

Universidade de São Paulo
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos
Departamento de Ciências Básicas

Apostila de Laboratório

ZAB0474 – Física Geral e Experimental IV

Caio Eduardo de Campos Tambelli

2018

Sumário

Erros.....	3
Gráficos.....	4
Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)	6
Polarização.....	7
Difração - Fenda Simples e Fenda Dupla.....	12
Espectro Atômico	16
Luminescência	20

Erros

Medida de uma grandeza:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x$$

Erro de uma medida:

$$\Delta x = \overline{\Delta x} + \Delta x_{Ins} + \Delta x_{exp}$$

$\overline{\Delta x}$ - Erro estatístico,

Δx_{Ins} - Erro do instrumento

Δx_{exp} - Erro do experimentador

Valor médio estatístico:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum x_i$$

Valor Médio:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum x_i$$

Desvio:

$$\Delta x_i = |x_i - \bar{x}|$$

Desvio Absoluto:

$$\overline{\Delta x} = \frac{1}{N} \sum |\Delta x_i|$$

Propagação de Erro:

$$F = f(x \pm \Delta x, y \pm \Delta y, z \pm \Delta z)$$

Erro -> derivada total

$$dF = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy + \frac{\partial f}{\partial z} dz$$

$$dF \rightarrow \Delta F$$

$$\Delta F = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial z} \Delta z \right|$$

Erro Relativo:

$$\Delta x_r = \frac{\Delta x}{x} \quad \text{ou} \quad \Delta x_r(\%) = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100$$

Comparação entre duas medidas:

$$\Delta x_r = \frac{\Delta x}{x} = \frac{|x_e - x_t|}{x_t}$$

x_e - medida experimental

x_t - padrão de referência da grandeza x_e (valor teórico)

Gráficos

Regras para construção dos gráficos:

- Escolher escalas com múltiplos de 1, 2 ou 5.
- Procurar ocupar todo o espaço disponível.
- Inserir sobre os eixos vertical e horizontal o título e a unidade.
- Trace uma linha contínua sobre os pontos (Ex: Função linear, MMQ, ajuste manual)
- Utilizar as barras de erro para representar os desvios.
- Coloque abaixo do gráfico uma legenda com uma explicação resumida.

Gráfico com escala linear

- As escalas dos eixos vertical e horizontal são lineares

Ajuste teórico - Função linear

- Se a curva que melhor ajusta os pontos experimentais for uma reta, a função dessa reta será linear.

$$y = ax + b$$

O coeficiente angular da função linear pode ser calculado por:

$$a = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

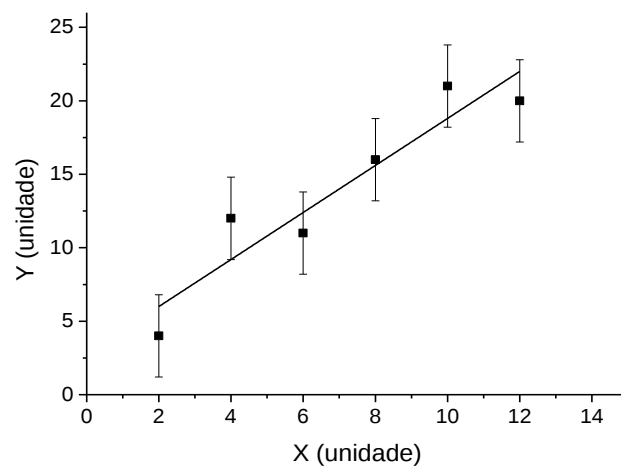


Figura 1 – Gráfico de Y em função de X (escala linear e função linear)

Ajuste teórico – Função não linear

$$y = ax^2$$

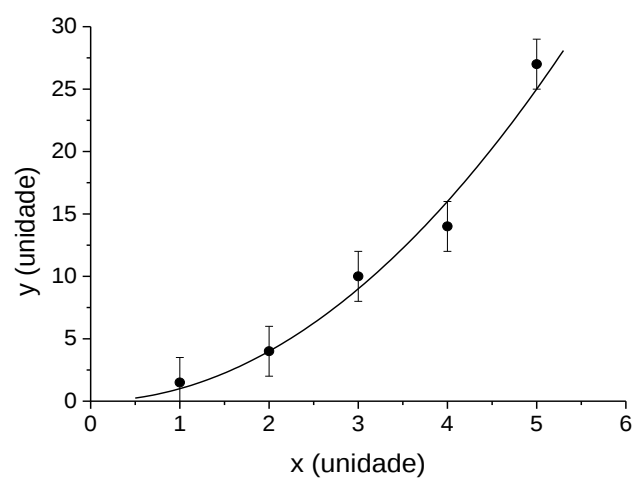


Figura 2 – Gráfico de Y em função de X (escala linear e função quadrática)

