

31ª Olimpíada Internacional de Física

Leicester, Reino Unido

Prova Experimental

Quarta-feira, 12 de Julho de 2000

Por favor, leia isto primeiro:

1. O tempo disponível para responder a cada uma das duas (2) questões experimentais é 2h30m. A resposta à primeira questão será recolhida 2h30m após o início da prova.
2. Use apenas a caneta fornecida com o seu saco.
3. Use apenas a primeira página das folhas de papel fornecidas. Não use o lado marcado com uma cruz.
4. Cada questão deve ser respondida numa folha separada.
5. Para cada questão, além das *folhas brancas* em que pode escrever, há uma *folha de respostas* onde *deve* colocar os resultados finais que obtiver. Os resultados numéricos devem ser escritos com os dígitos que achar apropriados face aos dados fornecidos. Não se esqueça de indicar as unidades utilizadas.
6. Nas folhas brancas escreva todos os resultados de todas as medidas que efectuar e tudo o que considerar necessário para a resposta à questão e que pretender que seja classificado. Deve, no entanto, usar principalmente equações, números, símbolos, gráficos e diagramas. Por favor, use *o mínimo de texto possível*.
7. *É absolutamente indispensável* que indique o país (*Country*) e o seu número de estudante (*Sudent No.*) nas caixas no topo de cada folha de papel usada. Além disso, nas folhas brancas usadas em cada questão, deve colocar o número da questão (*Question No.*), deve numerar as páginas (*Page No.*) e deve também indicar o número total de folhas brancas que usou para cada questão e que deseja ver corrigidas (*Total No. of pages*). Convém também escrever no início de cada folha o número da questão e a alínea a que está a responder. Se usar algumas folhas brancas para rascunho que, portanto, não deseja que sejam corrigidas, trace-as com uma cruz grande e não as numere.
8. Quando acabar, ordene todas as folhas. (Para *cada* questão, coloque primeiro as folhas de respostas, depois as folhas brancas usadas, por ordem, e depois as folhas que não deseja que sejam corrigidas. As folhas não utilizadas e o enunciado devem ser colocadas em último lugar.) Coloque as folhas de cada questão no envelope relativo a essa questão e deixe tudo sobre a sua secretária. Não pode levar *quaisquer* folhas de papel consigo para fora da sala.

Problema 4

ESPECTRÓMETRO DE CDROM

Nesta experiência, NÃO é necessário fazer qualquer tipo de tratamento de erros nem indicar as incertezas nas medidas.

O objectivo deste trabalho é produzir um gráfico que mostre como varia a condutância* de uma resistência sensível à luz (LDR) com o comprimento de onda da radiação nela incidente (na zona visível do espectro).

*condutância $G = 1/\text{resistência}$ (unidade: siemens, $1\text{ S} = 1\ \Omega^{-1}$)

Esta experiência tem cinco partes:

- *Usar uma rede de difracção côncava (um bocado de um CDROM) para produzir um espectro de primeira ordem, focado, da luz emitida por uma lâmpada A (com um filamento de tungsténio, 12 V, 50W).*
- *Medir e representar num gráfico a condutância do LDR em função do comprimento de onda da radiação incidente, varrendo o espectro de primeira ordem.*
- *Mostrar que o filamento da lâmpada A se comporta, aproximadamente, como um corpo negro ideal.*
- *Descobrir qual é a temperatura do filamento da lâmpada A quando está ligada à fonte de 12 V.*
- *Corrigir o gráfico da condutância versus comprimento de onda, tendo em conta a distribuição de energia no espectro da luz emitida pela lâmpada A.*

Precauções

- *Cuidado com as superfícies quente!*
- *A diferença de potencial aos terminais da lâmpada B não deve exceder 2 V, pois pode danificá-la de forma irreversível. Contudo, se tal suceder, há lâmpadas de substituição que poderá solicitar.*
- *Quando o multímetro está regulado para medir resistências (posição ohmímetro) não deverá ser ligado a qualquer parte do circuito que esteja sob tensão, sob pena de danificar o aparelho.*

Procedimento

- (a) Na montagem ilustrada na Figura 1 a luz da lâmpada A incide perpendicularmente numa rede de difracção côncava e o LDR foi colocado no foco do espectro de **primeira ordem**. Mova o LDR sobre este espectro de **primeira ordem**, varrendo o espectro, e

observe de que modo a sua resistência (*medida pelo multímetro X*) varia com a posição do LDR.

