



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CAMPUS PROF. ALBERTO CARVALHO
DEPARTAMENTO DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA

GUIA DE LABORATÓRIO PARA FÍSICA MODERNA

Prof. José Gerivaldo dos Santos Duque

Fevereiro de 2012

SUMÁRIO

1 - O Espectro de Emissão do Hidrogênio: A Série de Balmer	3
2 - O Experimento de Franck-Hertz	8
3 - O Efeito Fotoelétrico e a Medida da Constante de Planck Usando Led's	14
4 - O Experimento de Millikan	20

O ESPECTRO DE EMISSÃO DO HIDROGÊNIO: A SÉRIE DE BALMER

1 - INTRODUÇÃO:

Os átomos chamados de hidrogenóides são aqueles que possuem um único elétron girando em torno de um núcleo positivo (H, He^+ , Li^{2+} , etc). Esses átomos são sistemas que possuem solução exata dada pela teoria quântica. A aplicação da equação de Schrödinger independente do tempo prediz as energias permitidas para os estados quânticos desses sistemas. Os estados quânticos são descritos por um conjunto de quatro números quânticos, n , l , m_l e m_s ($n = 0, 1, 2, \dots$; $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$; $m_l = -l, \dots, 0, \dots, +l$; $m_s = \pm 1/2$), no entanto a energia de cada estado depende somente do número quântico principal, n . Esse fato gera o que chamamos de degenerescência de energia, ou seja, é possível haver vários estados quânticos para um mesmo valor de n .

Do ponto de vista experimental um gás excitado emitirá radiação luminosa com frequências determinadas pelas diferenças de energia entre os níveis de transição. Para o caso do hidrogênio, os valores medidos experimentalmente para os comprimentos de onda emitidos estão contidos dentro das chamadas séries do hidrogênio.

Nomes	Faixa de Comprimentos de Onda	Fórmulas	
Lyman	Ultravioleta	$k = 1/\lambda = R_H[(1/1^2) - (1/n^2)]$	$n = 2, 3, 4, \dots$
Balmer	Ultravioleta próximo e visível	$k = 1/\lambda = R_H[(1/2^2) - (1/n^2)]$	$n = 3, 4, 5, \dots$
Paschen	Infravermelho	$k = 1/\lambda = R_H[(1/3^2) - (1/n^2)]$	$n = 4, 5, 6, \dots$
Brackett	Infravermelho	$k = 1/\lambda = R_H[(1/4^2) - (1/n^2)]$	$n = 5, 6, 7, \dots$
Pfound	Infravermelho	$k = 1/\lambda = R_H[(1/5^2) - (1/n^2)]$	$n = 6, 7, 8, \dots$

Onde $R_H = \frac{m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^3 c} = 1.0974 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ é a constante de Rydberg. A Figura 1 mostra o

comprimento de onda em função de n para cada série. Observe que somente a série de Balmer emite comprimentos de onda na região do visível do espectro eletromagnético.

Deste modo, o objetivo desse experimento é determinar os comprimentos de onda na região do visível de uma lâmpada de hidrogênio usando um espectrômetro. Um espectrômetro consiste de três componentes básicos: um colimador, um elemento para difratar a luz e um telescópio. Em nosso caso a luz da lâmpada de hidrogênio passará pelo colimador, incidida em uma rede de difração ($a \sin \theta = n \lambda$, $a = 3.3 \times 10^{-3} \text{ mm}$ para a grade de 300 linhas por mm e $1.66 \times 10^{-3} \text{ mm}$ para a grade de 600 linhas por mm) e depois a posição angular das linhas será analisada através do telescópio. A Figura 2 mostra uma foto do espectrômetro indicando os seus componentes.