$$y = Ae^{bx}$$

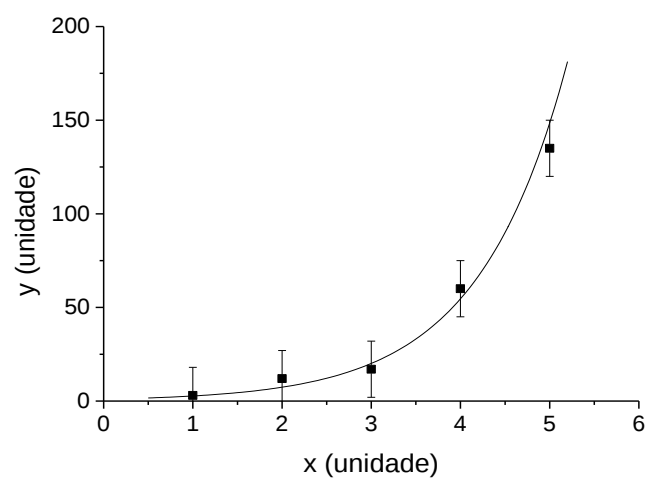


Figura 3 – Gráfico de Y em função de X (escala linear e função exponencial)

Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)

Função linear: $y = ax + b$

Mínimos para a e b

$$\frac{\partial}{\partial a} \left\{ \sum_{i=1}^N [y_i - (ax_i + b)]^2 \right\} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial b} \left\{ \sum_{i=1}^N [y_i - (ax_i + b)]^2 \right\} = 0$$

$$a = \frac{N(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{N(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \frac{(\sum y_i)(\sum x_i^2) - (\sum x_i y_i)(\sum x_i)}{N(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}$$

Desvios

$$\Delta a = \sqrt{\frac{N}{N(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}} \cdot \Delta y$$

$$\Delta b = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{N(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}} \cdot \Delta y$$

$$\Delta y = \sqrt{\frac{\sum (ax_i + b - y_i)^2}{N - 2}}$$

ZAB0474 – Física Geral e Experimental IV

Polarização

Objetivo: Medir a intensidade da luz que atravessa um conjunto de polarizadores utilizando um sensor LDR.

Teoria: Um feixe de luz não polarizada ao passar por um polarizador tem sua intensidade reduzida pela metade (regra da metade).

A intensidade de um feixe de luz polarizada ao passar por um polarizador varia de acordo com o ângulo de rotação do polarizador, e é dado por:

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

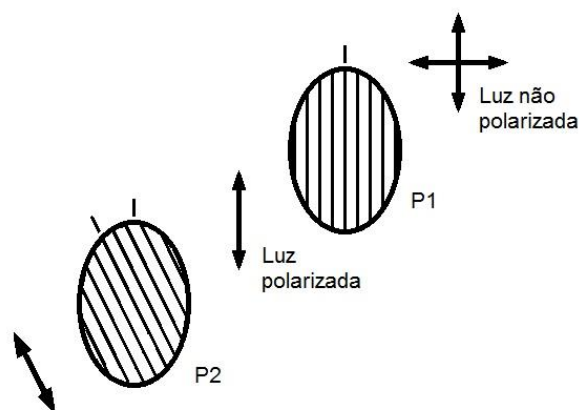


Figura 1 – Conjunto de Polarizadores

Detector: O sensor LDR (*Light Dependent Resistor*), em português Resistor Dependente de Luz, é um dispositivo que possui uma resistência que varia com a intensidade de luz.

ROTEIRO EXPERIMENTAL

Experimento 1:

Monte o circuito constituído de um sensor LDR em série com um amperímetro de acordo com a figura 2. Conecte um voltímetro em paralelo com o sensor LDR. O circuito deve ser alimentado por uma fonte DC com tensão constante. A intensidade da luz que incide no sensor LDR será diretamente proporcional a corrente que passa pelo LDR.

