uma mesma intensidade de corrente eléctrica/elétrica**. Nestas condições,

$$W = E_f + k,$$

onde E_f é a energia do fotão/fóton emitido e *k* uma constante que representa outras perdas de energia.

A luz emitida por um LED é praticamente monocromática. É possível fabricar LED que emitem luz de diferentes cores, alterando a composição química do material semiconductor. Os LED mais comuns são feitos de ligas de gálio, arsénio/arsênio e alumínio. Alterando a proporção de gálio e alumínio é possível fabricar LED que emitem várias cores na região do visível e do infravermelho.

Os LED comerciais são fornecidos com o material semiconductor encapsulado (plástico) e com dois terminais, sendo o mais longo o positivo (lado *p*).



Para determinar o comprimento de onda, λ , da luz emitida por um LED podemos usar uma rede de difracção/difração. Os ângulos θ_n para os quais ocorrem os máximos de intensidade difractada/difratada por uma rede com espaçamento entre linhas *d*, são dados pela equação:

$$d \sin \theta_n = n\lambda$$

n é um número inteiro

MATERIAL

- Régua graduada
- Folhas de papel branco
- Conjunto de LED do mesmo tipo montados num suporte
- Pilha de 9 V
- Fios e garras (crocodilos) para ligações
- Potenciómetro/Potenciômetro ($470\ \Omega$)
- Resistência ($220\ \Omega$)
- Resistência ($11,4\ \text{k}\Omega$)
- Dois multímetros
- Rede de difracção/difração ($1000\ \text{linhas/mm}$) montada num suporte
- Papel milimétrico/milimetrado

DADOS:

Carga elementar: $e = 1,602 \times 10^{-19}\ \text{C}$

Velocidade da luz no vácuo: $c = 2,998 \times 10^8\ \text{m s}^{-1}$

Constante de Boltzmann: $k_B = 1,381 \times 10^{-23}\ \text{J K}^{-1}$

PRECAUÇÕES:

- 1- A corrente eléctrica/elétrica que atravessa o LED não deverá exceder $50\ \text{mA}$, pois este pode danificar-se. Para protecção/proteção do LED, a resistência de $220\ \Omega$ **deve estar sempre ligada em série com o LED.**
- 2- Tenha em atenção as escalas na utilização correcta/correta dos multímetros, como amperímetros ou como voltmímetro. A manipulação incorrecta do multímetro poderá queimar o seu fusível interno, comprometendo a sua prova.

INFORMAÇÃO

1 - O potenciómetro/potenciômetro tem 3 terminais e permite variar a diferença de potencial entre o terminal central e uma das extremidades, desde 0 até ao valor máximo fornecido pela pilha.

2 - São fornecidos LED com as seguintes características:

Tabela 1:

LED	λ / nm
Azul	470
Verde	??
Vermelho	630
Infravermelho	950

MEDIDAS E ANÁLISE

A) COMPORTAMENTO ELÉCTRICO/ELÉTRICO DOS LED:

Pretende-se determinar a curva característica do LED vermelho, ou seja, a relação entre a intensidade de corrente, I , que o atravessa e a diferença de potencial, V , aplicada aos seus terminais.

1 - Monte um circuito que permita alimentar o LED vermelho com uma diferença de potencial variável em polarização directa/direta. Apresente o esquema do circuito eléctrico/elétrico que montou, incluindo os aparelhos de medida.

2 - Respeitando os limites de segurança, encontre a curva característica para o LED vermelho.

3 - A expressão *teórica* que relaciona a intensidade de corrente com a diferença de potencial é:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{eV}{\eta k_B T}} - 1 \right) \approx I_0 e^{\frac{eV}{\eta k_B T}}$$

em que I_0 e η são constantes características de cada LED, e é a carga elementar, k_B é a constante de Boltzmann e T é a temperatura ambiente (considere $T = 293$ K). A expressão aproximada é válida para $V > 50$ mV. Por outro lado, para diferenças de potencial acima de um certo valor, o comportamento do LED desvia-se da expressão teórica devido à sua resistência interna. Determine o valor das constantes η e I_0 para o LED vermelho.

4 - Ligue os LED em série e também em série com a resistência de 11,4 k Ω e aplique ao circuito a diferença de potencial de 9 V (pode usar os crocodilos/garras para fazer as ligações entre os LED). Indique a intensidade da corrente que percorre o circuito e registe numa tabela o valor da diferença de potencial, V , aos terminais de cada LED.

B) DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA DO LED VERDE:

5 - Para determinar o comprimento de onda do LED **verde** coloque o suporte com a rede de difracção/difração em frente ao LED e verifique visualmente que ocorrem máximos de intensidade de um lado e do outro da direcção/direção frontal. Utilize as folhas brancas para projectar/projetar o espectro de difracção/difração. Determine o comprimento de onda da luz emitida pelo LED verde. Descreva como procedeu, anote as medidas, indique os cálculos e o resultado obtido com a respectiva incerteza.

C) DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE PLANCK, h :

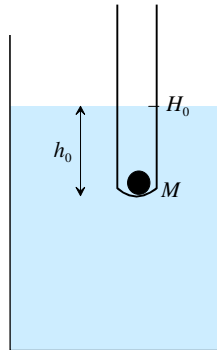
6 - Utilizando os dados da tabela 1 e os resultados obtidos nas partes A e B, construa um gráfico apropriado em papel milimétrico/milimetrado que lhe permita determinar a constante de Planck, h .

7 - Determine, a partir do gráfico, o valor da constante de Planck. (O valor desta constante, obtida por métodos muito precisos, é $h = 6,626 \times 10^{-34}$ J s.)

EXPERIÊNCIA 1: Pesa-espíritos

EXEMPLO DE RESOLUÇÃO:

Esquema da montagem:



As seguintes considerações devem ser feitas inicialmente ou ao longo do trabalho:

M = massa do tubo + massa adicionada necessária para o equilibrar na vertical.

$V_0 = h_0 \pi r^2$ volume de tubo imerso em equilíbrio com a massa M (r é o raio externo da secção do tubo de ensaio e h_0 o comprimento da parte imersa do tubo).

Nestas condições de equilíbrio o peso total do tubo é igual à força de impulsão do líquido:

$$P = I$$

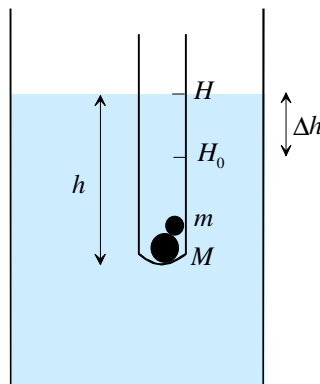
ou

$$M g = V_0 \rho_L g$$

em que ρ_L é a densidade do líquido e g a aceleração da gravidade. Ou seja

$$M = V_0 \rho_L$$

Ao adicionarmos uma massa m o tubo mergulha até atingir uma nova posição de equilíbrio.



Na nova posição de equilíbrio:

$$\begin{aligned}(M + m) g &= V \rho_L g \\ M + m &= V_0 \rho_L + \Delta V \rho_L \\ m &= \Delta V \rho_L\end{aligned}$$

Como $\Delta V = \pi r^2 \Delta h$ vem

$$m = \pi r^2 \Delta h \rho_L$$

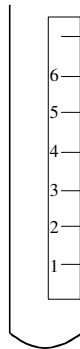
$$\Delta h = \frac{1}{\rho_L \pi r^2} m$$

A constante de proporcionalidade entre a altura a que mergulha o tubo e a massa adicionada depende da densidade do líquido e do raio da secção do tubo.

A) MÉTODO ESTÁTICO

1 -

Para se poder determinar o nível a que o tubo está mergulhado foi introduzido dentro deste um pedaço de folha de papel milimétrico com uma escala marcada:



Massa do tubo já com o papel milimétrico, $M_{\text{tubo}} = 78,8 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$

Nº de grãos de chumbo adicionados = 80

Massa de chumbo adicionado: $80 \times (0,88 \text{ g} \pm 0,01 \text{ g}) = 70,4 \text{ g} \pm 0,8 \text{ g}$

Massa total do tubo+chumbo:

$$M = (78,8 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}) + (70,4 \text{ g} \pm 0,8 \text{ g}) = 149,2 \text{ g} \pm 1,7 \text{ g}$$

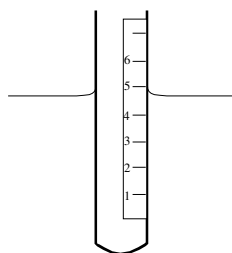
$$M = 0,1492 \text{ kg} \pm 0,0017 \text{ kg}$$

Diâmetro do tubo de ensaio (paquímetro): $d = 29,70 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$