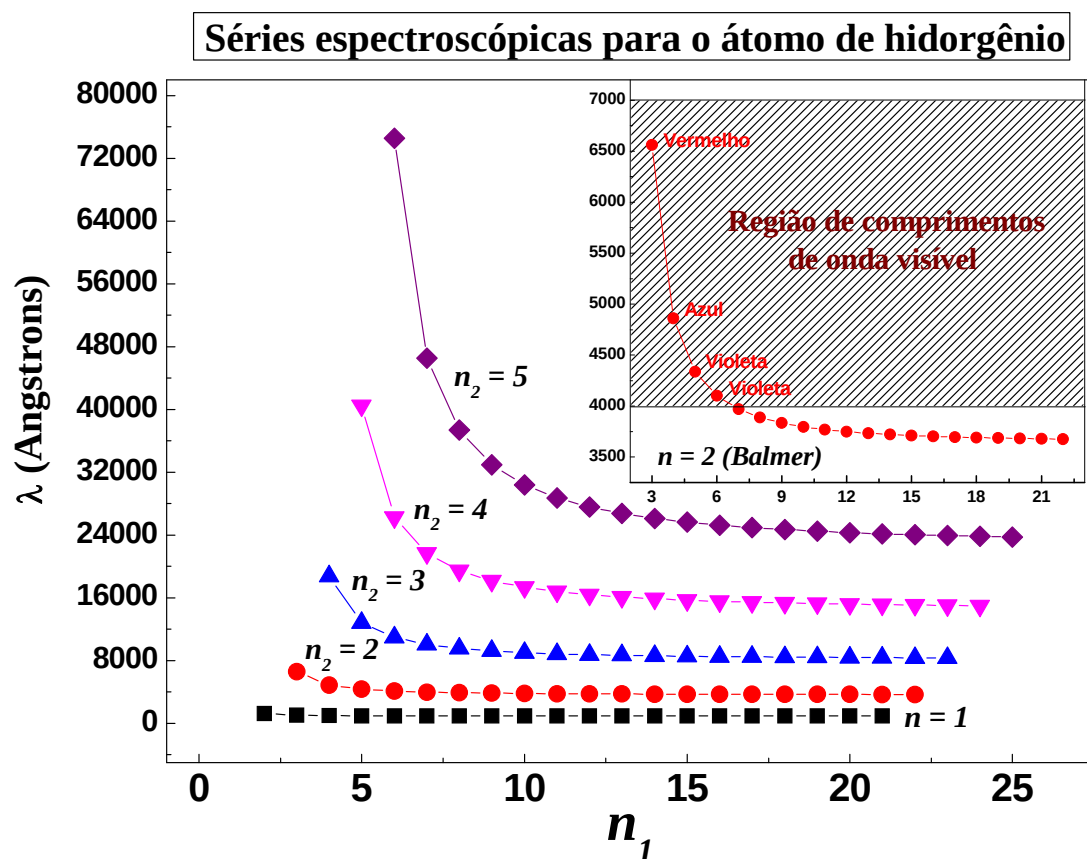


Figura 1 – Comprimento de onda em função de n para as séries espectrais do hidrogênio.

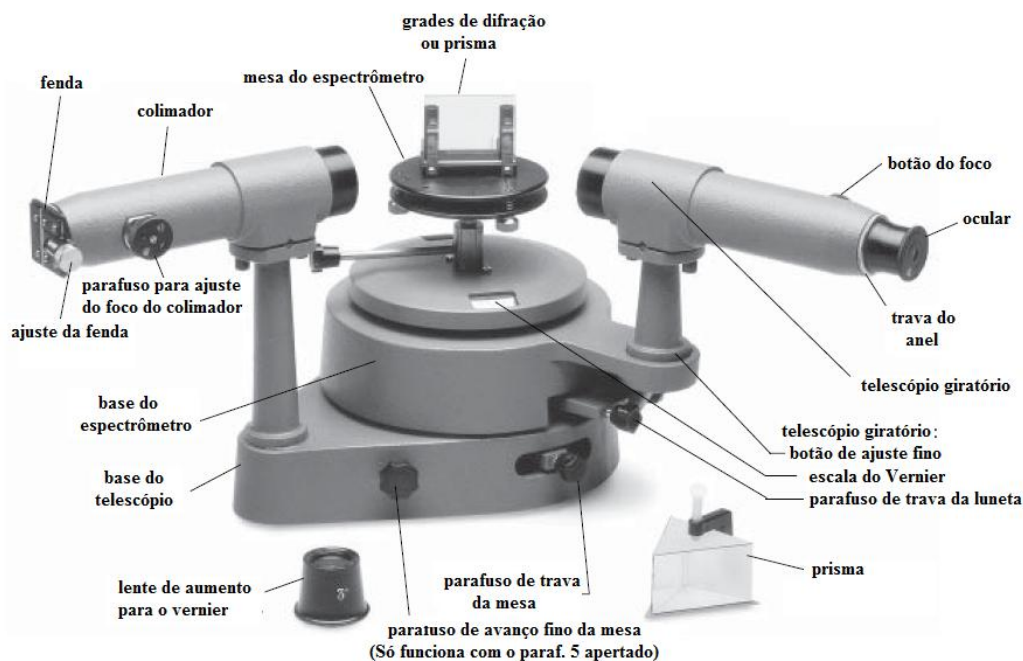


Figura 2 – Espectrômetro e seus componentes.

Nota suplementar (leitura do goniômetro) do Manual MSR:

Reading the Vernier Scales

To read the angle, first find where the zero point of the vernier scale aligns with the degree plate and record the value. If the zero point is between two lines, use the smaller value. In Figure 6, below, the zero point on the vernier scale is between the 155° and $155^\circ 30'$ marks on the degree plate, so the recorded value is 155° .



Now use the magnifying glass to find the line on the vernier scale that aligns most closely with any line on the degree scale. In the figure, this is the line corresponding to a measurement of 15 minutes of arc. Add this value to the reading recorded above to get the correct measurement to within 1 minute of arc: that is, $155^\circ + 15' = 155^\circ 15'$.

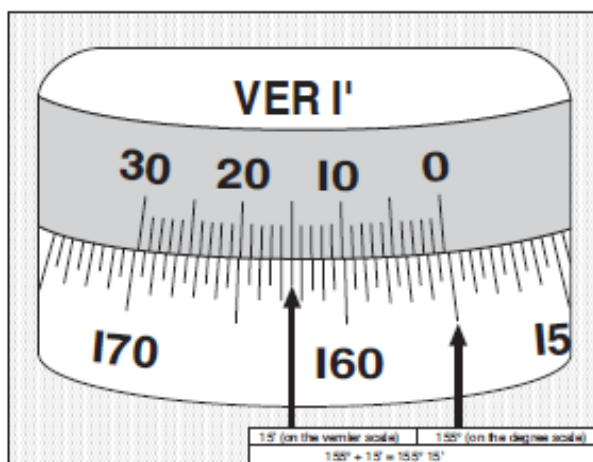


Figure 6 Reading the Vernier Scales

2 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a execução da experiência são necessários os seguintes aparelhos:

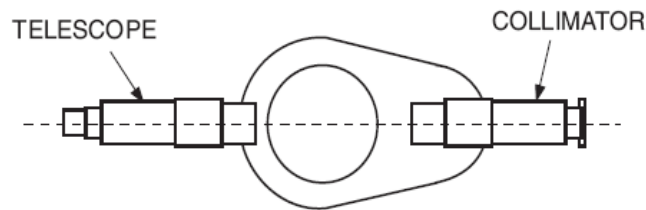
- Espectrômetro;
- Lâmpada de hidrogênio;
- Grades de difração.

