

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
INSTITUTO DE FÍSICA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO  
FIS 101 – ESTRUTURA DA MATÉRIA I

PROF.: Edmar M do Nascimento

Turma: Teórica/ Prática

Data: 17/12/2004 - 07/01/2005

Equipe: *Adriano L. do Valle*



**ESPECTROSCOPIA ÓPTICA**  
**(RELATÓRIO / EXPERIMENTO - 1)**

## I - OBJETIVOS

1. *Familiaridade com um espectrômetro ótico do tipo de desvio constante (calibração e dispersão).*
2. *Observação de alguns espectros de emissão (principalmente gases nobres).*
3. *Observação da série de Balmer do Hidrogênio e determinação da constante de Rydberg.*
4. *Identificação de linhas do parhélcio e ortohélio.*

## II - INTRODUÇÃO:

*A observação do espectro de emissão de gases pode ser efetuada produzindo-se uma descarga elétrica em um tubo contendo uma amostra do gás, usualmente a baixa pressão. A descarga é produzida por uma fonte de alta tensão, da ordem de 3000 volts, com alta impedância de saída para limitar a corrente elétrica a valores suficientemente pequenos pois o gás ionizado possui uma impedância muito baixa.*

*A luz emitida pelo gás ionizado é então analisada por um espectrômetro ao passar por um prisma de alta dispersão.*

*O prisma do espectrômetro é do tipo de Rutherford. Pode ser descrito como consistindo por dois prismas de dispersão de  $30^\circ$  e um prisma refletor de  $90^\circ$ , que no fundo são equivalentes ao poder refratante de um prisma de  $60^\circ$ , o caminho ótico é tal que os raios incidentes e emergentes são mutuamente perpendiculares, logo a trajetória, no interior do prisma, corresponde a do desvio mínimo de um prisma virtual de  $60^\circ$ .*

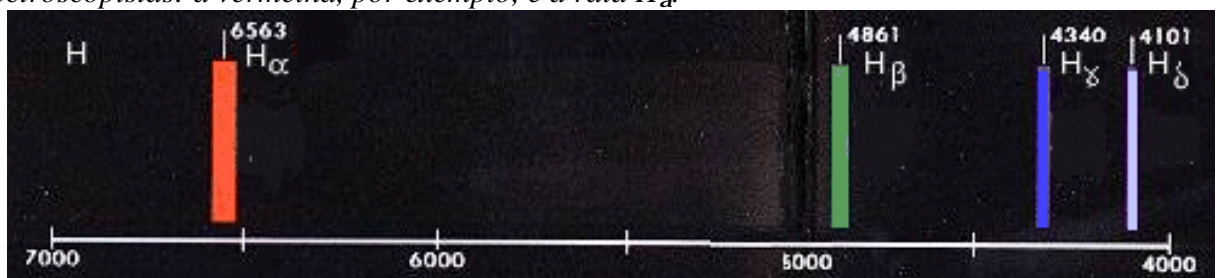
*Os eixo do colimador e do telescópio são fixos e formam entre si um ângulo reto.*

*Girando-se a mesa do prisma, a condição de desvio de  $90^\circ$  é sucessivamente satisfeita para diferentes comprimentos de onda de acordo com a grande dispersão do material de que é feito o prisma.*

## II - PARTE TEÓRICA

### *O espectro do hidrogênio e a série de Balmer.*

*O hidrogênio é o elemento mais leve e o que tem o espectro mais simples. O espectro do hidrogênio tem quatro raias mais ou menos intensas que são visíveis aos nossos olhos e várias outras que não são. A figura abaixo mostra as quatro linhas visíveis. Cada raia tem um nome de batismo dado pelos espectroscopistas: a vermelha, por exemplo, é a raia  $H_\alpha$ .*



*Veja abaixo uma tabela listando as quatro raias do espectro visível do hidrogênio. Cada raia é identificada por sua cor, seu nome, seu comprimento de onda em Angstroms e um número inteiro  $n$  que terá papel fundamental em nosso relato.*