Raio do tubo: $r = 14,85 \text{ mm} \pm 0,03 \text{ mm}$

$$r = 0,01485 \text{ m} \pm 0,00003 \text{ m}$$

Profundidade a que mergulha o tubo com a massa M : $h_0 = 11,9 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$ (o valor de h foi sempre medido na parte superior do menisco)



2 -

Para determinar a dependência da profundidade a que o tubo mergulha em função da massa adicionada fomos adicionando 10 esferas de cada vez e registrando a profundidade a que o tubo atingia o equilíbrio. Os resultados estão na seguinte tabela

Nº de esferas de chumbo adicionadas	Profundidade h / cm ($\pm 0,1$ cm)
0	11,9
10	10,9
20	10,0
30	9,0
40	7,9
50	6,9
60	5,9
70	4,9
80	3,8
90	2,8
100	1,8

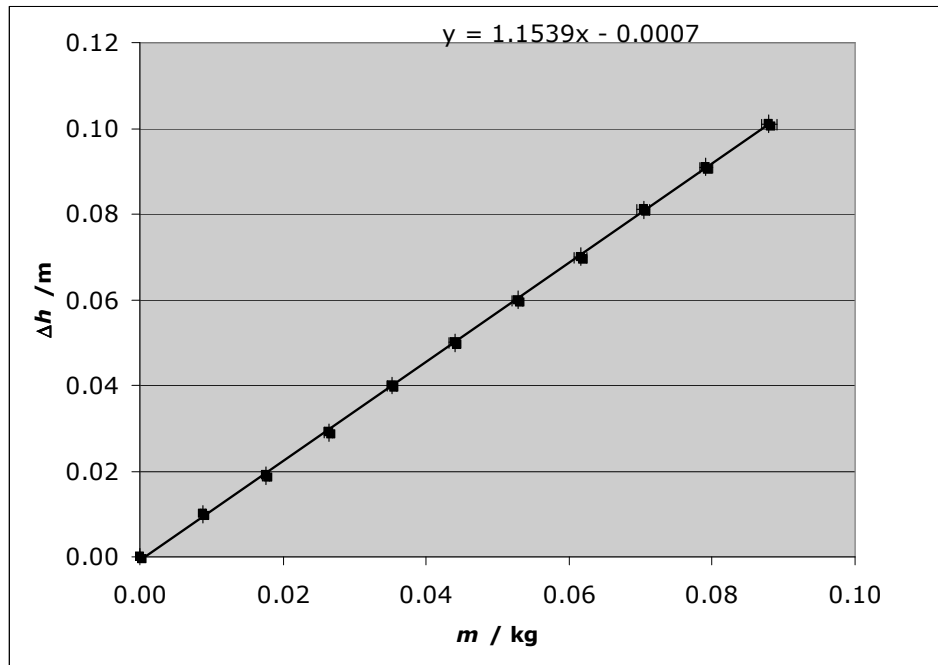
Na seguinte tabela mostram-se os valores determinados bem como a massa total adicionada, m , e a variação de altura, Δh :

Nº esferas	$m \times 10^3$ / kg	h / m ($\pm 0,001$ m)	Δh / m ($\pm 0,002$ m)
0	0	0,119	0
10	$8,80 \pm 0,03$	0,109	0,010
20	$17,60 \pm 0,05$	0,100	0,019
30	$26,40 \pm 0,05$	0,090	0,029
40	$35,20 \pm 0,06$	0,079	0,040
50	$44,00 \pm 0,07$	0,069	0,050
60	$52,80 \pm 0,08$	0,059	0,060
70	$61,60 \pm 0,08$	0,049	0,070
80	$70,40 \pm 0,09$	0,038	0,081
90	$79,20 \pm 0,09$	0,028	0,091
100	$88,0 \pm 0,1$	0,018	0,101

3 -

Na figura seguinte mostra-se o gráfico dos resultados com a indicação do erro nas medidas. O erro nas massas (Δm) é muito pequeno e está incluído no símbolo do

ponto. Está indicada a equação da melhor recta que se ajusta aos pontos experimentais.