Nivelamento do espectrômetro:

Para alinhar a rede de difração faça os eixos ópticos do telescópio (luneta) e do colimador coincidirem. Isto pode ser feito da seguinte maneira:

- Coloque o espectrômetro em uma superfície plana e nivele a sua base;

- Nivele a “mesa do espectrômetro” ajustando os três parafusos no lado de baixo da mesa;
- Faça os eixos do telescópio e do colimador ficarem perpendiculares a grade de difração;



- Há duas maneiras de melhorar a imagem das linhas observadas: usando o botão de foco do telescópio móvel, do colimador e da mudando a posição da lente;

Usando a rede de difração:

Alinhamento:

- Alinhe e focalize o espectrômetro da maneira descrita anteriormente;
- Solte o parafuso da mesa do espectrômetro. Alinhe a linha marcada na mesa de maneira que ela fique colinear com o telescópio e com o colimador. Reaperte o parafuso.
- Fixe a rede de difração no suporte. Preste atenção na orientação da rede. Ela deve ser colocada de maneira a difratar a luz na direção horizontal.

Observação: a rede de difração é construída de maneira que a luz é refratada com maior intensidade para um dos lados. Cuidado para não tocar na superfície da rede de difração.

- Coloque a fonte de luz a aproximadamente um centímetro da fenda. Ajuste a abertura da fenda de maneira que a imagem é brilhante e bem focalizada.
- Regule a abertura da entrada de luz e anote o ângulo para o feixe não difratado (feixe de ordem zero). Meça o ângulo para uma das cores refratada de um lado e depois o ângulo para a mesma cor refratada do outro lado. Ajuste o goniômetro até que estas duas posições angulares estejam simétricas em relação ao feixe de ordem zero.
- Repita o procedimento acima para as duas grades de difração (300 e 600 por mm);

CUIDADO: NÃO APROXIMAR DEMASIADAMENTE A FONTE DE LUZ DA FENDA DO COLIMADOR.

ANÁLISE DOS RESULTADOS:

Linha _____

θ (ordem zero)	θ (lado esquerdo)	θ (lado direito)	$\Delta\theta$ (lado esquerdo)	$\Delta\theta$ (lado direito)

Linha _____

θ (ordem zero)	θ (lado esquerdo)	θ (lado direito)	$\Delta\theta$ (lado esquerdo)	$\Delta\theta$ (lado direito)

Linha _____

θ (ordem zero)	θ (lado esquerdo)	θ (lado direito)	$\Delta\theta$ (lado esquerdo)	$\Delta\theta$ (lado direito)

Linha _____

θ (ordem zero)	θ (lado esquerdo)	θ (lado direito)	$\Delta\theta$ (lado esquerdo)	$\Delta\theta$ (lado direito)

- Use os valores de θ obtidos para calcular o comprimento onda usando a expressão $a\sin\theta = n\lambda$;
- Compare os valores com suas respectivas incertezas com os valores previstos teoricamente.

O EXPERIMENTO DE FRANCK-HERTZ

1 - INTRODUÇÃO

Em 1914 Franck e Hertz realizaram um importante experimento que ajudou a fortalecer as idéias de quantização dos átomos. Os resultados obtidos mostraram que não somente os átomos monoelétrônicos, os quais já se conheciam as energias através das previsões de Bohr, são quantizados, mas também são os átomos multieletrônicos. O experimento de Franck-Hertz consiste em acelerar elétrons emitidos de um filamento aquecido dentro de uma ampola evacuada que contém um gás a baixa pressão. No experimento original foi utilizado o gás de mercúrio. Os elétrons provenientes do filamento aquecido são acelerados através da diferença de potencial entre o filamento e a grade (ver figura 3). Aqueles elétrons que conseguirem atravessar a grade e tiverem energia cinética suficiente vencer o potencial retardador, V_r , alcançarão a placa coletora e assim poderão ser identificados como uma corrente no amperímetro. Os resultados obtidos por Franck-Hertz mostraram que para valores distintos da tensão de aceleração havia uma diminuição brusca da corrente na placa coletora. Eles interpretaram esse resultado com sendo devido à perda da energia cinética dos elétrons por colisões com os átomos de mercúrio. Essa energia absorvida é usada para promover uma transição dos elétrons do átomo de mercúrio.

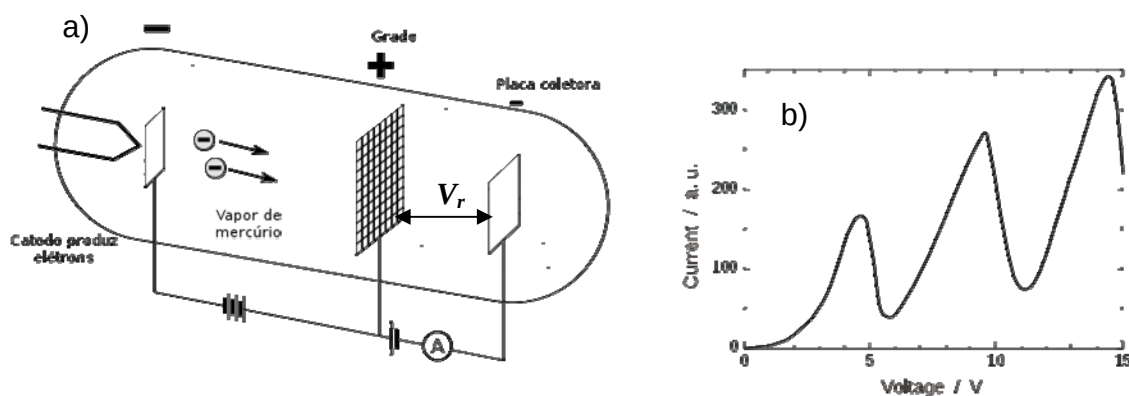
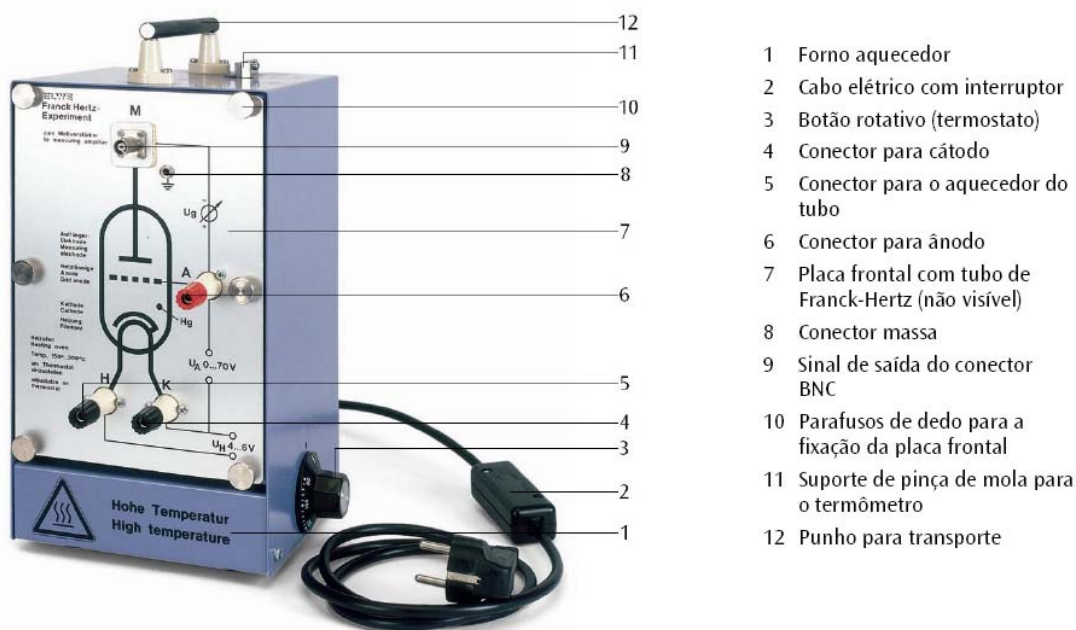