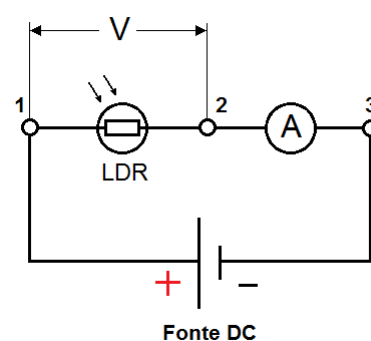


Figura 2 – Circuito LDR

Obs.: Ajuste a tensão da fonte para 5V e o fundo de escala do amperímetro para 2 mA DC.

Em seguida, monte o arranjo experimental conforme a figura 3 utilizando uma lâmpada como fonte de luz, um polarizador P1, um colimador de abertura de 8 mm e um sensor LDR. Posicione o colimador a 10 cm de distância do sensor LDR. Alinhe o conjunto e verifique se a luz está incidindo no sensor LDR. Cubra o sensor LDR e o colimador com uma caixa deixando somente a luz proveniente da lâmpada incidir sobre o LDR, evitando portanto, que o sensor receba luz do ambiente externo. Anote o valor da corrente sem o polarizador. Em seguida coloque o polarizador P1 no suporte alinhado verticalmente ($\theta = 0^\circ$). Gire o polarizador P1 de 30° em 30° partindo de 0° até 360° e anote o valor da corrente no LDR. Organize os dados numa tabela.

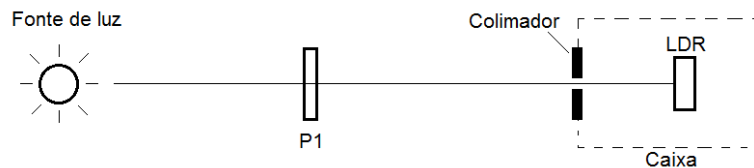


Figura 3 – Conjunto com um polarizador

Experimento 2:

Adicione o segundo polarizador P2 conforme a figura 4. Mantenha os polarizadores P1 e P2 alinhados verticalmente ($\theta = 0^\circ$). O polarizador P1 ficará fixo. Gire somente o polarizador P2 de 30° em 30° partindo de 0° até 360° e anote o valor da corrente no sensor LDR. Organize os dados numa tabela.

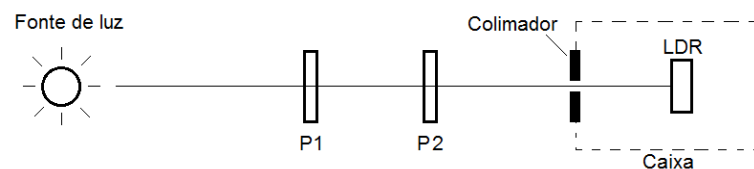


Figura 4 – Conjunto com dois polarizadores

Experimento 3:

Adicione o terceiro polarizador P3 conforme a figura 5. Mantenha os polarizadores P1 e P2 alinhados verticalmente ($\theta = 0^\circ$) e o polarizador P3 alinhado horizontalmente ($\theta = 90^\circ$). Os polarizadores P1 e P3 ficarão fixos. Gire somente o polarizador P2 de 10° em 10° partindo de 0° até 180° e anote o valor da corrente no sensor LDR. Organize os dados numa tabela.

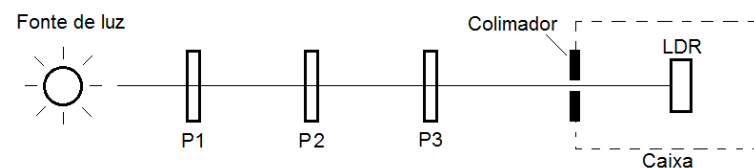


Figura 5 – Conjunto com três polarizadores

Experimento 4:

Ajuste a tensão da fonte para **1V** e o fundo de escala do amperímetro para **20 mA DC**. Repita o experimento 1 substituindo a lâmpada pelo laser com comprimento de onda de 633 nm.

RESULTADOS

Experimento 1:

1) Intensidade da corrente sem o polarizador: _____

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
θ (graus)													
I (mA)													

2) Usando o Excel faça um gráfico (dispersão) dos pontos experimentais de I em função de θ .

