



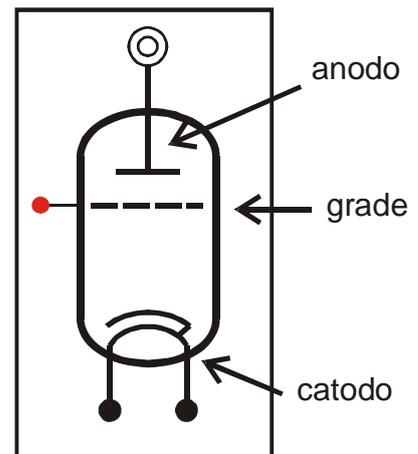
O EXPERIMENTO DE FRANCK-HERTZ

1. Introdução

A teoria de Bohr para o átomo de hidrogênio, desenvolvida entre 1912 e 1913, obteve enorme sucesso, pois conseguiu explicar de forma convincente os espectros de raios e, mais particularmente, as séries espectrais do hidrogênio. Um conceito fundamental por ele introduzido é que as transferências de energia, seja na geração de um fóton, seja na absorção de radiação (levando o átomo para um estado excitado superior) se dá de maneira quantizada.

Em 1914 James Franck e Gustav Hertz realizam um experimento que não só comprova as idéias de Bohr, mas também mostra que as transferências de energia por colisão se dão de forma quantizada.

Uma típica válvula de Franck-Hertz é mostrada ao lado. Nela, o catodo é aquecido ao submetê-lo a uma tensão (em nosso experimento ela é de 6,3 V) e nesse processo forma-se uma nuvem eletrônica em seu redor. Se a grade for colocada em um potencial positivo (denominado de potencial de excitação), os elétrons irão ser acelerados em sua direção e alguns deles passam por ela, sendo recolhidos no anodo. Contudo, se o anodo for colocado em um potencial negativo (chamado de potencia de retardo), apenas os elétrons que tiverem energia maior que este potencial irão atingir a placa.



O interior da válvula é preenchido com gás de mercúrio e os átomos deste gás se chocam com os elétrons acelerados a partir do catodo.

Em geral esses choques são elásticos, de forma que não ocorrem transferências de energia. Contudo em determinados valores bem específicos de energia dos elétrons os choques são inelásticos e há então transferência de energia para os átomos de Hg. Sob o ponto de vista quântico, essa transferência de energia corresponde à transição entre níveis de energia do Hg, mais especificamente do estado fundamental ao primeiro estado excitado. Essa diferença é de 4,9 eV.

Ao perder energia para os átomos de Hg, os elétrons não terão energia suficiente para vencer o potencial de retardo e dessa forma a corrente recolhida pelo anodo diminui. Entretanto, devido ao potencial de excitação, a energia dos elétrons aumenta novamente e a partir de um determinado valor superam o potencial de retardo e assim a corrente no anodo passa a crescer. Contudo o crescimento da energia dos elétrons vai até o ponto onde sua energia é equivalente à diferença dos níveis de energia do