COR	NOME	$\lambda$ (em Angstroms)	$n$
VERMELHO	$H_\alpha$	6563	3
VERDE	$H_\beta$	4858	4
AZUL	$H_\gamma$	4340	5
VIOLETA	$H_\delta$	4101	6

Em 1885, o professor secundário suíço Johann Balmer meditou sobre esses números procurando um jeito de organizá-los. Esse é o ofício dos cientistas: dar ordem e sentidos aos números obtidos nas experiências. E Balmer teve sucesso. Depois de algumas tentativas achou uma fórmula relativamente simples que condensa todos os dados da tabela acima. É a seguinte:

$$\lambda_n = 3644 \left( \frac{n^2}{n^2 - 2^2} \right)$$

Nessa fórmula,  $\lambda_n$  é o comprimento de onda, em Angstroms, da raia de número  $n$  do espectro do hidrogênio.  $n$  é um inteiro igual ou maior que 3.

Vejamos se ela dá certo para a raia vermelha que tem  $n = 3$ . Substituindo  $3^2 = 9$  na fórmula, achamos:

$$\lambda_3 = 3644 ( 9 / (9 - 4) ) = 6562,8 \text{ Angstroms!}$$

Logo se notou que essa fórmula também servia para as linhas invisíveis do espectro do hidrogênio, bastando trocar o  $2^2$  da fórmula por outro número ao quadrado. Por exemplo, usando  $1^2 = 1$ , obtemos a série de Lyman, do ultravioleta, com valores de  $n$  tomados de 2 para cima. Do outro lado do espectro estão outras raias invisíveis, na faixa chamada de infravermelho. Os comprimentos de onda dessas séries de raias também são obtidas da fórmula de Balmer, trocando o  $2^2$  por  $3^2$  etc, e usando ns maiores que 3, 4 etc.

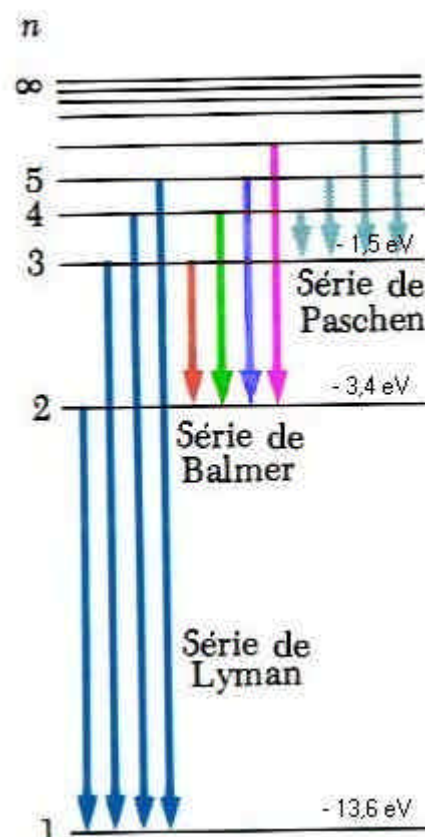
Tudo isso foi generalizado pelo físico sueco Johannes Rydberg, em 1890, com uma fórmula que engloba a fórmula de Balmer e inclui todas as raias do espectro do hidrogênio, visíveis ou não. É a seguinte:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left[ \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right]$$

Veja o significado dos personagens dessa fórmula:

- ✓  $n_f$  é um inteiro cujo valor indica que série de linhas a fórmula representa. Para a série de Lyman (ultravioleta),  $n_f = 1$ ; para a série de Balmer (visível),  $n_f = 2$ ; para a série de Paschen (infravermelho),  $n_f = 3$  etc.
- ✓  $n_i$  é o mesmo  $n$  da fórmula de Balmer. Para cada série, seu valor começa com  $n_f + 1$  e vai subindo. Portanto,  $n_i$  é sempre maior que  $n_f$ .
- ✓  $R_H$  é uma constante chamada de número de Rydberg e vale  $R_H = 0,0010968 ( \text{Å}^{-1} )$  ou  $10973731,534 \text{ m}^{-1}$

Fórmulas como essa são chamadas de "empíricas", termo técnico para indicar uma equação achada na base do velho chute. Na época de Balmer e Rydberg, ninguém entendia porque o espectro do hidrogênio se ajusta tão bem a essas expressões relativamente simples. Quem deu o primeiro passo para desvendar esse enigma foi o dinamarquês Niels Bohr.