- (b) (i) Meça e registe a resistência R do LDR em vários pontos do espectro de primeira ordem. Transcreva os resultados para a tabela fornecida.
- (ii) Faça um gráfico da condutância G do LDR em função do comprimento de onda λ . Use o papel milimétrico fornecido.

Nota O ângulo θ entre a direcção da luz de comprimento de onda λ do espectro de primeira ordem e a direcção da luz branca incidente na rede de difracção (Figura 1) é dado pela equação

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

onde d é a separação das linhas na rede (distância entre duas linhas consecutivas). A rede de difracção tem 620 linhas por mm.

O gráfico traçado na alínea (b)(ii) não representa correctamente a sensibilidade do LDR para diferentes comprimentos de onda, dado que não foram consideradas as características da luz emitida pela lâmpada A. Estas características serão estudadas nas alíneas (c) e (d), o que permitirá corrigir a curva na alínea (e).

- ***Note que na parte (c) há três multímetros ligados como amperímetros. NÃO deve ajustar nem mover estes multímetros. Use o quarto multímetro (designado por X) para todas as medidas de tensão.***

- (c) Se o filamento de uma lâmpada de 50 W se comportar como um corpo negro, pode-se mostrar que a diferença de potencial V aos seus terminais e a corrente I que o percorre estão relacionadas do seguinte modo:

$$V^3 = CI^5 \quad \text{onde } C \text{ é uma constante.}$$

Meça pares de valores (V , I) para a lâmpada A (dentro da lata). *O amperímetro já está ligado e não deve ser ajustado.*

- (i) Registe na tabela apropriada da folha de respostas os valores experimentais que obtiver e todos os outros valores que calcular.
- (ii) Faça um gráfico que mostre que o filamento se comporta como um corpo negro. Use o papel milimétrico fornecido.
- (d) Para corrigir o gráfico traçado na alínea (b)(ii) é necessário saber a temperatura a que se encontra o filamento de tungsténio da lâmpada A quando está ligada. A variação da resistência do filamento com a temperatura pode ser usada para encontrar a temperatura de funcionamento.

- Foi-lhe fornecido um gráfico da variação da resistividade (em $\mu\Omega\text{cm}$) do tungsténio com a temperatura (em K).

Caso se conhecesse a resistência do filamento da lâmpada A a uma dada temperatura de referência, a temperatura do filamento quando a lâmpada está ligada à fonte de 12 V poderia ser determinada através da medição da sua resistência nesta situação. Contudo, a resistência do filamento à temperatura ambiente é demasiado pequena para poder ser medida com precisão. Uma das duas lâmpadas adicionais que lhe foram fornecidas (a lâmpada C – a mais pequena) tem uma resistência superior, que já é *mensurável* com precisão à temperatura ambiente. Por isso, a lâmpada C vai ser usada como intermediário na medida da temperatura do filamento de A. Será ainda utilizada uma lâmpada adicional (a lâmpada B) que é absolutamente idêntica à lâmpada A. As lâmpadas B e C estão ligadas a uma placa tal como mostra a Figura 2.

- Meça a resistência da lâmpada C à temperatura ambiente quando está apagada (*use o multímetro X e assumo que a temperatura ambiente é 300 K*). Registe esta resistência, R_{C1} , na folha de respostas.
 - Use o circuito ilustrado na Figura 2 para comparar os filamentos das lâmpadas B e C. Com o reóstato (resistência variável) faça variar a corrente que percorre C. Ajuste a corrente que percorre C até “ver” que os dois filamentos estão à mesma temperatura. Se o filamento mais pequeno estiver mais frio do que o filamento maior, vê-lo-á como um anel negro. Meça as resistências das lâmpadas B e C quando estiverem à mesma temperatura e registe os seus valores, R_{C2} e R_B , na folha de respostas. *Repare que os amperímetros já estão ligados.*
 - Recorra ao gráfico da resistividade em função da temperatura para determinar a temperatura dos filamentos das lâmpadas B e C quando estas se encontram à mesma temperatura. Registe esta temperatura, T_{2V} , na folha de respostas.
 - Meça a resistência do filamento da lâmpada A (dentro da lata) quando está ligada à fonte de alimentação de 12 V a.c.. *Tenha de novo em atenção que o amperímetro já está ligado e não necessita de ser reajustado.* Registe a resistência, R_{12V} , na folha de respostas.
 - Utilize os valores da resistência da lâmpada A a 2 V e a 12 V e a sua temperatura a 2 V para determinar a temperatura quando está a funcionar a 12 V. Registe esta temperatura, T_{12V} , na tabela que se encontra na folha de respostas.
- Tem à sua disposição os gráficos da intensidade relativa da radiação emitida por um corpo negro (curvas de Planck) a 2000 K, 2250 K, 2500 K, 2750 K, 3000 K e 3250 K.