3) Discuta os resultados. Verifique a validade da regra da metade. Quais são as conclusões deste experimento? Justifique.

Experimento 2

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
θ (graus)													
I (mA)													

4) Usando o Excel faça um gráfico (dispersão) dos pontos experimentais de I em função de θ . Não conecte os pontos experimentais.

5) Considerando que a intensidade da luz é diretamente proporcional ao valor da corrente, faça no mesmo gráfico do item 4, um ajuste teórico (linha suave) utilizando a equação 1 sobre os dados experimentais. Compare os valores obtidos experimentalmente com o ajuste teórico.

6) Para quais valores de θ a intensidade I é máxima e mínima. Justifique com base nos fundamentos teóricos.

7) Quais são as conclusões deste experimento? Justifique.

Experimento 3

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
θ (graus)																			
I (mA)																			

- 8) Usando o Excel faça um gráfico (dispersão) dos pontos experimentais de I em função de θ .
- 9) Encontre a equação teórica para a intensidade da luz em função da posição angular do polarizador P2.
- 10) Considerando que a intensidade da luz é diretamente proporcional ao valor da corrente, faça um ajuste teórico (linhas suave) utilizando a equação obtida no item 9 sobre os dados experimentais do item 8. Compare os valores obtidos experimentalmente com o ajuste teórico.
- 11) Para quais valores de θ a intensidade I é máxima e mínima. Justifique com base nos fundamentos teóricos.
- 12) Quais são as conclusões deste experimento? Justifique.

Experimento 4

- 13) Intensidade da corrente sem o polarizador P1: _____

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
θ (graus)													
I (mA)													

- 14) Usando o Excel faça um gráfico (dispersão) dos pontos experimentais de I em função de θ .
- 15) Compare os resultados dos experimentos 1 e 4. Discuta os resultados.
- 16) Considerando que a intensidade da luz é diretamente proporcional ao valor da corrente, faça no mesmo gráfico do item 14 um ajuste teórico (linha suave) utilizando a equação 1 sobre os dados experimentais. Compare os valores experimentais com o ajuste teórico.
- 17) Para quais valores de θ a intensidade I é máxima e mínima. Justifique com base nos fundamentos teóricos.
- 18) Quais são as conclusões deste experimento? Justifique.

Polarização

Nome: _____ n° _____

Nome: _____ n° _____

Nome: _____ n° _____

Nome: _____ n° _____

Experimento 1

Intensidade da corrente sem o polarizador: _____

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\theta(\text{graus})$													
$I(\text{mA})$													

Experimento 2

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\theta(\text{graus})$													
$I(\text{mA})$													

Experimento 3

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$\theta(\text{graus})$																			
$I(\text{mA})$																			

Experimento 4

Intensidade da corrente sem o polarizador: _____

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\theta(\text{graus})$													
$I(\text{mA})$													

ZAB0474 – Física Geral e Experimental IV

Difração - Fenda Simples e Fenda Dupla

Objetivo: Determinar a abertura a de uma fenda simples e de uma fenda dupla. Determinar a distância entre as fendas d de uma fenda dupla.

Teoria: A luz, com comprimento de onda λ , ao passar por uma fenda com abertura a da mesma ordem do comprimento de onda λ é difratada, de tal modo que os mínimos de difração ocorrem para:

$$a \sin \theta = m\lambda \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

onde a é abertura da fenda.

A luz ao passar por uma fenda dupla separada por uma distância d produz máximos de interferência para:

$$d \sin \theta = m\lambda \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

onde d é a distância entre as fendas.

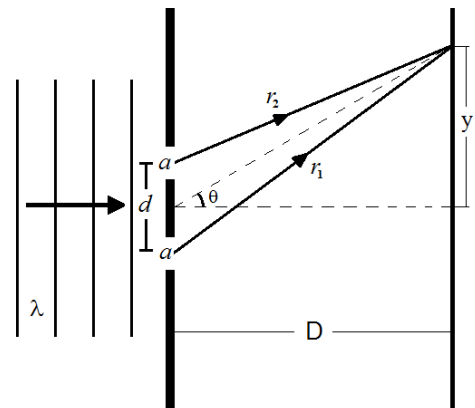


Figura 1 – Fenda Dupla

ROTEIRO EXPERIMENTAL

Experimento 1:

Monte o arranjo experimental conforme a figura 1 utilizando um laser como fonte de luz com comprimento de onda de 650 nm, uma fenda simples com abertura de 0.2 mm e um anteparo. Alinhe o laser com a fenda de modo observar o padrão de difração no anteparo. Utilizando uma trena, varie a posição D entre o anteparo e a fenda entre 1 e 3 m de 50 cm em 50 cm e com a régua anote a distância entre os mínimos de difração de primeira ordem, Δy . Organize os dados numa tabela.