### III - PARTE EXPERIMENTAL

#### MATERIAL

1. Espectrômetro Hilger .
2. Tubos de gases: Hg, He, Ne, Ar, Kr, Xe.
3. Fonte de alta voltagem.
4. Tabelas de comprimento de onda e diagramas de níveis de energia do Hélio.

#### PROCEDIMENTO:

O ajuste fino da posição do prisma é feito por meio de um parafuso micrométrico que tem um cilindro de comando graduado diretamente em comprimento de onda ( $\text{Å}$ ). A graduação da escala de comprimento de onda deve ser testada em toda parte visível do espectro. Para fazer isto, coloque o tubo de gás bem próximo à fenda de entrada do espectrômetro e ligue-o à fonte de alta voltagem pondo o sistema em funcionamento.

Devido à curta vida do tubo opere-o no menor tempo possível, ligando e desligando toda vez que quiser efetuar medidas.

A fim de obter a maior precisão possível, procure obedecer as seguintes regras:

1. Para conseguir uma leitura sem influência de paralaxe, focalize primeiro o indicador (ou retículo) do aparelho por meio da ocular.
2. Focalize as linhas espectrais, isto é, a imagem da fenda de entrada por meio do movimento do tubo telescópio sem perturbar o prévio ajuste ocular - indicador.
3. Faça a leitura na escala acionando o tambor com movimento só num sentido para eliminar a influência da folga do parafuso micrométrico.

Para calibração use a fenda com abertura de aproximadamente 0,05 mm; para linhas fracas aumente a abertura para 0,1 - 0,2 mm.

A principal dificuldade na calibração será a identificação das linhas. Comece com o tubo de mercúrio, cujo espectro é mais ou menos simples, não havendo nenhuma confusão.

AMARELO 5791  $\text{Å}$  ; 5770  $\text{Å}$

VERDE 5461  $\text{Å}$

AZUL 4358  $\text{Å}$  ( FORTE )

VIOLETA 4047  $\text{Å}$  ( FORTE )

Calcule o fator de correção  $\Delta\lambda = \lambda(\text{escala}) - \lambda(\text{tabela})$ , e faça um gráfico de  $\lambda(\text{tabela})$  versus  $\lambda(\text{escala})$ , para ter uma idéia imediata da curva de calibração com os diversos comprimentos de onda.