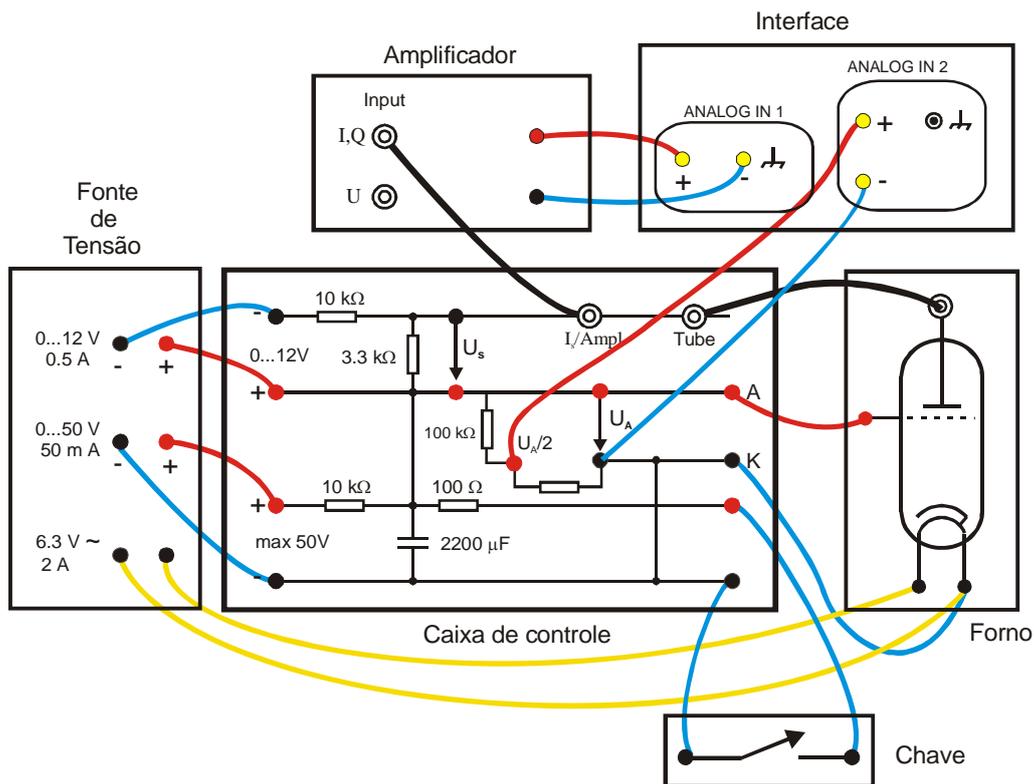
Hg e assim uma nova absorção ocorre, isto é, um novo choque inelástico ocorre e a corrente do anodo decresce novamente.

2. Lista de materiais

1 módulo de controle	1 chave de curto circuito
1 amplificador de corrente (110 V)	1 termômetro digital equipado com fio termopar de Ni-Cr
1 forno com o tubo de Franck Hertz (110 V)	1 voltímetro
1 Fonte de tensão (110 V)	1 multíteste
1 Interface com conversor AD (110 V)	2 cabos tipo BNC
1 cabo RS232	cabos de ligação
1 computador com o programa <i>Measure</i> instalado	

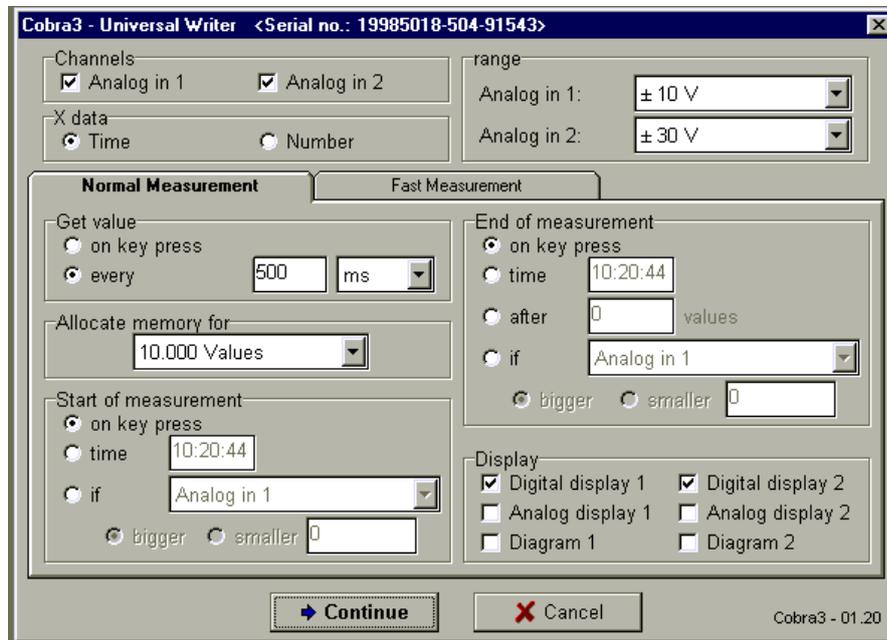
3. Montagem

Monte o experimento de acordo com o diagrama abaixo, *mantendo a chave de curto circuito fechada* (posição |). Durante essa operação todos os equipamentos devem estar desligados. O forno não deve estar próximo aos equipamentos.