O declive da recta é $m = 1,154 \text{ m kg}^{-1}$. Portanto,

$$1,154 = \frac{1}{\rho_L \pi r^2}$$

de onde se extrai o valor da densidade do líquido: $\rho_L = 1/(1,154 \pi r^2)$. Substituindo pelos valores conhecidos:

$$\rho_L = 1251 \text{ kg m}^{-3}$$

4 -

Como a regressão linear não indica o erro na inclinação da recta vamos fazer uma estimativa calculando essa mesma inclinação a partir de dois valores do gráfico, os pontos $(x,y) = (0,0352; 0,040)$ e $(0,088; 0,101)$:

$$m = \frac{(0,101 \pm 0,002) - (0,041 \pm 0,002)}{(0,088 \pm 0,002) - (0,035 \pm 0,002)} = 1,15 \pm 0,06$$

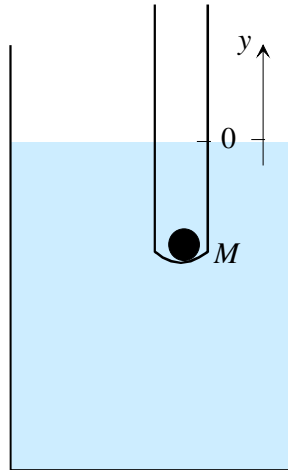
Com este valor para o erro podemos calcular de novo a densidade do líquido:

$$\rho_L = 1/[1,154 \pm 0,06 \times 3,1416 \times (0,01485^2) \pm 4 \times 10^{-5}] \approx (1250 \pm 200) \text{ kg m}^{-3}$$

B) MÉTODO DINÂMICO

5 -

Com a massa do tubo de ensaio+chumbos constante, se afastarmos, na vertical, o tubo do seu ponto de equilíbrio, a variação na força de impulsão vai traduzir-se numa força de restauro da posição de equilíbrio da forma: $F = - \Delta V \rho_L g$



O sinal menos na expressão anterior garante que, ao mergulhar $\Delta V < 0$ ($y < 0$) e $F > 0$, e o simétrico se $y > 0$. Substituindo ΔV pelo seu valor em função do raio do tubo e de y obtemos:

$$F = - (\pi r^2 y) \rho_L g$$
$$F = - (\pi r^2 \rho_L g) y$$

Que é uma força elástica do tipo $F = -k x$, com

$$k = \pi r^2 \rho_L g$$

e o movimento oscilatório tem frequência angular $\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{M}}$ em que M é a massa total do sistema (tubo+chumbos) que oscila. O período é dado por:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{\pi r^2 \rho_L g}}$$

onde r , g e M são conhecidos pelo que, se determinarmos T , podemos calcular ρ_L :

$$\rho_L = \frac{4\pi M}{T^2 r^2 g}$$

6 -

Para equilibrar o tubo na vertical foram adicionadas 100 esferas de chumbo.

Massa total do tubo + esferas de chumbo: $M = 166,8 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$

Procedimento para medir T : mergulha-se o tubo, mantendo-o vertical, e larga-se começando a contar o tempo com o cronómetro. Regista-se o tempo que o tubo demora a completar 5 oscilações. Os resultados estão na tabela seguinte:

Nº oscilações	tempo (/s)	T (/s)
5	4,72	0,94
5	4,62	0,92
5	4,69	0,94
5	4,53	0,91
5	4,53	0,91
5	4,69	0,94
5	4,53	0,91
5	4,61	0,92
5	4,52	0,91

Fazendo a média e determinando o desvio padrão obtemos:

$$T = 0,92 \text{ s} \pm 0,02 \text{ s}$$

Note-se que este valor do erro inclui apenas desvios estatísticos, podendo haver erros sistemáticos.

7 -

Da equação que relaciona a densidade do líquido com o período T , $\rho_L = \frac{4\pi M}{T^2 r^2 g}$, e substituindo os valores conhecidos, obtemos

$$\rho_L = \frac{4 \times \pi (0,1668 \pm 0,0001)}{(0,92 \pm 0,02)^2 \times (0,01485 \pm 0,00003)^2 \times (9,81 \pm 0,01)}$$

$$\rho_L \approx (1140 \pm 180) \text{ kg m}^{-3}.$$

Os dois valores obtidos para a densidade do líquido

A) $1250 \text{ kg m}^{-3} \pm 200 \text{ kg m}^{-3}$ e B) $1140 \text{ kg m}^{-3} \pm 180 \text{ kg m}^{-3}$,

são consistentes dentro do erro experimental.

No segundo método não se entrou em conta com a viscosidade da água. Esta tem duas consequências: 1) o movimento passa a ser amortecido em vez de harmónico simples (como se verifica); 2) há um certo volume de água que passa a oscilar, esta oscilação da água pode ser traduzida num factor correctivo à massa M do tubo no sentido de a aumentar; como estamos a usar o valor medido de M e não o corrigido, que seria maior, o valor encontrado para a densidade por este método deve ser inferior ao valor real.