- (e) A partir destes gráficos e do resultado da alínea (d)(v) esboce o gráfico corrigido da condutância do LDR (em unidades arbitrárias) em função do comprimento de onda. Use o papel milimétrico fornecido. Considere que a condutância do LDR, quando iluminado por radiação de um dado comprimento de onda, é directamente proporcional à intensidade da radiação com esse comprimento de onda. Esta hipótese é aceitável, visto que o LDR está a ser iluminado por uma fonte de baixa intensidade. Assuma também que a rede de difracção difracta com igual intensidade todos os comprimentos de onda do espectro de primeira ordem.

Figura 1 – Montagem experimental para (a)

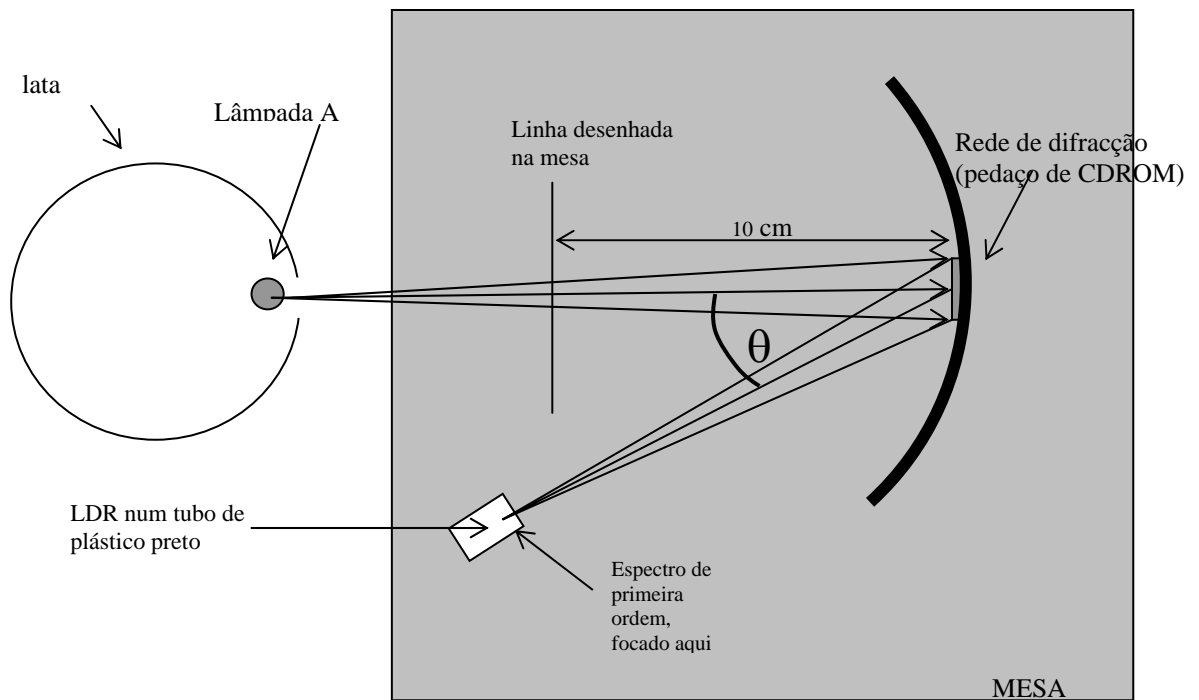


Figura 1: Detalhe da rede de difracção

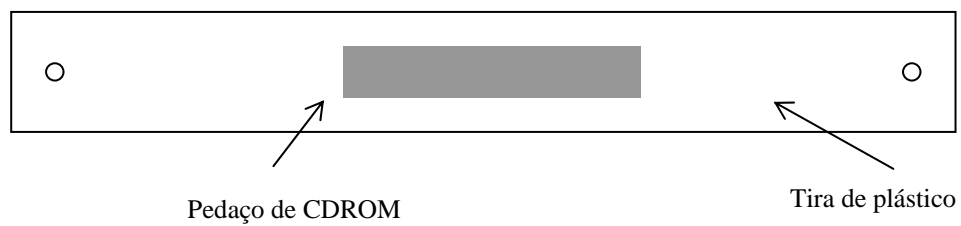


Figura 1: Detalhe - LDR e Multímetro

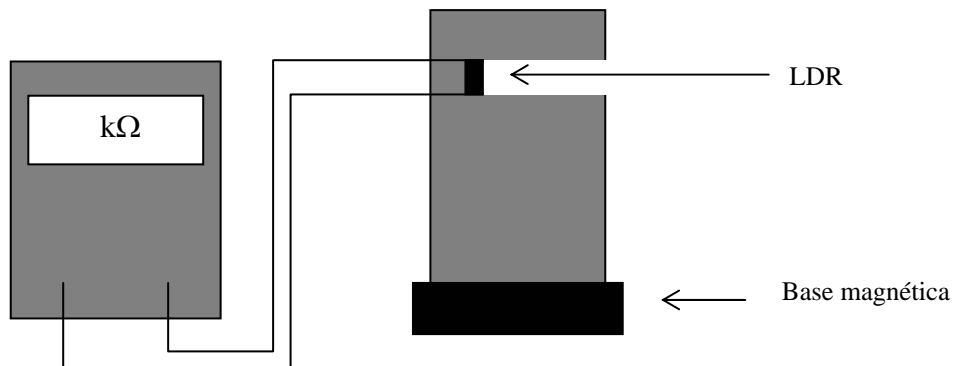
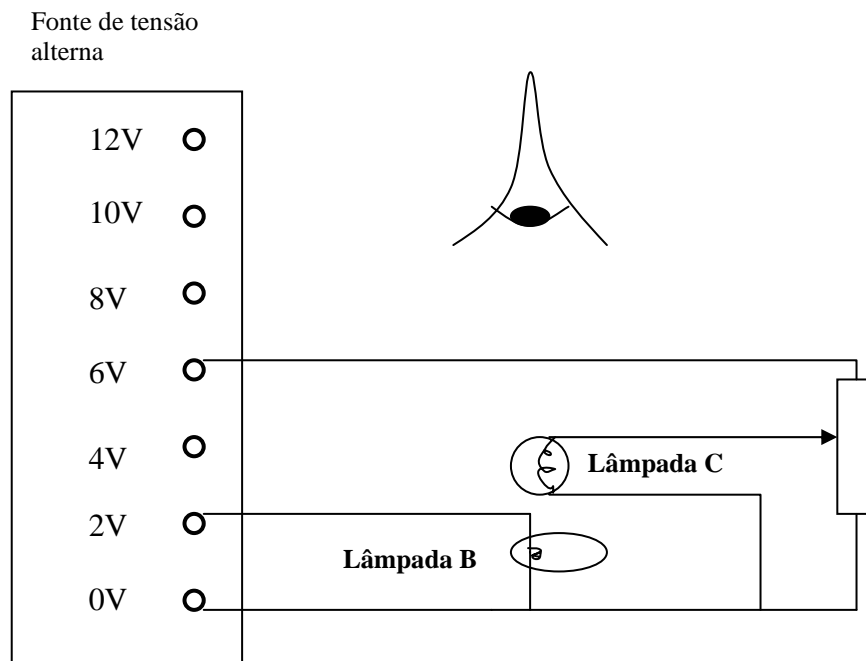
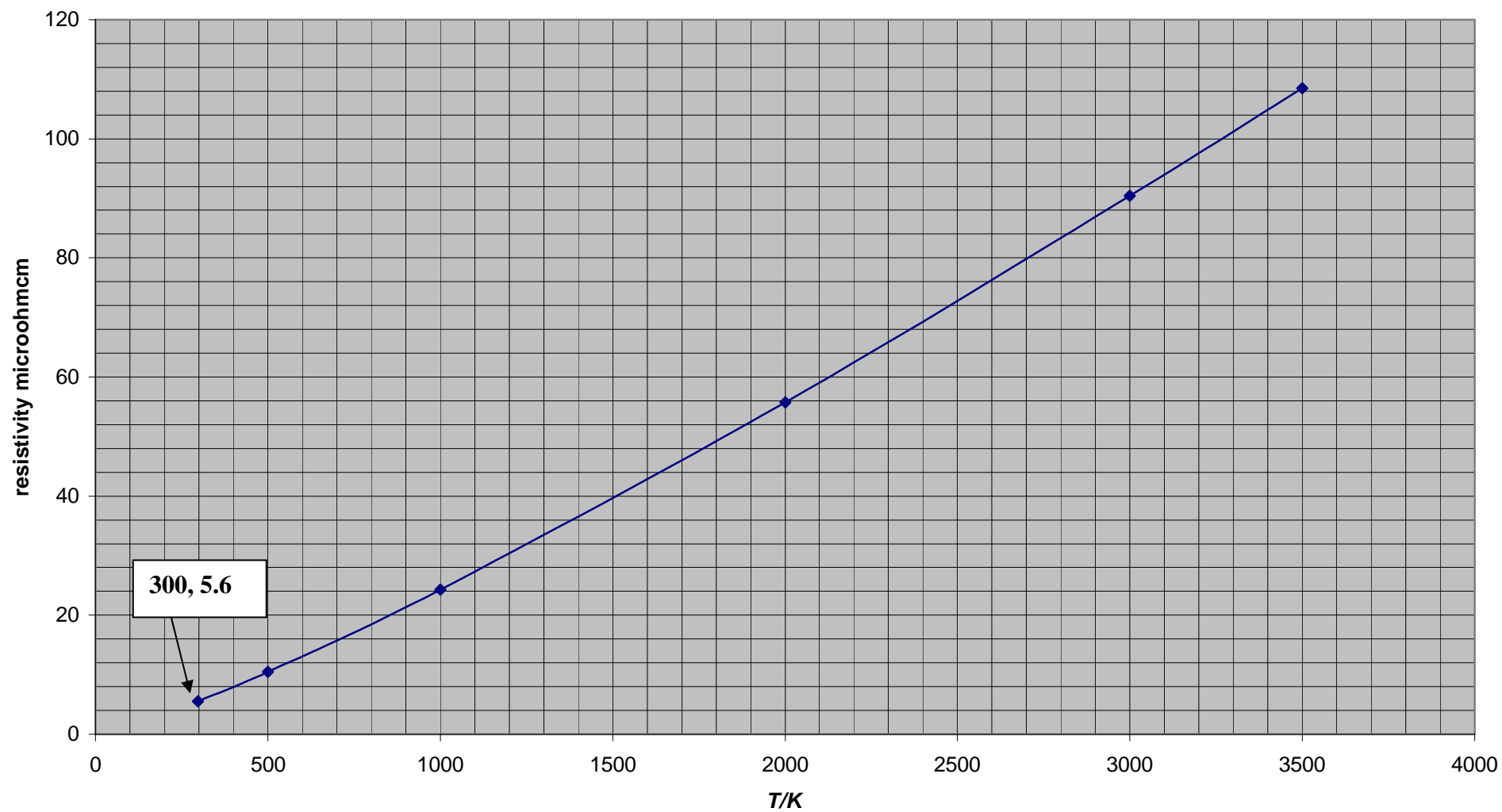