Figura 3 – (a) Esquema detalhado do experimento de Franck-Hertz e (b) padrão de picos obtido no experimento. (fonte das figuras: http://pt.wikipedia.org/wiki/Experimento_de_Franck-Hertz)

Observe que a corrente na placa coletora cai para tensões próximas a 4,9 V o qual corresponde à transição $6^1S_0 - 6^3P_1$ do mercúrio. Os resultados do experimento de Franck-Hertz dependem dos parâmetros tensão de aceleração, potencial retardador e do grau de agitação do gás, ou seja, da temperatura do gás.

A ampola e o forno de aquecimento do experimento de Franck-Hertz



1. INDICAÇÕES DE SEGURANÇA

- Antes de iniciar a operação, verificar se o aparelho é apto a funcionar com a tensão fornecida no local;
- Verificar antes de iniciar a experiência se o aparelho apresenta danos;
- Em caso de defeitos visíveis ou funcionais desligar imediatamente o aparelho;
- Não aplicar tensão no tubo frio (perigo de curto-circuito por causa do mercúrio);
- Não exercer qualquer esforço físico sobre o tubo. Não dobrar os cabos de conexão. Há risco de quebra do vidro, portanto há perigo de ferimento;
- Em caso de quebra do vidro e escapamento de mercúrio, respeitar as regras de segurança previstas para o manuseio do mercúrio;
- Apoiar o forno de aquecimento sobre uma superfície resistente ao calor;
- Durante a operação, só transportar o forno aquecedor pelo punho de transporte;
- Antes de desmontar o arranjo experimental deixar esfriar o aparelho.

IMPORTANTE: Cuidado! Risco de queimaduras! As paredes do forno aquecedor e as janelas de observação atingem uma temperatura de 160° C a 240° C durante a operação.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

a) Tubo de Franck-Hertz preenchido com Hg.

Para a execução da experiência são necessários os seguintes aparelhos adicionais:

- 1 aparelho de operação de Franck-Hertz;
- 1 termômetro digital, 1 canal;
- 1 sensor de imersão NiCr-Ni tipo K;
- 1 osciloscópio analógico, 2 x 35 MHz;
- 1 cabo HF, 1 m;
- 2 cabos HF, conector BNC de 4-mm.
- Cabos para experiências.

Montagem Experimental

- Deixar primeiro o forno e o aparelho de operação desligados e ligar as entradas e saídas A, H e K entre elas;
- Conectar a saída M do tubo de Franck-Hertz por meio do cabo HF com entrada correspondente;
- Conectar a saída "*FH Signal y-out*" no aparelho de operação e a entrada Y e a saída "*U_B/10 x-out*" na entrada X do osciloscópio;
- Introduzir o sensor NiCr-Ni através da abertura superior do forno de aquecimento e fixá-lo com a pinça de modo que a sua extremidade toque o tubo de Franck-Hertz;
- Girar todos os botões de ajuste para a esquerda até o fim;
- Ligar o forno aquecedor, ajustar uma temperatura de aproximadamente 130° C e esperar que o tubo esteja aquecido (cerca de 5 a 10 minutos);
- Ajustar a tensão de aquecimento em 6 V - 7 V (Obs.: O cátodo indiretamente aquecido requer um tempo de aquecimento de aproximadamente 1:30 min);
- Ligar o aparelho de operação, colocar o comutador "*Man/ Ramp, 50 Hz*" na posição "*Rampe*" e elevar lentamente a tensão de aceleração a 30 V;
- Operar o osciloscópio no modo XY com o ajuste $x = 0,5 \text{ V/Div}$ e $y = 1 \text{ V/Div}$;
- Observar o surgimento do primeiro máximo da curva de Franck-Hertz na tela do osciloscópio;
- Ajustar os parâmetros tensão de aceleração, aquecedor do cátodo, contra-tensão e amplitude, de modo que surja uma curva com máximos e mínimos bem definidos;
- Continuar aumentando a tensão de aquecimento e observar a formação de outras Máximas;

- Porém, só elevar a tensão de aceleração de modo que não ocorra qualquer descarga espontânea, já que a ionização repentina destruiria a curva;
- Realizar o experimento para a temperatura variando de 130 até 190°C e alguns valores de tensão de aceleração e contra tensão. Em cada caso anote os valores usados.