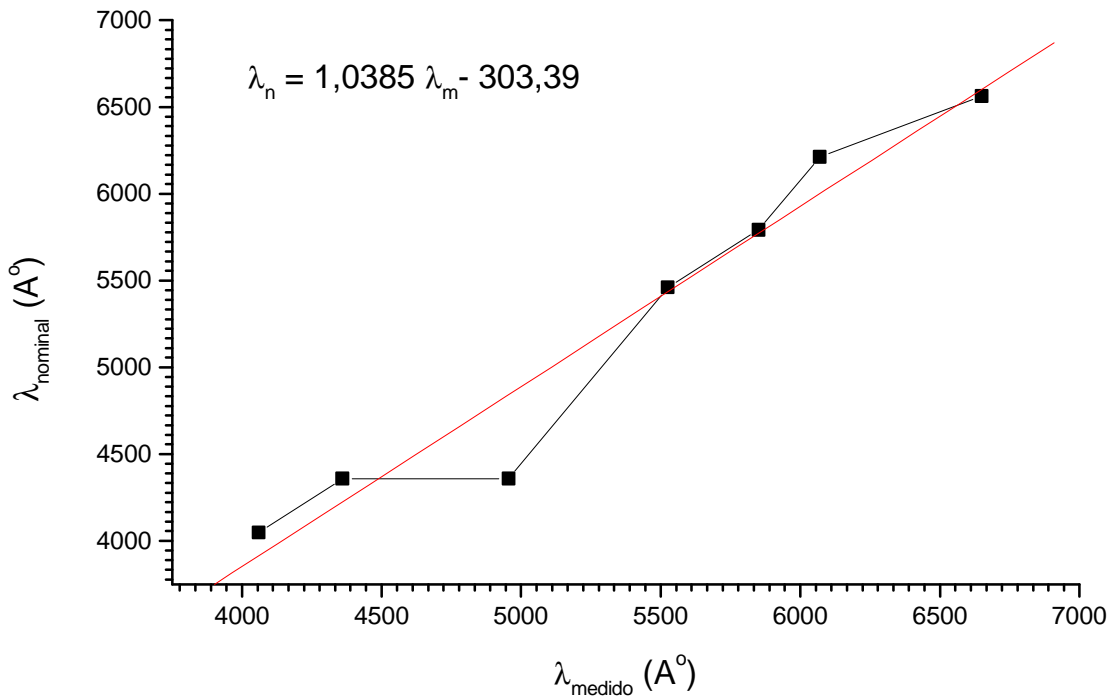
**Cuidado com a fonte de alta voltagem (5000 V!) .**

**Desligue o transformador da fonte desconectando-o da rede antes de tocar no tubo ou nos seus terminais**

### Tubo de Hg

COR	$\lambda$ Medido (A°)	$\lambda$ Nominal (A°)	Dl
1 - Vermelho	6650	6562	-88
2 - Laranja	6070	6212	142
3 - Amarelo	5850	5791	-59
4 - Verde	5525	5461	-64
5 - Azul	4955	4358	-597
6 -	4865		
7 - Azul	4360	4358	-2
8 - Violeta	4060	4047	-13

Gráfico  $\lambda_n \text{ vs } \lambda_m$  (Hg)



Continue agora o experimento com espectro do Ne começando pela identificação na região do amarelo, onde a correção já esta bem conhecida. Tente identificar todas as linhas do Ne, que se encontram na tabela até o limite do espectro visível. Marque os comprimentos de onda medidos e tabelados na curva de calibração. A continuidade da curva de calibração é um critério seguro para a identificação das linhas.

### Tubo de Ne

COR	$\lambda$ Medido (A°)	$\lambda$ Nominal (A°)	$\lambda$ corrigido
	7140		7112
1 - Vermelho	6770	6562	6727
	6450		6395
2 - Laranja	6200	6212	6135
3 - Amarelo	5900	5791	5824
4 - Amarelo		5770	
5 - Verde	5430	5461	5336
	5365		5268
6 - Azul		4350	
7 - Violeta		4047	
	4720		4598