Experimento 2:

Substitua a fenda simples por uma fenda dupla com distância d entre as fendas de 0.4 mm. Coloque o anteparo a uma distância de 2.5 m da fenda e com uma régua anote a posição dos máximos de interferência e dos mínimos de difração. Organize os dados numa tabela.

RESULTADOS

Experimento 1

1) Ordem da difração, $m =$ _____

i	1	2	3	4	5	6
D (m)						
Δy (m)						
y (m)						

2) Utilizando o Excel, faça um gráfico (dispersão) dos pontos experimentais da posição do mínimo de difração y em função da posição D .

3) Faça um ajuste linear (linha suave) sobre os dados experimentais do item 3. A partir do ajuste calcule o ângulo θ para o primeiro mínimo de difração.

4) Determine a abertura a da fenda.

5) Compare com o valor da abertura fornecido pelo fabricante e calcule o desvio relativo. Discuta os resultados.

Experimento 2

6) Distância D entre a fenda e o anteparo: _____

7) Distância entre as fenda $d =$ _____ Abertura da fenda $a =$ _____

$m_{interferência}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
y (mm)														
θ (graus)														
$sen(\theta)$														

$m_{difração}$	1	2	3	4	5	6
y (mm)						
θ (graus)						
$sen(\theta)$						

- 8) Utilizando o Excel, faça um gráfico (dispersão) de $\sin\theta$ em função de $m_{\text{interferência}}$.
- 9) Faça um ajuste linear (linha suave) sobre os dados experimentais do item 9. A partir do ajuste linear calcule a distância entre as fendas d .
- 10) Utilizando o Excel, faça um gráfico (dispersão) de $\sin\theta$ em função de $m_{\text{difração}}$.
- 11) Faça um ajuste linear (linha suave) sobre os dados experimentais do item 11. A partir do ajuste linear calcule a abertura a da fenda.
- 12) Compare com o valor da distância entre as fendas d e a abertura a fornecidos pelo fabricante e calcule os desvios relativos. Discuta os resultados. Quais são as conclusões deste experimento? Justifique.

Difração

Nome: _____ n° _____

Nome: _____ n° _____

Nome: _____ n° _____

Nome: _____ n° _____

Experimento 1

 $m =$ _____

i	1	2	3	4	5	6
D (m)						
Δy (m)						

Experimento 2

Distância D entre a fenda e o anteparo: _____Distância entre as fendas $d =$ _____ abertura $a =$ _____

$m_{interferência}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
y (mm)														

$m_{difração}$	1	2	3	4	5	6
y (mm)						

ZAB0474 – Física Geral e Experimental IV

Espectro Atômico

Objetivo: Medir a posição das linhas espectrais de uma lâmpada de gás.

Teoria: O átomo de hidrogênio é constituído de um elétron e um próton. Numa lâmpada de gás o elétron recebe energia o suficiente para passar para os diferentes estados excitados. Quando retorna para o primeiro estado excitado o elétron perde energia na forma de fótons, emitindo luz na região do visível (série de Balmer) de acordo com a expressão:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_{Baixa}^2} - \frac{1}{n_{Alta}^2} \right) \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

A figura abaixo ilustra o esquema de um espectroscópio simples baseado em uma rede de difração. A luz ao passar pela rede de difração será difratada produzindo uma figura de difração simétrica em relação ao eixo formado pela fonte e a rede de difração. A posição das linhas espectrais pode ser observada girando o goniômetro de um determinado ângulo θ .