Para maiores detalhes veja a figura abaixo:

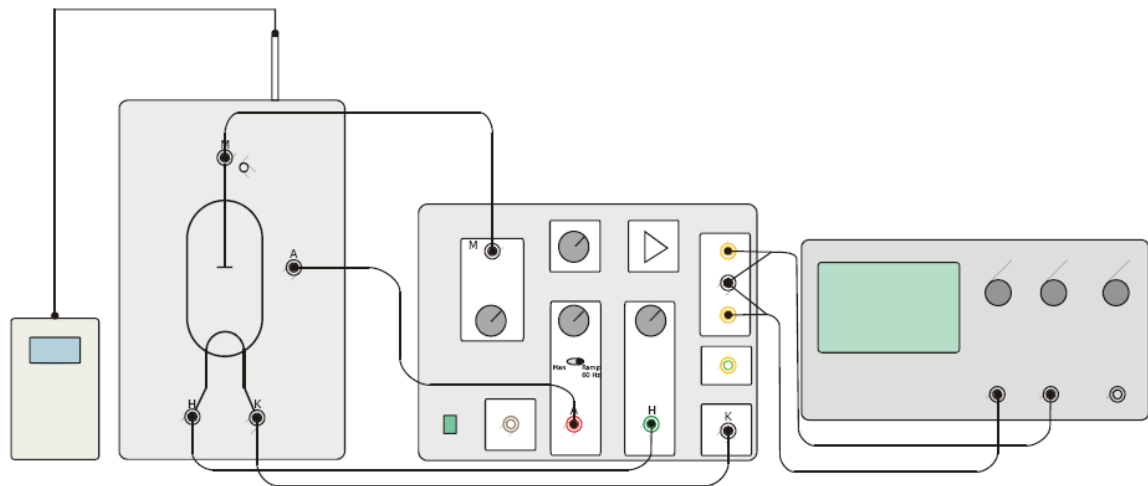


Figura 4 - Montagem da experiência com o tubo de Franck-Hertz com preenchimento de Hg.



Figura 5 - Imagem no osciloscópio da curva de Franck-Hertz.

b) Tubo de Franck-Hertz preenchido com He.

Para a execução da experiência são necessários os seguintes aparelhos adicionais:

- Aparelho para a experiência de Franck-Hertz com o tubo preenchido com He;
- 1 Osciloscópio analógico, 2 x 35 kHz;
- 1 Multímetro digital P3340;
- 1 Cabo HF, 1 m;
- 2 Cabo HF, BNC/conector de 4 mm;
- Cabos para experiências.

Montagem Experimental

- Deixar primeiro o aparelho operacional desligado com todos os botões virados totalmente para a esquerda;
- Efetuar as conexões conforme a figura 2;
- Ligar o aparelho de operação, colocar o comutador "*Man/Ramp, 60 Hz*" na posição "*Rampe*";
- Ajustar a tensão de aquecimento em 6 - 8 V (O cátodo indiretamente aquecido requer um tempo de aquecimento de aproximadamente 1:30 min);
- Elevar lentamente a tensão de aceleração a 70 V;
- Operar o osciloscópio no modo XY com o ajuste $x = 1 \text{ V/Div}$ e $y = 1 \text{ V/Div}$;
- Observar o surgimento da máxima da curva de Franck-Hertz na tela;
- Ajustar os parâmetros tensão de aceleração, aquecedor do cátodo, contra-tensão e amplitude, de modo que surja uma curva com máximos e mínimos bem definidos.

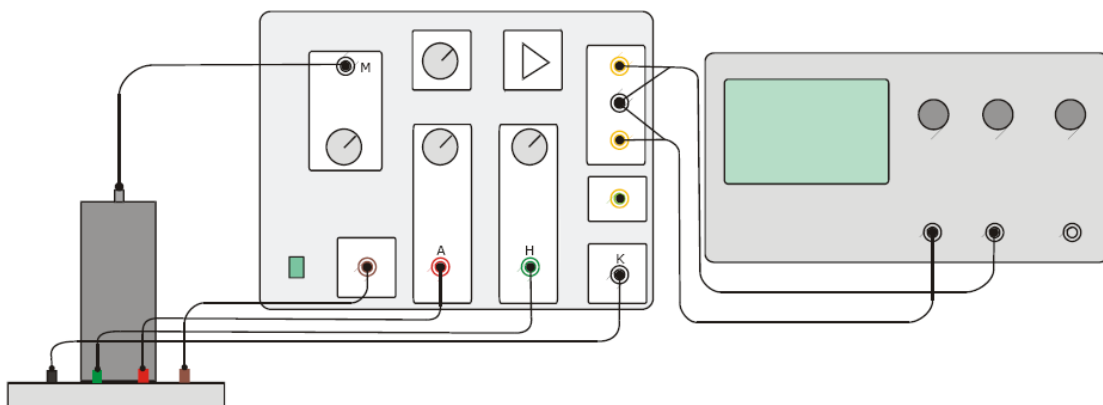


Figura 5 - Montagem experimental do tubo de Franck-Hertz com preenchimento Ne.



Figura 5 - Corrente de receptor I em função da tensão de aceleração U.

Neste caso, a transição corresponde à excitação para o nível 3p no átomo de neônio ($\Delta U = 19 \text{ V}$).