Figura 2

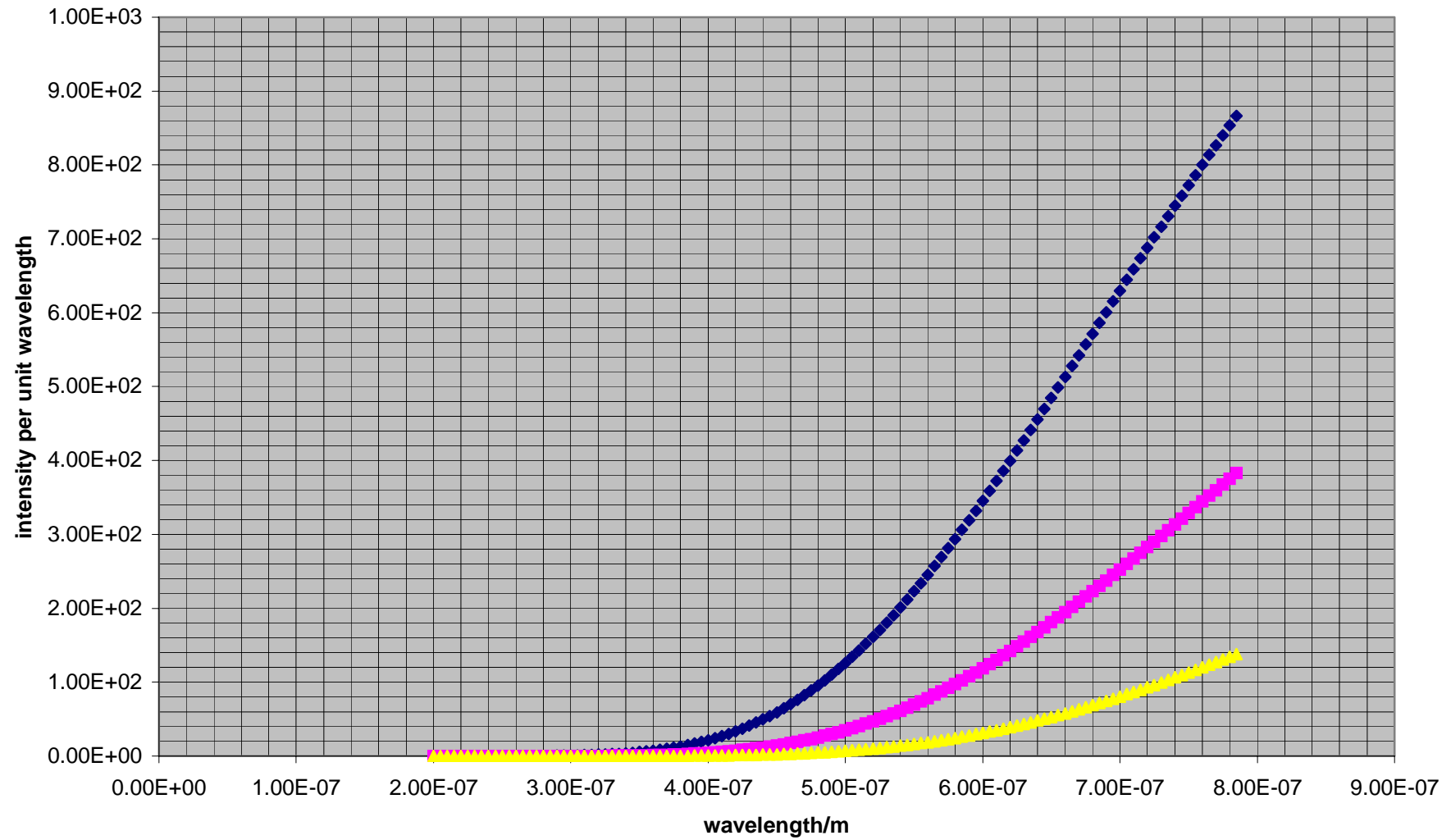
Neste esquema não são indicados os aparelhos de medida