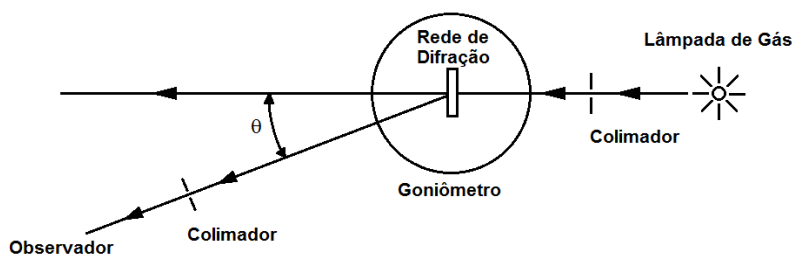


Figura 1 – Espectroscópio de rede de difração

O feixe de luz ao passar por uma rede de difração é espalhado em diferentes ângulos, de acordo com o comprimento de onda, através da relação:

$$d \sin \theta = m \lambda \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

ROTEIRO EXPERIMENTAL

Experimento 1:

Monte o arranjo experimental conforme a figura 1 utilizando uma lâmpada de vapor de mercúrio (Hg), uma rede de difração, dois colimadores, duas lentes e um goniômetro com uma rede de difração de 600 linhas/mm. Alinhe a lâmpada com o espectroscópio de tal modo que o máximo central fique posicionado em θ igual a zero. Gire o goniômetro e observe a posição angular das linhas espectrais para ambos os lados do máximo central. Anote a cor e a posição angular de cada linha observada numa tabela.

Experimento 2:

Substitua a lâmpada de mercúrio por uma lâmpada de gás desconhecida e repita o experimento 1.

Cuidado! Mantenha a lâmpada de gás desconhecida ligada por um tempo máximo de 10 minutos e desligue por 10 minutos para resfriamento. Utilize um cronômetro para não exceder o tempo de uso da lâmpada.

Experimento: Espectro Atômico

- 1) Calcule o parâmetro de rede, d : _____
- 2) A partir dos dados da posição angular, calcule o comprimento de onda para cada linha observada.

Lâmpada 1 - Lado direito

i	1	2	3	4	5	6
θ (graus)						
Cor da linha						
λ (nm)						

Lâmpada 1 - Lado esquerdo

i	1	2	3	4	5	6
θ (graus)						
Cor da linha						
λ (nm)						

Lâmpada 2 - Lado direito

i	1	2	3	4	5	6
θ (graus)						
Cor da linha						
λ (nm)						

Lâmpada 2 - Lado esquerdo

i	1	2	3	4	5	6
θ (graus)						
Cor da linha						
λ (nm)						

- 3) Calcule o comprimento de onda médio para cada linha espectral de cada lâmpada.
- 4) Calcule o desvio relativo para cada comprimento de onda da linha espectral observada para a lâmpada de mercúrio em relação aos dados da tabela abaixo
- 5) Calcule o desvio relativo para cada comprimento de onda da linha observada para a lâmpada desconhecida em relação aos dados da tabela abaixo.

Comprimento de onda de lâmpadas de gases em nm

	Hidrogênio	Hélio	Sódio	Mercúrio
Vermelho	656.3	653.0 / 667.8 / 706.0	615	-
Amarelo	-	587.6	589.0 / 589.6	579.0 / 577.0
Verde	-	501.5	568.2 / 515.0 / 498.0	546.1
Azul	486.1	492.2	475.0 / 466.5	491.9
Violeta	434.1 / 410.2	447.2 / 468.5 / 471.5	450	435.8 / 407.8 / 404.7

Espectro Atômico

Nome: _____ n° _____

Nome: _____ n° _____

Nome: _____ n° _____

Nome: _____ n° _____

Lâmpada 1 - Lado direito

i	1	2	3	4	5	6
θ (graus)						
Cor da linha						

Lâmpada 1 - Lado esquerdo

i	1	2	3	4	5	6
θ (graus)						
Cor da linha						

Lâmpada 2 - Lado direito

i	1	2	3	4	5	6
θ (graus)						
Cor da linha						

Lâmpada 2 - Lado esquerdo

i	1	2	3	4	5	6
θ (graus)						
Cor da linha						

ZAB0474 – Física Geral e Experimental IV

Luminescência

Objetivo: Medir a constante de Planck por luminescência de um LED.