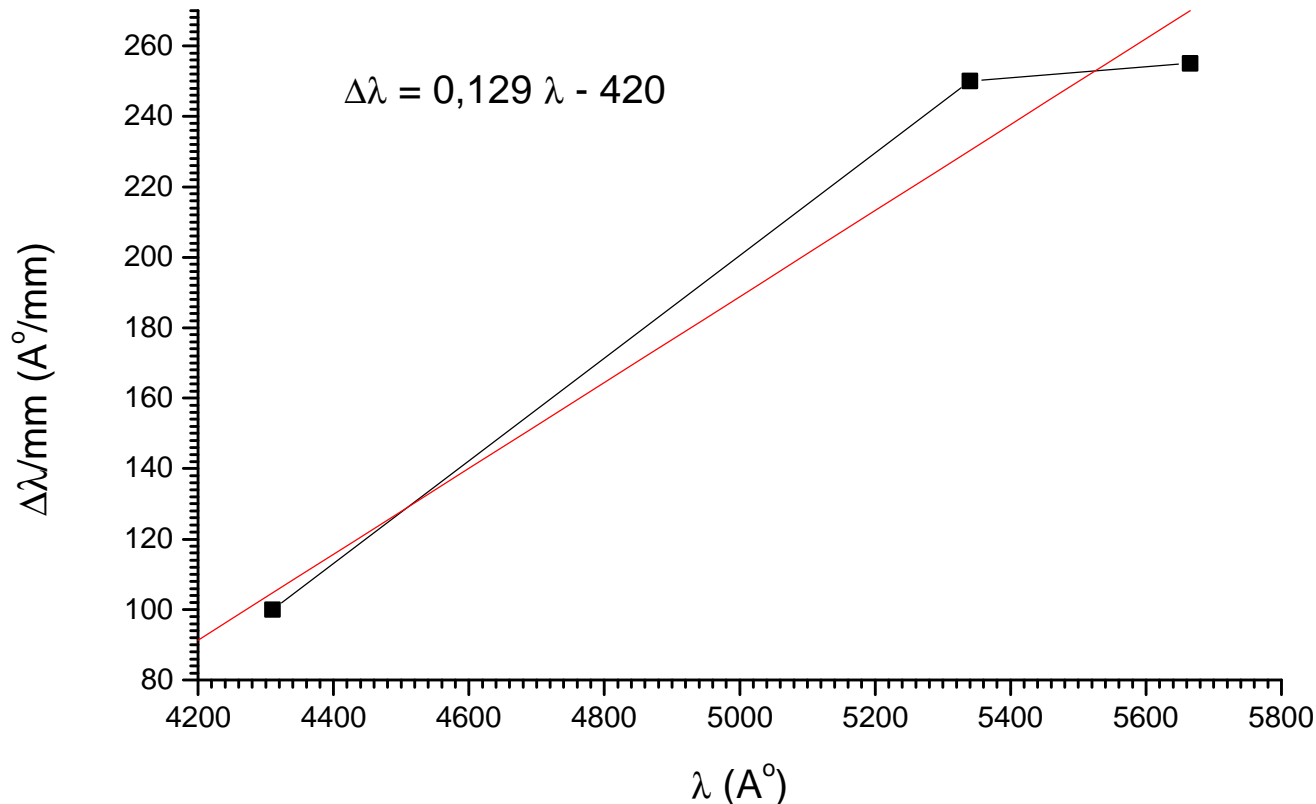
Em trabalhos espectroscópicos é importante conhecer a largura de banda transmitida pelo instrumento. A largura de banda depende da dispersão do prisma, da distância focal do colimador e do telescópio e da largura da fenda. Como a dispersão do prisma é dependente do comprimento de onda, a largura de banda para uma dada abertura da fenda varia de acordo com o comprimento de onda. A largura de banda é usualmente definida como a diferença  $\Delta\lambda$  correspondente a distância de 1 mm no plano focal do telescópio. Podemos grosseiramente determinar essa grandeza com o procedimento seguinte:

Usamos uma fonte com um espectro de linhas bem nítidas e com uma fenda de entrada bem estreita ajustamos a fenda de saída para 1mm precisamente e determinamos a diferença em comprimento de onda no cilindro para as coincidências da linha, primeiro no lado esquerdo da fenda de saída e depois do lado direito, sempre tangencialmente aos cantos. A diferença das leituras no cilindro dá aproximadamente o  $\Delta\lambda$  por 1mm de abertura para o comprimento de onda considerado.

Usamos para este mister uma fenda de saída que tem uma escala calibrada. Anotamos a posição zero da escala (fenda fechada) e o valor de uma divisão de escala gravada na escala. Faça as medidas dos  $\Delta\lambda$  /mm para todas as linhas brilhantes do Hg e algumas linhas selecionadas do Ne de tal modo que cubra todo o espectro visível. Faça um gráfico da dispersão  $\Delta\lambda$  /mm versus  $\lambda$ .