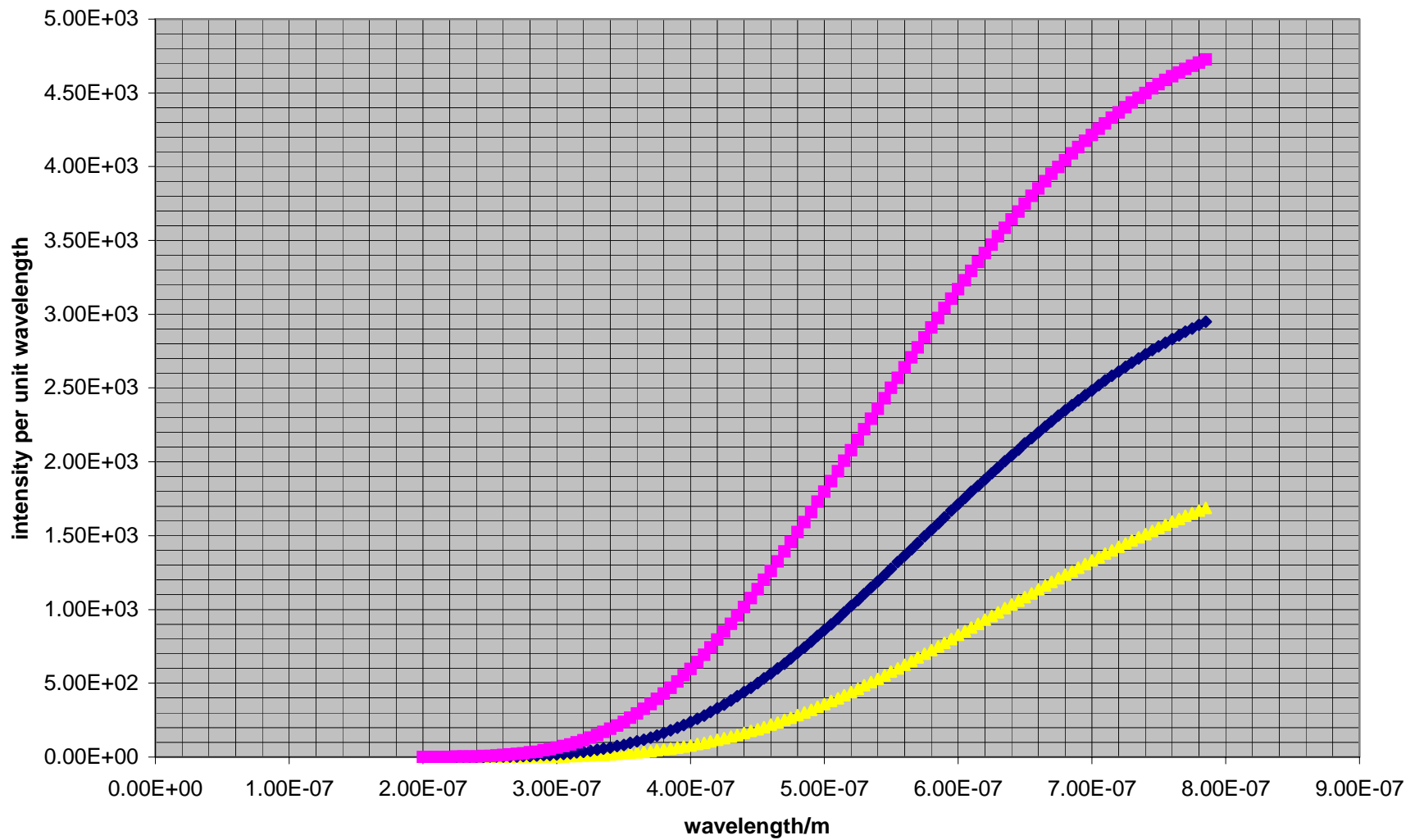
Graph 1: tungsten resistivity



Graph 2(a): Planck Curves for 2000 K, 2250 K, 2500 K



Graph 2(b): Planck Curves for 2750 K, 3000 K, 3250 K



[illegible]

Country

Student No.

Question No.

Page No.

Total No.
of pages

(c)(ii)

Faça um gráfico que mostre que a lâmpada A se comporta como um corpo negro. Use o papel milimétrico fornecido.

(1 valor)

(d)

Complete a tabela:

(3 valores)

(i) Resistência da lâmpada C, apagada, a 300 K	$R_{C1} =$	
(ii) Resistência das lâmpadas B e C quando ajustadas para a mesma temperatura	$R_{C2} =$	$R_B =$
(iii) Temperatura dos filamentos das lâmpadas B e C quando ajustadas para a mesma temperatura	$T_{2V} =$	
(iv) Resistência da lâmpada A quando ligada à fonte de tensão alterna de 12 V	$R_{12V} =$	
(v) Temperatura do filamento da lâmpada A quando ligada à fonte de tensão de 12 V	$T_{12V} =$	

--

(e) Calcule e registre os valores corrigidos da condutância G' (escala arbitrária) na tabela abaixo. Faça um gráfico dos valores corrigidos da condutância G' do LDR em função do comprimento de onda λ . Use o papel milimétrico fornecido.

(2 valores)

[illegible]

Problema 5

O Disco Magnético

Nesta prova experimental DEVERÃO ser estimadas as incertezas experimentais nas medidas e indicadas as incertezas que afectam os resultados e os gráficos.

Objectivo

Investigar as forças que actuam num disco magnético que desliza num plano inclinado.

Advertência

*Tenha muito cuidado para **NÃO tocar** nas faces planas do disco ou na superfície do plano inclinado. Use as luvas que lhe forneceram. As faces do disco têm autocolantes de papel de cores diferentes para efeitos de identificação, mas as características, no que respeita ao atrito, das duas faces de papel são semelhantes.*

Como efectuar medidas de tempo

Há dois sensores por baixo da calha metálica (plano inclinado), localizados na parte inferior da calha. O primeiro sensor inicia a contagem do tempo e o o segundo sensor pára-a. A luz verde da caixa electrónica acende quando o disco se encontra posicionado entre estes dois sensores. O princípio usado para medir o tempo é o seguinte. Um condensador localizado no interior da caixa electrónica é carregado por uma fonte de corrente de intensidade constante (esta corrente é proporcional à força electromotriz da pilha que alimenta o circuito). Um multímetro mede a diferença de potencial aos terminais deste condensador. A luz verde permanece acesa durante a carga do condensador. A leitura do multímetro é proporcional ao tempo de passagem do disco entre os sensores. O valor indicado pelo multímetro dá o tempo em unidades arbitrárias, com um factor de conversão explicitado mais abaixo.