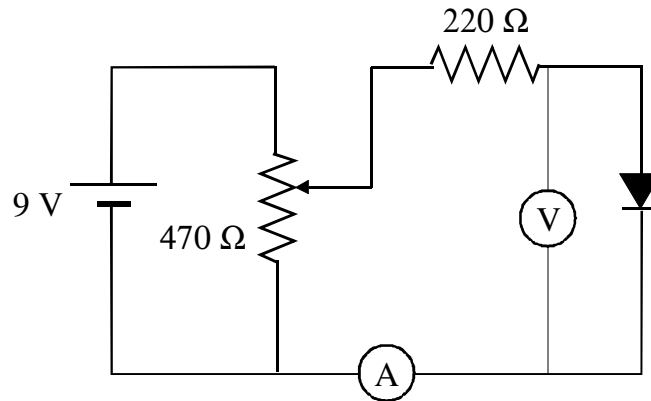
EXPERIÊNCIA 2: Díodos Emissores de Luz (LED) e a constante de Planck

Exemplo de resolução

O aluno deve medir as resistências para identificar a de $220\ \Omega$ e a de $11,4\ \text{k}\Omega$.

A)

1 – Monta-se o seguinte circuito, utilizando o potenciômetro como divisor de tensão, de acordo com a figura:

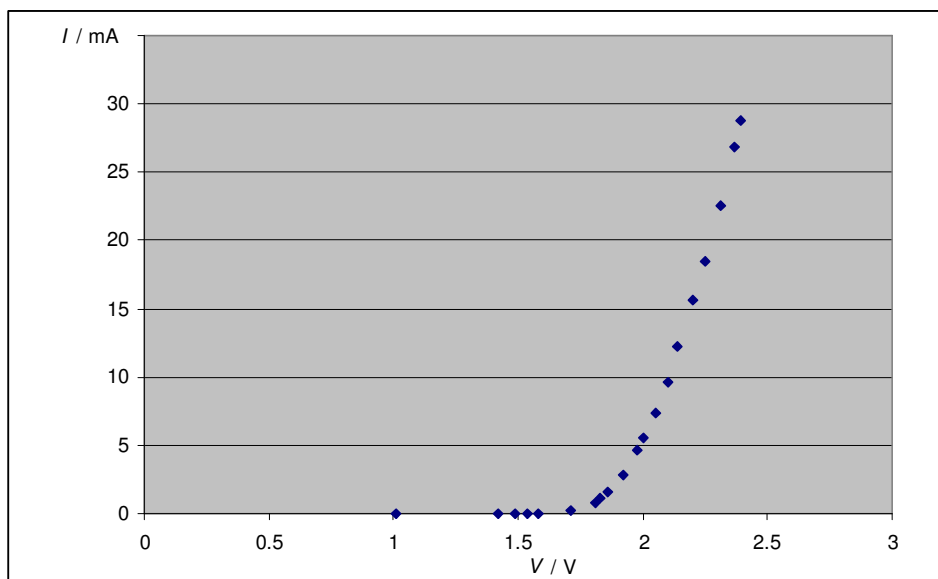


2 - Curva característica do LED vermelho:

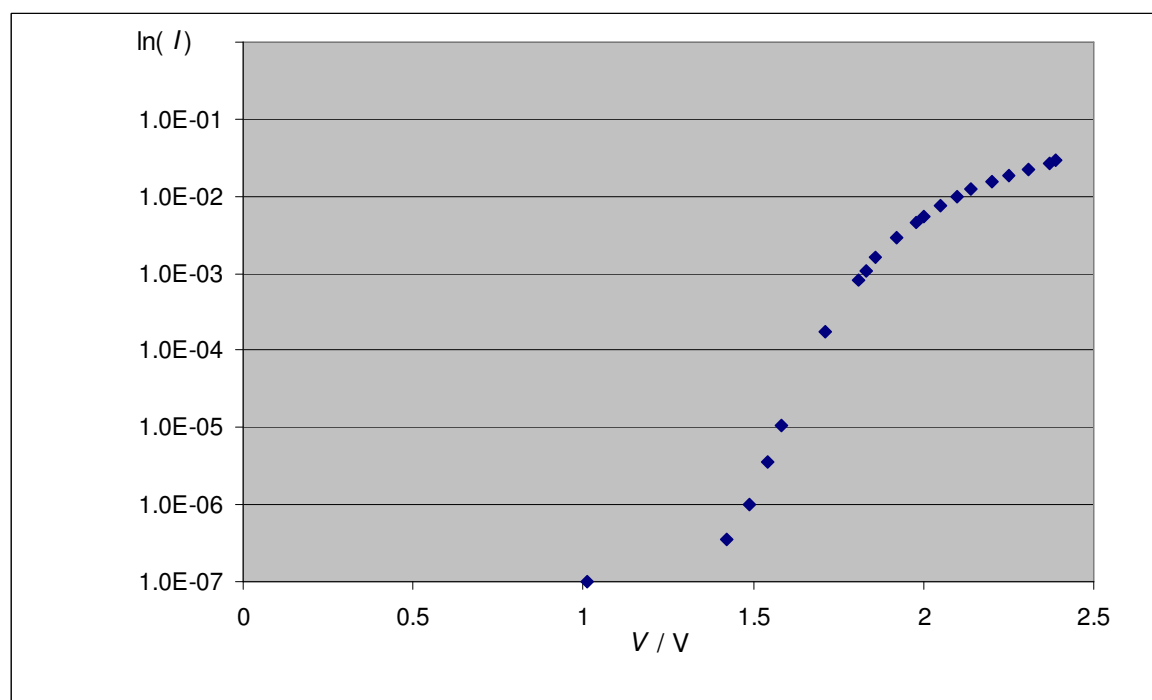
Com a montagem acima variou-se a tensão aplicada ao díodo vermelho por meio do potenciômetro e registaram-se os seguintes valores para a corrente, I , que passa no díodo e a diferença de potencial, V , nos seus terminais (apresenta-se também o logaritmo da corrente em amperes):

V / V	I / mA	$\ln I$
1,01	0,00010	-16,118
1,42	0,00035	-14,865
1,49	0,00102	-13,796
1,54	0,00365	-12,521
1,58	0,01065	-11,450
1,71	0,17180	-8,669
1,81	0,82400	-7,101
1,83	1,09500	-6,817
1,86	1,63700	-6,415
1,92	2,85000	-5,860
1,98	4,64000	-5,373
2,00	5,50000	-5,203
2,05	7,37000	-4,910
2,10	9,67000	-4,639
2,14	12,23000	-4,404
2,20	15,58000	-4,162
2,25	18,42000	-3,994
2,31	22,50000	-3,794
2,37	26,90000	-3,616
2,39	28,80000	-3,547

A figura mostra o gráfico com estes valores:

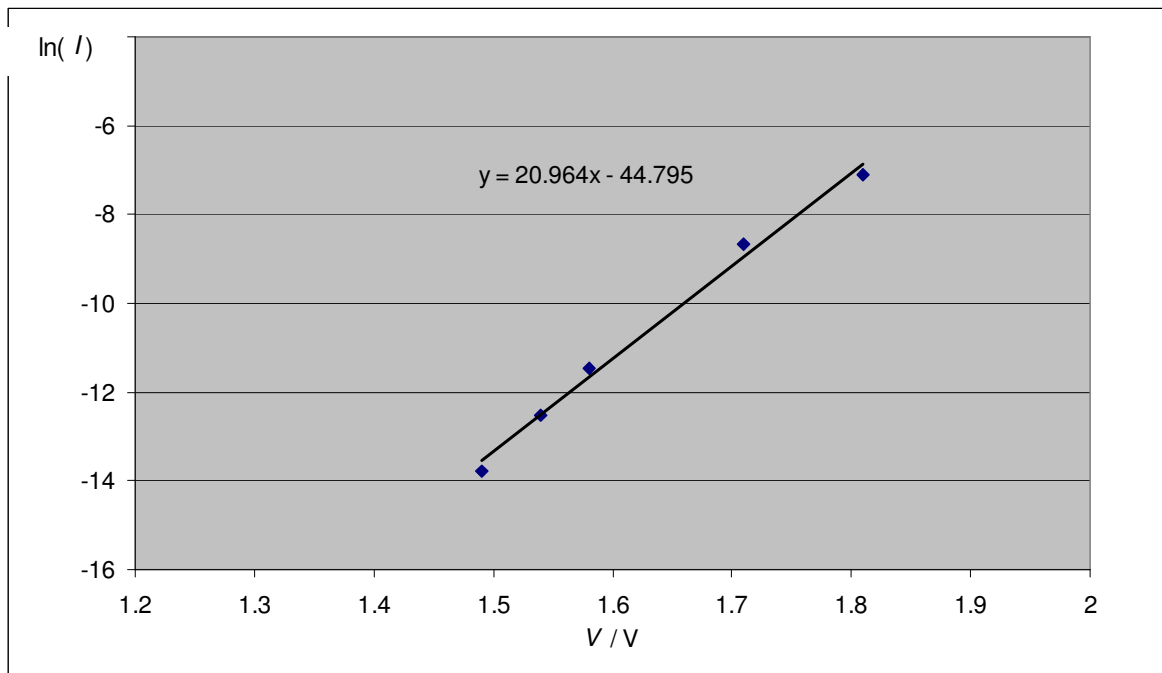


A curva característica pode ser apresentada num gráfico semi-logarítmico como o da figura seguinte:



A escala vertical é logarítmica pelo que, de acordo com a expressão dada deveria obter-se uma recta acima de uma certa diferença de potencial. Este regime linear ocorre entre cerca de 1,5 e 1,8 V. O declive muda acima de $\sim 1,8$ V devido ao facto de o díodo entrar num regime (regime resistivo) diferente daquele em que a expressão é válida.

3 - Para determinar as constantes η e I_0 , utilizam-se os pontos em que o comportamento é linear, ou seja em que a expressão teórica é válida (assinalados na tabela). Usando esses pontos obtém-se o seguinte gráfico:



Da equação da recta que melhor se ajusta a estes pontos ($y = m x + b$) obtemos η e I_0 . De

$$I = I_0 e^{\frac{eV}{\eta k_B T}}$$

tomando o logaritmo

$$\ln(I) = \ln(I_0) + \frac{e}{\eta k_B T} V$$

vem

$$b = \ln(I_0) \quad m = \frac{e}{\eta k_B T}$$

donde se obtém:

$$I_0 = e^b$$

$$\eta = \frac{e}{m k_B T}$$

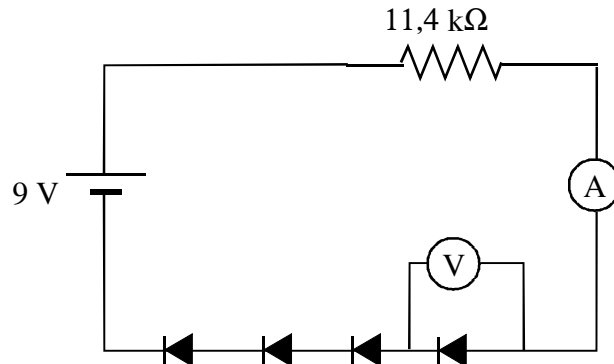
ou seja, para os valores de declive e ordenada na origem obtidos na regressão linear,

$$I_0 = 3,5 \times 10^{-20} \text{ A}$$

$$\eta = 1,9$$

4 -

Esquema da ligação dos LEDs em série:



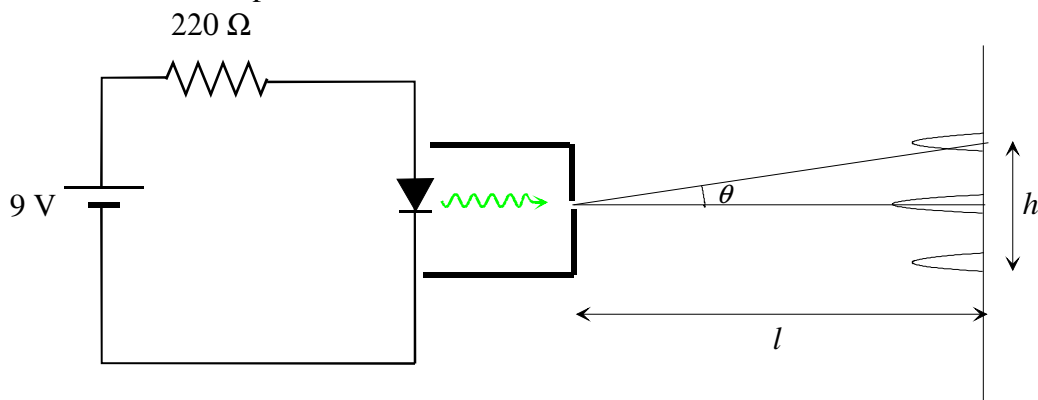
A corrente que passa em cada LED tem o valor de $I = 118 \mu\text{A}$. Na seguinte tabela estão os valores das tensões medidas nos terminais de cada LED, bem como o valor do comprimento de onda e frequência da radiação que cada um emite:

LED	λ / nm	ν / Hz	V / V
Infra-vermelho	950	$3,16\text{E}+14$	1,178
Vermelho	630	$4,76\text{E}+14$	1,755
Verde	??	??	2,359
Azul	470	$6,38\text{E}+14$	2,475

B) Determinação do comprimento de onda do LED Verde:

5)

Ligou-se o LED verde à pilha em série com a resistência de 220Ω .