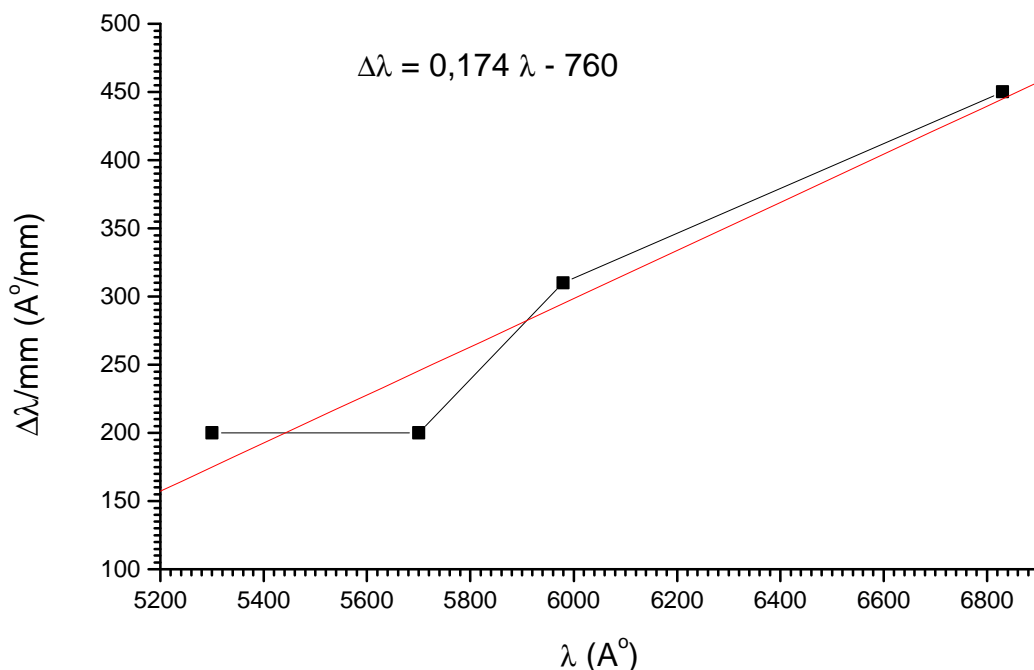
#### Lâmpada de Hg

Cor	$\lambda_1$ (Å)	$\lambda_2$ (Å)	Dl/mm
Amarelo	5665	5920	255
Verde	5340	5590	250
Azul	4310	4410	100



### Lâmpada de Neon

Cor	$\lambda_1$ (Å)	$\lambda_2$ (Å)	Dl/mm
Vermelho	6830	7280	450
Laranja	5980	6290	310
Amarelo	5700	5900	200
Verde	5300	5500	200



### ESPECTRO DE EMISSÃO DO H E GASES NOBRES

Observe os espectros do A, Kr, Xe, e anote os comprimentos de onda das linhas mais brilhantes. Compare os valores medidos com os da tabela e disponha as medidas e correções em colunas.

#### Tubo de Xe

COR	$\lambda$ Medido (Å)	$\lambda$ Nominal (Å)	$\lambda$ corrigido
1 - Vermelho		6562	
	6440		6385
2 - Laranja		6212	
	6170		6104
	5900		5824
3 - Amarelo		5791	
	5690		5606
		5770	
5- Verde		5461	
	5295		5195
	5020		4910
	4915		4801
	4715		4593
	4620		4494
	4525		4396
4500		4370	
6 - Azul		4350	
7- Violeta		4047	

### Tubo de Ar

COR	$\lambda$ Medido (A °)	$\lambda$ Nominal (A °)	$\lambda$ corrigido
	7530		7517
	7000		6966
1 -Vermelho		6562	
2 - Laranja		6212	
	5915		5839
3 - Amarelo		5791	
4- Amarelo		5770	
	5650		5564
5- Verde		5461	
	5430		5336
	5160		5055
	4690		4567
	4510		4380
6 - Azul		4350	
7- Violeta		4047	