Teoria: Um Diodo Emissor de Luz (LED) é capaz de emitir luz ao ser polarizado diretamente e quando a tensão for superior a tensão limiar V_o . A energia dos fótons emitidos é dada por:

$$E = eV_o \quad E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

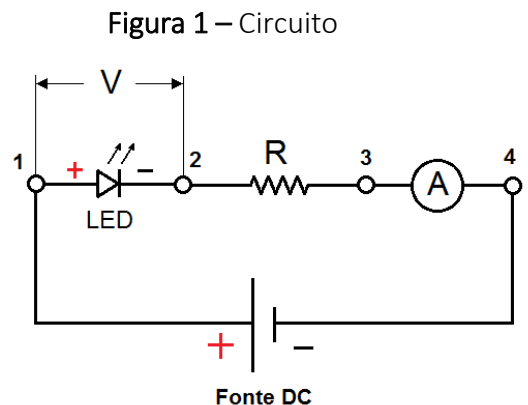
A relação entre o potencial limiar V_o e a frequência f é dada por:

$$V_o = \frac{h}{e} f$$

ROTEIRO EXPERIMENTAL:

Experimento 1

Monte o circuito, composto por um LED e um resistor R de $1.2 \text{ k}\Omega$ em série, conforme ilustrado na figura 1. Conecte o voltímetro em paralelo com o LED nos bornes 1 e 2 e o amperímetro em série nos bornes 3 e 4. Conecte a fonte DC nos bornes 1 e 4. Varie a tensão da fonte até o ponto que o LED começa a ascender e anote a tensão V_o do voltímetro e a corrente I do amperímetro. Organize os dados numa tabela



Obs.: Coloque o voltímetro com fundo de escala de **20 V DC** e o amperímetro com fundo de escala em **20 mA DC**.

Experimento 2

Continue variando a tensão da fonte do experimento 1 e anote a tensão no voltímetro e a corrente no amperímetro variando a corrente de 2 em 2 mA até 20 mA. Repita o experimento para todos os LEDs. Organize os dados numa tabela.

Experimento 1

1) A partir do comprimento de onda de cada LED, calcule a frequência f correspondente e anote na tabela abaixo.

LED	Vermelho	Laranja	Verde	Azul
I (mA)				
V_o (V)				
λ (nm)	670	580	530	490
$f \times 10^{14}$ (Hz)				

2) Usando o Excel faça um gráfico (dispersão) de V_o em função da frequência f . Não conecte os pontos experimentais.

3) Faça um ajuste linear (linha suave) sobre os pontos experimentais. A partir do ajuste linear determine a constante de Planck.

4) Compare o valor obtido experimentalmente com o valor teórico. Calcule o desvio relativo. Discuta os resultados. Quais são as conclusões deste experimento? Justifique.

Experimento 2

LED Vermelho	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I (mA)										
V (V)										

LED Laranja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I (mA)										
V (V)										

LED Verde	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I (mA)										
V (V)										

LED Azul	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I (mA)										
V (V)										

5) Usando o Excel faça um gráfico (dispersão) de I em função de V para cada LED partindo de 2 mA. Não conecte os pontos.

6) Faça um ajuste linear (linha suave) sobre os pontos experimentais do item 5. A partir do ajuste linear calcule a tensão limiar V_o de cada LED, no ponto em que a corrente é nula. Anote os valores de V_o na tabela abaixo.

LED	Vermelho	Laranja	Verde	Azul
$V_o (V)$				
$f \times 10^{14} (Hz)$				

- 7) Usando o Excel faça um gráfico (dispersão) de V_o em função da frequência f de cada LED.
- 8) Faça um ajuste linear (linha suave) sobre os pontos experimentais do item 7. A partir do ajuste linear determine a constante de Planck.
- 9) Compare o valor obtido experimentalmente com o valor teórico. Calcule o desvio relativo. Discuta os resultados. Justifique.
- 10) Compare os resultados da constante de Planck obtida quando o LED começa a ascender com os valores obtidos do ajuste linear da corrente em função da tensão. Qual método é mais preciso? Justifique.

Luminescência

Nome: _____ n° _____

Nome: _____ n° _____

Nome: _____ n° _____

Nome: _____ n° _____

LED	Vermelho	Laranja	Verde	Azul
$I \text{ (mA)}$				
$V_o \text{ (V)}$				

LED Vermelho	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I \text{ (mA)}$										
$V(V)$										

LED Laranja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I \text{ (mA)}$										
$V(V)$										

LED Verde	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I \text{ (mA)}$										
$V(V)$										

LED Azul	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I \text{ (mA)}$										
$V(V)$										