Colocou-se a rede de difracção com o tubo preto como indicado na figura e um alvo (folha A3) à distância l . A distância entre os dois primeiros picos de difracção de cada lado do máximo central designa-se por h .

Resultados:

$$l = 0,278 \text{ m} \pm 0,002 \text{ m}$$

$$h = 0,350 \text{ m} \pm 0,005 \text{ m}$$

$$d = 1/1000 \text{ mm} = 1 \times 10^{-6} \text{ m (dado)}$$

O valor de θ é:

$$\theta = \arctan\left(\frac{h}{2l}\right), \quad \theta = 0,56 \pm 0,02 \text{ rad}$$

A partir da expressão ($n = 1$)

$$d \sin \theta = \lambda$$

obtém-se

$$\lambda = 533 \text{ nm} \pm 20 \text{ nm}$$

supondo que a rede de difracção tem um espaçamento d com erro desprezável.

C)

6 -

A frequência do LED verde é $\nu = \frac{c}{\lambda} = 5,62 \times 10^{14} \text{ Hz}$. Como a intensidade de corrente é a mesma nos 3 LEDs é válida a expressão

$$W = E_f + k$$

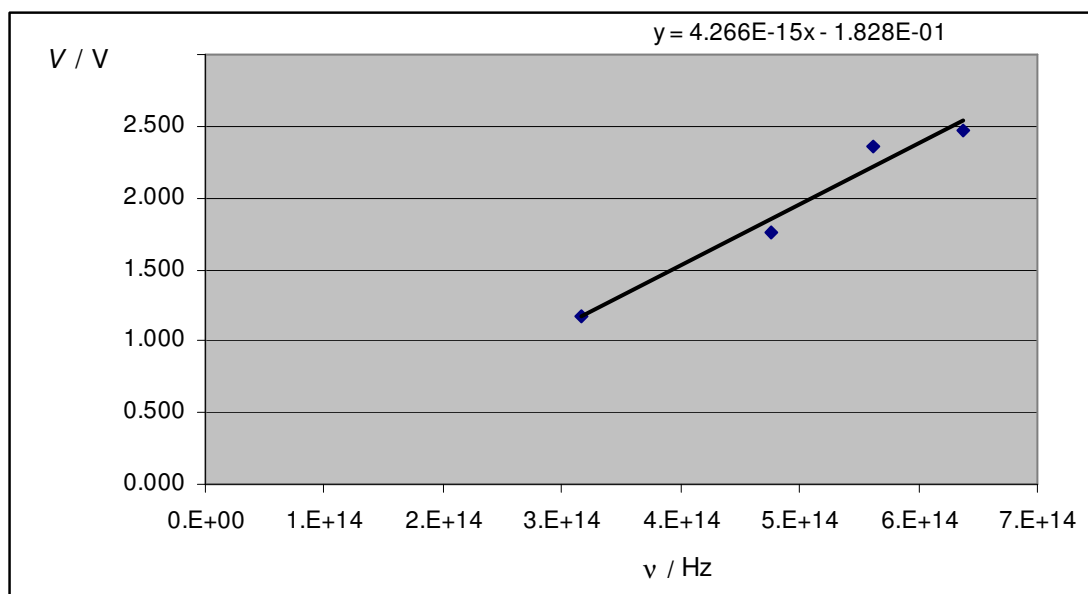
de onde obtemos

$$eV = h\nu + k$$

ou ainda

$$V = \frac{h}{e}\nu + k$$

O seguinte gráfico mostra os valores medidos de V em função da frequência ν para os quatro LEDs.



Da inclinação da recta, m , que melhor se ajusta a estes pontos obtemos:

$$h = m e = (6,83 \pm 0,89) \times 10^{-34} \text{ J s}$$

O valor obtido é cerca de 3% superior ao tabelado mas o desvio está dentro da incerteza experimental.