- Ligue a Interface à entrada serial do computador usando o cabo RS232.
- Conecte um voltímetro para ler a tensão de retardo U_s . Conecte também outro voltímetro para ler a tensão da saída 0...50V da fonte.
- Insira o fio do termopar na entrada apropriada do forno, certificando-se que sua ponta esteja bem no centro do dispositivo e não tocando nas paredes ou no tubo Franck Hertz.

- Ligue todos os equipamentos, verificando se todos os botões de controle da fonte tensão se encontram na posição mínima.
- Abra o programa *Measure* e clique no ícone *New Measurement*. Um quadro semelhante à figura abaixo aparecerá na tela. Configure os parâmetros de acordo com a figura.



Nota: Para se evitar depósito de mercúrio na superfície do catodo, é recomendado que seu aquecimento (6,3 V~) seja ligado 1 minuto antes de se ligar o forno. Ao completar o experimento espere o forno esfriar para desligar a fonte de tensão.

3. Medidas

IMPORTANTE

- Durante o processo de medidas, principalmente a temperaturas mais baixas, fique observando o tubo de Franck Hertz. Se um brilho azulado aparecer entre o catodo e a grade, significa que um processo de *“ignição”* no tubo pode estar iniciando. Isso pode provocar um curto circuito em seu interior, danificando-o permanentemente. Feche imediatamente a chave de curto-circuito e diminua a tensão de aceleração. Refaça a medida ajustando a tensão de aceleração para um valor menor daquele no qual houve o início de ignição do tubo.
- Se porventura aparecer camadas horizontais de uma fraca luz esverdeada, não se preocupe, pois mostram apenas as frentes de choque dos elétrons com os átomos de mercúrio.

- Mantendo a chave de curto circuito fechada, fixe a tensão de retardo em $U_s = 1,0 \text{ V}$ e ajuste a tensão de aceleração em 50 V. Em seguida, ligue o forno, *gire o botão de controle de*

temperatura para a posição máxima e regule a tensão no Variac para que se chegue à temperatura de 170 °C.

Aproximadamente:

Temperatura (°C)	Tensão (V)
177	70
158	60
130	50
141	55
122	45
112	40

- A corrente coletada é da ordem de dezenas de nano Ampères, de forma que o amplificador de corrente deve estar em fundo de escala dessa ordem de grandeza. Tente inicialmente a escala de 0.1 μ A.
- Clique no botão *Continue* do programa de aquisição de dados. Uma nova tela surgirá. Para iniciar o processo de aquisição de dados clique no botão *Start measurement* e abra a chave de curto circuito, colocando-a na posição **0**. Observe a leitura do canal *Analog 1* e certifique-se que não ultrapassa 10 V (os números ficam vermelhos). Caso isto ocorra, significa que o fundo de escala foi ultrapassado. Interrompa a medida e a reinicie com um fundo de escala maior.
- O processo de medida deve terminar quando a leitura do canal *Analog 2* atingir a metade da tensão de aceleração, isto é 25 V. Este valor é atingido em cerca de 2 minutos. Clique no botão *Stop measurement* e feche a chave de curto circuito, retornando-a para a posição |.
- Antes de prosseguir com outras medidas, crie uma pasta com seu nome (ou outro de sua escolha!) em *C:\Usuários* e salve seu arquivo escolhendo na barra de menu a opção *File* \Rightarrow *Save measurements as...*
- Mantendo a temperatura em 170 °C, repita a medida para outros valores de tensão de retardo U_s iguais a 0.1 V, 2 V e 3 V. Salve os resultados .
- Faça um estudo da dependência do padrão com a temperatura, começando com 150 °C e em seguida baixando-a de 20 em 20 °C, até um mínimo de 100 °C. Para este estudo fixe a tensão de retardo em $U_s = 2,0$ V. **Fique atento ao possível brilho no tubo**. Salve seus resultados.

Obs: Se a curva obtida no experimento não sair “lisa” e sim “quebradiça”, significa que o fundo de escala usado no amplificador de corrente não foi adequado. Diminua o fundo de escala e refaça a medida.

4. Pontos para discussão e questões adicionais.

1. Determine a diferença de energia entre o estado fundamental e o primeiro estado excitado do átomo de Hg usando os gráficos obtidos.
2. Observe as curvas obtidas com a variação da tensão de retardo. Aponte as diferenças e explique os resultados.