### Tubo de Kr

COR	$\lambda$ Medido (A °)	$\lambda$ Nominal (A °)	$\lambda$ corrigido
1 -Vermelho		6562	
	6500		6447
2 - Laranja	6230	6212	6166
	5900		5824
3 - Amarelo		5791	
4- Amarelo		5770	
	5600		5512
5- Verde		5461	
	5180		5076
	4760		4640
	4670		4546
	4515		4385
6 - Azul		4350	
	4280		4141
7- Violeta		4047	

Observe o espectro do He. Identifique as linhas correspondentes as séries S, P e D do parhélío e do ortohélío, usando o diagrama dos níveis de energia do livro de Herzberg. Leia a parte referente a esse assunto no livro de Herzberg para entender a existência de dois conjuntos de níveis de energia num átomo de He não ionizado.

### Tubo de He

COR	$\lambda$ Medido (A°)	$\lambda$ Nominal (A°)	$\lambda$ corrigido
	6635		6587
1 - Vermelho		6562	
2 - Laranja		6212	
	5855		5777
3 - Amarelo		5791	
4- Amarelo		5770	
5- Verde		5461	
	5055		4946
	4950		4837
	4720		4598
	4505		4375
6 - Azul		4350	
7- Violeta		4047	

#### Estudo referente ao Parhélío

Série	Nominal	Encontradc
S	7281	
P	3614	
	3965	
	5015	4946
D	6678	6587

#### Estudos referentes ao Orthohélío

Série	Nominal	Encontradc
S	4121	4375
	4713	4837
	7065	
P	3188	
	3889	
D	4026	
	4471	4375
	5876	5777

Observe e determine com a maior precisão possível os comprimentos de onda das linhas da série de Balmer para o hidrogênio:

**Tubo de H**

COR	$\lambda$ Medido (A°)	$\lambda$ Nominal (A°)	$\lambda$ corrigido
1 - Vermelho	6610	6562	6561
2 - Laranja	6230	6212	6166
3 - Amarelo	5890	5791	5813
4- Amarelo		5770	
5- Verde		5461	
	4875		4759
6 - Azul	4350	4350	4214
7- Violeta		4047	

VERMELHO .....a

VERDE AZULADA.....β

VIOLETA .....?

Usando a conhecida fórmula do número de onda  $\frac{1}{I} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right)$ ,  $m = 3, 4, 5...$

determine o valor da constante de Rydberg (R). Compare seus resultados com os valores encontrados em qualquer texto de física atômica.