ANÁLISE DOS RESULTADOS:

- Anote os valores de tensão e suas respectivas incertezas da tela do osciloscópio para cada valor de temperatura, tensão de aceleração e tensão de retardamento (anote esses valores);
- Monte uma tabela com esses valores e faça uma análise estatística usando esses resultados;
- Compare para cada caso (Hg e Ne) os valores das transições com os valores esperados teoricamente;

O EFEITO FOTOELÉTRICO E A MEDIDA DA CONSTANTE DE PLANCK

USANDO LED's

1 - INTRODUÇÃO

1.1 – O efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons por superfícies metálicas quando iluminados por radiação de comprimentos de onda bem definidos. Esse efeito foi explicado com sendo um efeito da quantização, ou seja, a luz é formada por pacotes de energia (quantum de luz) e sua intensidade é igual a constante de Planck vezes a frequência da luz. Essa quantidade de energia deve ser capaz de arrancar os elétrons da placa metálica e ainda fornecer energia cinética para que o elétron seja ejetado da placa.

$$hf = E_c (= \frac{mv_{\max}^2}{2}) + \phi \quad (1)$$

Onde h é a constante de Planck, f é a frequência e ϕ é a função de trabalho que depende do tipo de metal.

A explicação satisfatória para esse efeito foi dada em 1905, por Albert Einstein, e em 1921 rendeu ao cientista alemão o prêmio Nobel de Física.

Na prática havia no efeito fotoelétrico três questões que a teoria ondulatória clássica não explicava:

1 - *A teoria ondulatória requer que a amplitude do campo elétrico oscilante E da onda luminosa cresça se a intensidade da luz for aumentada. Já que a força aplicada ao elétron é igual à eE , isto sugere que a energia cinética dos fotoelétrons deveria também crescer ao se aumentar a intensidade do feixe luminoso;*

2 – *De acordo com a teoria ondulatória, o efeito fotoelétrico deveria ocorrer para qualquer frequência de luz, desde que esta fosse intensa o bastante fornecer energia necessária à ejeção de elétrons.*

3 – *Se a energia adquirida por um fotoelétron é absorvida da onda incidente sobre a placa metálica, a “área de alvo efetiva” para um elétron no metal é limitada, e provavelmente não é muito maior que a de um círculo de raio aproximadamente igual ao raio atômico. Na teoria clássica, a energia luminosa está uniformemente distribuída sobre a frente de onda. Portanto, se a luz é suficientemente fraca, deveria haver um intervalo de tempo mensurável entre o instante em que a luz começa a incidir sobre a superfície e o instante da ejeção do fotoelétron. Durante esse intervalo, o elétron deveria estar absorvendo energia do feixe, até que tivesse acumulado o bastante para*

escapar. No entanto, nenhum retardamento detectável foi jamais medido. (Eisberg e Resnick, física quântica, pág. 23, Editora Campus).

1.2 – A medida da constante de Planck usando LED's

As junções *p-n* possuem uma aplicação tecnológica muito interessante chamada de LED (*Light Emitting Diode*). Na região da junção dos dois semicondutores extrínsecos existe uma barreira de potencial devido à recombinação de cargas diretamente provenientes das duas regiões. Assim, a aplicação de uma tensão elétrica pode provocar o aumento ou a diminuição dessa barreira de potencial dependendo da polarização. No sentido de polarização direta os LED's tendem a diminuir a barreira de potencial. Nesse processo os elétrons, ao atingirem a banda de condução no lado *p*, decaem para a banda de valência através da barreira de energia designada por E_g . Nos LED's essa energia é liberada na forma de ondas eletromagnéticas com frequências que podem estar na faixa do visível ou do infravermelho. Assumindo a ocorrência de recombinação direta dos elétrons com os buracos através da junção, com toda a energia envolvida sendo convertida em energia do fóton, então a seguinte equação é válida:

$$h\nu = E_g \quad (2)$$

onde h é a constante de Planck e ν a frequência da radiação emitida. A diferença de potencial V aplicada ao LED na polarização direta, aproximadamente constante, corresponde à energia (por unidade de carga) fornecida aos elétrons para vencerem a barreira de energia entre o lado *n* e o lado *p* existente inicialmente (na ausência de tensão aplicada). Igualando a energia fornecida pela fonte de tensão aos elétrons com a energia da barreira, teremos, portanto:

$$eV \cong E_g \quad (3)$$

Se a ddp fosse exatamente constante na polarização direta, combinando-se as Eqs. 2 e 3 seria possível assim a determinação imediata da constante de Planck a partir das medidas de V e de ν , através da expressão:

$$eV \cong h\nu \quad (4)$$

Na prática ocorrem outros efeitos na propagação de corrente através do LED polarizado diretamente, como a presença de uma resistência elétrica intrínseca ao diodo que leva a curva I vs V a possuir uma porção aproximadamente linear para tensões bem acima do limiar de condução. Assim, a determinação de qual valor de V deve ser empregado na Eq. 3 é algo arbitrária. O método mais empregado para a obtenção da constante de Planck corresponde a traçar uma reta tangente à porção linear na parte final da curva I vs V , obtendo-se por extrapolação o valor V_{ext} para o qual essa reta corta o eixo horizontal

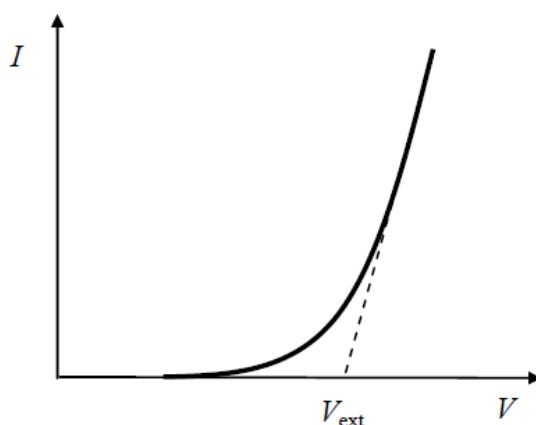


Figura 6 – Curva I vs V de um LED.