3. Faça o mesmo com as curvas obtidas com a variação de temperatura.
4. Estude o circuito utilizado (que vem desenhado na caixa de controle) para a aceleração dos elétrons e trace o gráfico da tensão de aceleração X tempo. Qual é a constante de tempo do circuito?
5. O gás de mercúrio é mantido à baixa pressão? O que ocorreria se fosse mantido à alta pressão?
6. Como seria a curva I X V se não houvesse o mercúrio?
7. Porque os picos obtidos não são abruptos, se a energia de transição é bem definida?
8. Discuta a questão do brilho azulado e da "ignição" do tubo.

5. Apêndice: tratamento de dados

5.1 Exportando o arquivo

Para a elaboração do relatório será necessário manipular os dados para a confecção dos gráficos, inseri-los no documento, etc. Contudo, os arquivos salvos (cuja extensão é .msr) só podem ser manipulados pelo software *Measure*, sendo necessário salva-los em outro formato. Para tanto, proceda de acordo com as instruções descritas no item **5.2.f.** abaixo.

Os arquivos assim exportados constarão de 3 colunas: a primeira se refere ao tempo, a segunda é a corrente e a terceira é a tensão de aceleração. No entanto será necessário corrigir esses valores pelas seguintes razões.

A leitura da tensão de aceleração (canal 2) é justamente a metade da tensão efetivamente aplicada, pois a interface só pode ler um máximo de 30 V. Um divisor de tensão é usado na caixa de controle para essa tarefa.

Por outro lado, o amplificador de corrente converte a corrente coletada em tensão, de 0 a 10 V. Se, por exemplo, o medidor de corrente indicar $5,5 V$ e o fundo de escala for $1 \mu A$, o valor correto da corrente é $0,55 \mu A = 550 nA$. Você terá, portanto, que corrigir o valor lido dividindo ou multiplicando por um fator que dependerá da escala (μA ou nA) que você queira expressar seu resultado.

Você pode corrigir esses valores usando um software apropriado, ou procedendo de acordo com as próximas instruções.

5.2. Corrigindo valores

5.2.a. Abra o programa *Measure* e em seguida abra um arquivo previamente salvo (de extensão .msr)

5.2.b. Para corrigir o valor da tensão de aceleração, clique na barra de menus em *Analysis* \Rightarrow *Channel modification*. No quadro *Operations* escreva a expressão $x * 2$; no quadro *Modify*, marque a opção *Right axis* e no quadro *Channel* clique em *overwrite*. Clique no botão *Calculate* para efetuar a modificação.

5.2.c. Repita a operação para corrigir os valores da corrente. No quadro *Operation* o fator multiplicativo dependerá do fundo de escala utilizado no amplificador de corrente, bem como da unidade (ou melhor, do

submúltiplo) de corrente escolhida. Assim, se você usou um fundo de escala de $0,1\mu A$ e for escrever o resultado em nA , você deve escrever a operação: $x*10$. Caso queira escrever este resultado em μA , escreva: $x/100$. Clique também em *Left axis* e *overwrite* nos respectivos quadros.

5.2.d. Você pode também colocar as unidades e os títulos nos eixos. Para a corrente, por exemplo, clique em *Measurements* \Rightarrow *Information*. Selecione a pasta *Channels* e escolha o canal *Analog 1* e escreva nos quadros correspondentes: *Title: Corrente*, *Symbol: I* e *Unit: nA* (ou μA , dependendo da escolha feita no item precedente). Ainda nesta mesma pasta, escolha no quadro *Channels* o canal *Analog 2* e escreva nos quadros *Title: Tensão*, *Symbol: U* e *Unit: V*.

5.2.e. Salvar mais uma vez o seu gráfico de maneira habitual.

5.2.f. Contudo, como acima dissemos o arquivo assim salvo só poderá ser manipulado pelo *Measure*. Para salvar os dados de modo que você possa trabalhar com outros programas, clique em *Measurement* \Rightarrow *Export data*. Selecione então as opções *Destination: save to file* e *Format: Export as numbers*. Clique OK e salve seus dados no diretório e nome adequados.

5.2.g. Você notará que este ultimo arquivo constará de 3 colunas, ou seja, o tempo decorrido (em ms), a corrente (em μA ou nA) e a tensão de aceleração (em V).

Roteiro elaborado por Ossamu Nakamura em julho/2002