Operação da caixa electrónica como “relógio”

- i. Prima o botão lateral preto e mantenha sempre este botão premido enquanto efectuar as medidas.
- ii. Se a luz verde acender nesta altura, faça passar o disco (com a face clara – amarela – virada para cima) sobre o último sensor da calha. Este procedimento deverá apagar a luz verde. É necessário que a luz verde esteja **apagada** antes de iniciar uma medida.

- iii. A diferença de potencial aos terminais do condensador pode ser reduzida a zero antes de cada medida de tempo carregando no botão vermelho e mantendo-o premido durante, pelo menos, 10 s.
- iv. A diferença de potencial aos terminais da pilha (força electromotriz) pode ser medida ligando o multímetro através dos terminais marcados com o símbolo de um gerador.

Definições

- i. Considere um corpo que desliza num plano inclinado e se encontra sujeito a uma força retardadora F , tangencial ao plano, e a uma reacção normal N . Define-se

$$\xi = \frac{F}{N}$$

- ii. Se esta força retardadora é devida apenas ao atrito, ξ é igual a μ_k , que é o coeficiente de atrito cinético das superfícies em contacto. Este coeficiente é independente da velocidade.
- iii. Quando a face escura (*dark*) – azul – do disco está em contacto com o plano define-se

$$\xi_d = \frac{F_d}{N}$$

onde a força tangencial F_d é devida não apenas ao atrito mas também a efeitos magnéticos.

- iv. A variável ξ_{dk} , que tem em conta apenas os efeitos magnéticos, é definida da seguinte forma:

$$\xi_{dk} = \xi_d - \mu_k$$

Sugestões e conselhos importantes

- i. Recomenda-se que dedique algum tempo a observar o movimento do disco a descer o plano inclinado, por forma perceber, qualitativamente, o tipo de movimento do disco.
- ii. Pondere a física do problema antes de iniciar a recolha de dados, de modo a planear as medidas. Deverá apresentar os dados de forma gráfica, sempre que possível.
- iii. Não tente efectuar muitas medidas, excepto se lhe sobrar bastante tempo.

- iv. O condensador utilizado na caixa electrónica é do tipo electrolítico. Por isso, é natural que as medidas de tensão apresentem uma pequena instabilidade, diminuindo ligeiramente à medida que o tempo passa, devido ao facto de o condensador ir descarregando lentamente.
- v. Ser-lhe-ão fornecidos um disco e uma bateria. Procure poupar a pilha! Tenha em atenção que a corrente eléctrica que carrega o condensador é fornecida pela bateria, sendo esta corrente proporcional à força electromotriz da pilha. Como a pilha vai descarregando, é conveniente ir registando de vez em quando a tensão aos terminais da pilha. Se esta tensão descer abaixo dos 8,4 V, os sensores não funcionarão de forma fiável, pelo que deverá pedir uma nova pilha.
- vi. O material fornecido contém 4 folhas de papel milimétrico. Poupe estas folhas, porque NÃO lhe serão fornecidas mais! Contudo, quando terminar a prova pode ficar com o disco, como recordação.
- vii. Se tiver problemas no uso dos multímetros deve pedir ajuda a um vigilante da prova.

Dados

- Peso do disco = $5,84 \times 10^{-2}$ N
- O voltímetro permite medir o intervalo de tempo de passagem do disco entre os dois sensores. A tensão em volt é proporcional ao tempo, sendo que 1 V corresponde a 0,213 s, quando a diferença de potencial aos terminais da pilha é exactamente 9 V.
- A distância entre os sensores é 0,294 m.

Execução experimental

Utilizando exclusivamente o material fornecido, investigar a forma como ξ_{dk} depende da velocidade v_θ do disco para várias inclinações θ do plano inclinado em relação à horizontal.

Escreva na folha de respostas as equações e relações algébricas usadas na análise dos resultados e justifique a escolha das variáveis representadas em cada um dos gráficos.

Sugira um modelo quantitativo que permita explicar os resultados obtidos. Use os dados da experiência para justificar o modelo.

IPhO 2000

Country

Student
No

Question
No

Page
No

Total
No of
pages

Folha de respostas

$\mu_k =$

Relação entre ξ_{dk} , v e θ