**Determinação do valor da constante de Rydberg (R) para as linhas da Série de Balmer para o H.**

**$R_{\text{Teórico}} = 10973731,534 \text{ m}^{-1}$**

$\lambda_{\text{vermelho}} = 6561 \text{ A}^\circ$

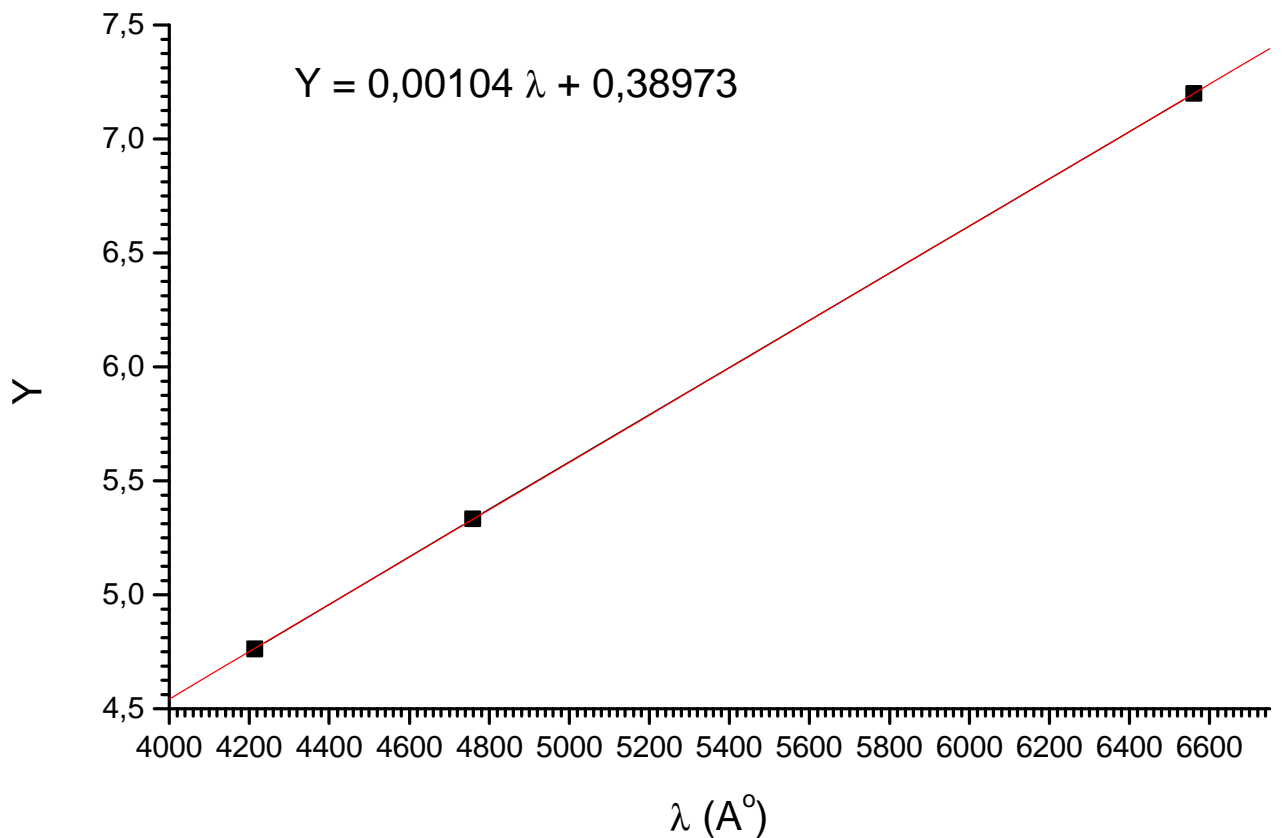
$\lambda_{\text{verde-Azulado}} = 4759 \text{ A}^\circ$

$\lambda_{\text{Violeta}} = 4047 \text{ A}^\circ$

$$\frac{1}{I} = R \cdot \frac{1}{4} \left( 1 - \frac{4}{m^2} \right)$$

$$\frac{4}{\left( 1 - \frac{4}{m^2} \right)} = R \cdot I \quad \text{Fazendo } Y = \frac{4}{\left( 1 - \frac{4}{m^2} \right)}$$

Cor	H	m	Y	$\lambda$ (A°)
Vermelho	H α	3	7,200	6561
Verde	H β	4	5,333	4759
Azul	H γ	5	4,762	4214
Violeta	H δ	6	4,500	



$$R_{\text{Encontrado}} = 0,00104 \text{ \AA}^{-1} = 10.400.000 \text{ m}^{-1}$$

$$D\% = -5,2 \%$$

#### IV – CONCLUSÃO

*Neste experimento, conseguimos nos familiaridade com um espectrômetro ótico do tipo de desvio constante (calibração e dispersão) e observamos alguns espectros de emissão (principalmente gases nobres) e identificamos a série de Balmer do Hidrogênio e determinamos a constante de Rydberg e identificamos as de linhas do parhélío e ortohélío (com alguma aproximação).*

#### V - BIBLIOGRAFIA

1. Walher, Straw - Spectroscopy: vol. 2
2. Herzberg - Atomic Spectra and atomic structure