Esse valor de tensão não pode ser diretamente empregado na Eq. 3, mas a variação de V_{ext} com a frequência ν da radiação emitida pelos LED's fornece uma relação linear a partir da qual a constante de Planck pode ser obtida.*

Deste modo o objetivo principal desse experimento é mostrar a dependência da corrente fotoelétrica com a potência da fonte, com a tensão de aceleração e medir a constante de Planck usando LED's.

*Adaptação do manual de laboratório para esse mesmo experimento de http://www.ufv.br/dpf/320/Cte_Planck.pdf

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL - Parte 1 (dependência linear da foto-eletricidade da potência luminosa.):

Para a realização da experiência precisam-se adicionalmente os seguintes aparelhos:

- 1 Fonte de alimentação DC 500 V (230 V, 50/60 Hz);
- 1 Multímetro digital capaz de medir correntes em μA ;
- Fontes de luz;
- Material de apoio ou banco óptico.

Montagem Experimental

Com a experiência é comprovada a dependência linear da foto-eletricidade da potência luminosa.

- Montar a fotocélula no material de apoio ou sobre um banco óptico (fig. 7);

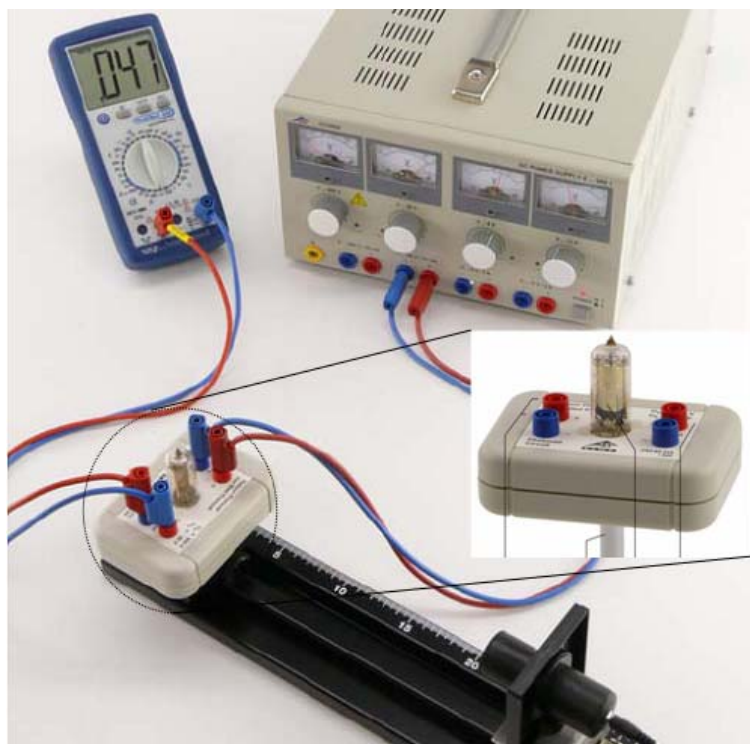


Figura 7 – Montagem experimental do efeito fotoelétrico.

- Com tensão de absorção constante $U_b \approx 50 \text{ V}$ (ver esquema elétrico na fig. 8) e posicionar em distância definida da fotocélula, em completa obscuridade uma fonte de luz;
- Ler a foto-corrente do multímetro (Obs.: Colocar o fundo de escala do multímetro em μA);

- Deslocar a fonte luminosa de tal maneira a obter uma curva da corrente fotoelétrica em função da potência luminosa;
- Usar dois valores de potência para obter curvas da corrente fotoelétrica em função da tensão da fonte, U_b . Para isso use duas posições diferentes da célula em relação à fonte.

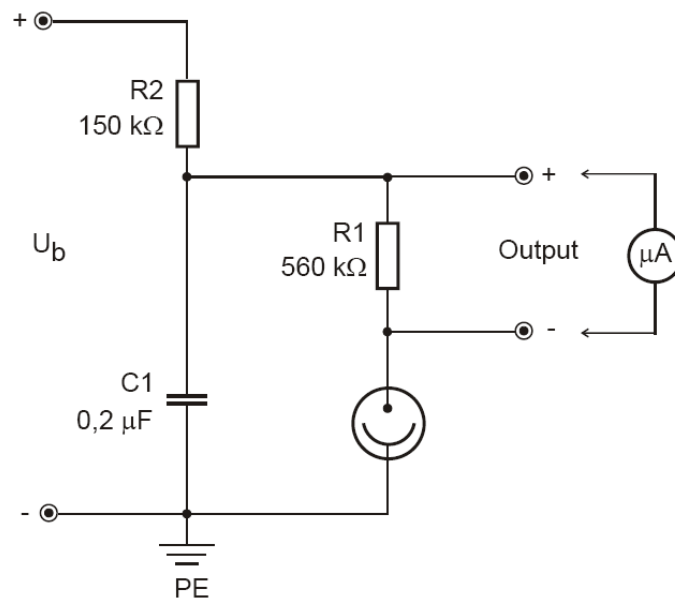


Figura 8 – Esquema elétrico da célula fotoelétrica.

ANÁLISE DOS RESULTADOS:

- Monte tabelas de dados e depois faça gráficos apresentando os resultados (não esquecer de anotar as incertezas dos instrumentos);

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL - Parte 2 (medida da constante de Planck usando LED's):

Para a execução da experiência são necessários os seguintes instrumentos:

- LED's diversos;
- Fonte de tensão;
- Multímetro digital;
- Espectrômetro;
- Monte o circuito da figura 9 para medir as curvas $V_{vs}I$ dos LED's (Lembrar que a "perna" mais curta do LED's deve ser conectado no pólo negativo da fonte de tensão);

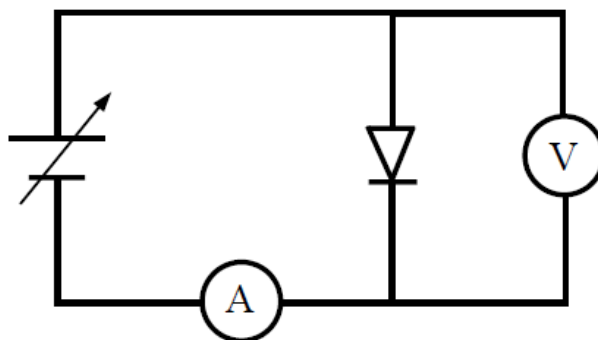


Figura 9 - Circuito para levantamento da curva I-V para os LED's

- Varie a tensão aplicada na fonte regulável e efetue as medidas de corrente e tensão no amperímetro e no voltímetro digitais, respectivamente. A corrente não deve ultrapassar 50 mA.
- Meça os valores de λ usando o mesmo procedimento indicado para a medida das séries espectral do hidrogênio.

ANÁLISE DOS RESULTADOS:

- Organize em uma tabela os resultados para as medidas de λ e assim determine v usando a relação ($\lambda v = c$). Determine os valores médios e as incertezas nos valores de λ .
- Trace em um mesmo gráfico as curvas características I vs V para os LED's, indicando os valores de tensão de limiar de condução (V_i) obtidos em laboratório para cada um deles.
- Determine a partir dessas curvas os valores de V_{ext} para cada um dos LED's, utilizando o procedimento descrito anteriormente (veja a Fig. 6).
- Procure estimar a incerteza envolvida na determinação de V_{ext} , avaliando a variação no valor obtido para essa grandeza de acordo com a escolha exata dos pontos a serem utilizados no processo de extrapolação linear da curva I vs V . Um método que pode ser utilizado é efetuar a extrapolação várias vezes utilizando escolhas de pontos diferentes ao longo do final da curva I vs V , determinando a seguir o valor médio e incerteza em V_{ext} .
- Faça um gráfico de V_{ext} em função de v para os quatro LED's e determine por ajuste linear o valor da constante de Planck, com incerteza. *

* Adaptação do manual de laboratório para esse mesmo experimento de http://www.ufv.br/dpf/320/Cte_Planck.pdf

O EXPERIMENTO DE MILLIKAN

INTRODUÇÃO:

O experimento da gota de óleo de Millikan (1869 - 1953) demonstrou que a carga elétrica não aparece em qualquer quantidade, mas apenas como múltiplo de uma quantidade fundamental, a carga do elétron 1.6×10^{-19} C. Esse experimento consiste basicamente em observar o movimento de uma gota de óleo eletrizada por atrito com o ar em um campo elétrico uniforme. A figura 10 mostra um esquema do experimento de Millikan. A gota de óleo entra na região entre as placas de um capacitor polarizado e assim seu movimento fica dependente do sentido do campo elétrico. Com o campo elétrico desligado a gota se movimenta para baixo devido à ação da força da gravidade e da força de atrito viscoso.

$$\vec{F} = m \vec{a} = m \vec{g} - 6\pi\eta r \vec{v}_d \quad (5)$$

Onde $\vec{g}$ é a aceleração da gravidade e η é o coeficiente de atrito viscoso. Se o campo elétrico for estabelecido no sentido de cima para baixo o movimento da gota será de subida uma vez que a gota está eletrizada negativamente.

$$\vec{F} = m \vec{a} = q \vec{E} - m \vec{g} - 6\pi\eta r \vec{v}_s \quad (6)$$

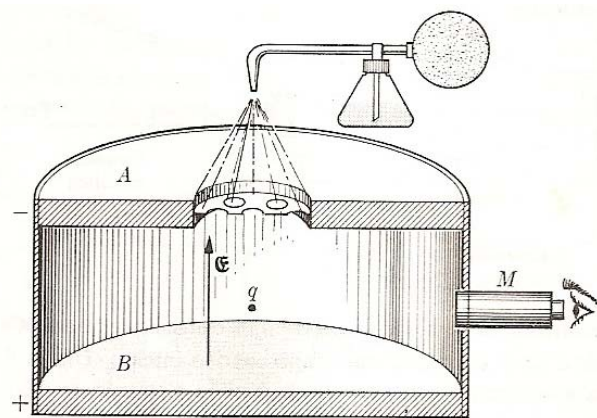


Figura 10 - Esquema do experimento de Millikan.

A velocidade final ou limite da gota é determinado para $\vec{a} = 0$. Resolvendo para o raio e a carga da gota teremos que:

$$r = \sqrt{\frac{9\eta v_d}{2\rho g}} \quad (7)$$

e

$$q = \frac{6\pi\eta r (v_1 + v_2)}{E} = \frac{6\pi\eta r d (v_1 + v_2)}{V} \quad (8)$$

Onde ρ é a densidade da gota de óleo ($m = 4/3\pi r^3$).

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a execução da experiência são necessários os seguintes instrumentos:

- Fonte de tensão 600V;
- Fonte de iluminação;
- Nebulizador;
- Microscópios;
- Cronômetros;

- Conecte os cabos da fonte de tensão nos terminais do capacitor;
- Ligue a fonte de iluminação;
- Borrife com o nebulizador as gotas de óleo dentro do capacitor;
- Observe as gotas através da luneta e observe o seu movimento;
- Tente controlar o seu movimento ligando e desligando a chave da fonte;
- Anote os espaços e o tempo gasto para percorrê-los para a o movimento da gota para cima e para baixo;

Dica: Tente ajustar o foco da luneta usando um pedaço de um fio de cobre fino no centro do capacitor.

ANÁLISE DOS RESULTADOS:

- Monte uma tabela com os valores dos espaços e o tempo;
- Calcule as velocidades de subida e descida da gota;
- Use as expressões 7 e 8 para calcular o raio e a carga da gota;
- Observe se o valor das cargas obtidas é um múltiplo da carga fundamental do elétron;
- Compare os resultados com o valor da carga fundamental do elétron;