|  |  |
| --- | --- |
| http://www.brastex.info/maxent2008/logo_if3.gif | Universidade de São Paulo - USPInstituto de Física – IFUSPFísica Experimental V – 1° semestre 2019 |

**O experimento de Franck-Hertz**

**Introdução**

As ideias de Bohr provaram ser extremamente úteis na explicação das regularidades nos espectros de emissão e absorção, desde o infravermelho aos raios-X, de átomos e moléculas. Mas, a explicação das regularidades espectrais sozinha não fornece uma prova direta de que átomos e moléculas existem somente em certos estados de energia permitidos. São necessárias verificações experimentais diretas que mostram que o átomo não pode mesmo assumir valores de energia que variam continuamente.

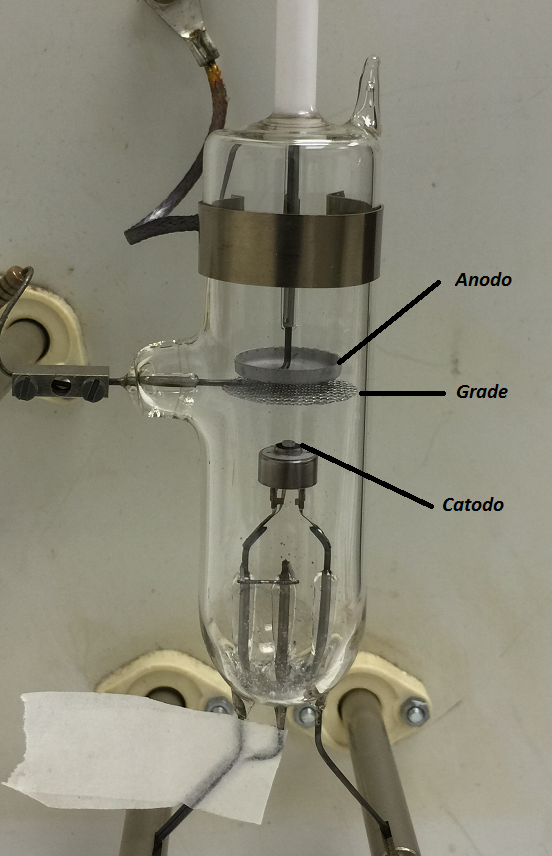
A confirmação direta que os estados de energia internos de um átomo são quantizados vem de uma experiência simples realizada por Franck e Hertz em 1914. E vamos reproduzir essa experiência nesta aula.

O experimento de Franck e Hertz consiste em um tubo contendo um cátodo, um ânodo, uma grade, e um gás ou vapor, em baixa pressão, dos átomos que queremos investigar. Nesse caso será utilizado o Mercúrio (Hg) como na experiência original. Elétrons de baixa energia são emitidos termicamente (efeito termiônico) por um cátodo e acelerados na direção da grade por uma diferença de potencial V. Alguns elétrons conseguem chegar ao ânodo após a grade, desde que a sua energia cinética seja suficiente para vencer o potencial de retardo VR aplicado entre o ânodo e a grade. Um picoamperímetro conectado detecta os elétrons que alcançaram o ânodo na forma de corrente elétrica.

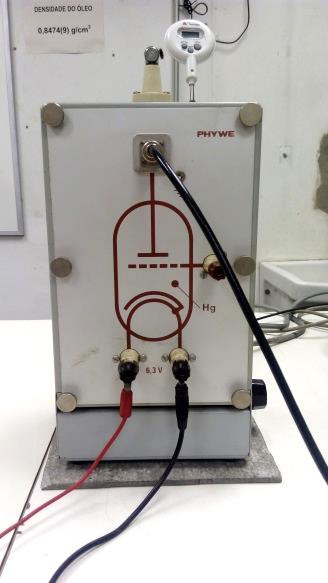
**Materiais**

- Tubo de Franck-Hertz: fabricação da *Phywe*: modelo 09086.93.

* Tubo a vácuo contendo vapor saturado de mercúrio Hg a uma pressão dependendo da temperatura do tubo.
* O modelo 09086.93 possui três eletrodos (cátodo, ânodo e grade) planos e paralelos que produzem um campo elétrico uniforme para acelerar os elétrons.
* O cátodo é aquecido indiretamente com um eletrodo de aquecimento usando uma tensão nominal de 6.2 V.
* A grade é uma tela perfurada que está a 8 mm do cátodo e é mantida em um potencial positivo VA relativo ao catodo para acelerar os elétrons termionicamente emitidos pelo catodo aquecido.
* O ânodo fica a uma pequena distância (~ 2 mm) da grade e é carregado negativamente em relação a grade com uma tensão VR, que age para retardar os elétrons que passam pela grade.



- Forno elétrico: Composto de um pequeno armário de aço com uma resistência elétrica de aproximadamente 300W para produzir um aquecimento uniforme do tubo. Através de um termostato regulável é possível regular a temperatura do forno. Esse forno possui ainda um furo na parte superior para instalação de um termômetro.

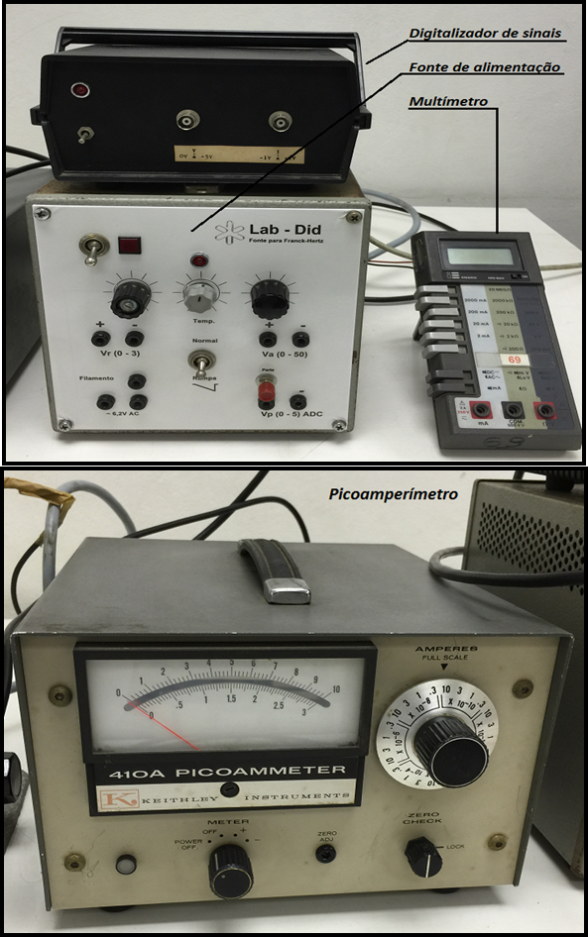
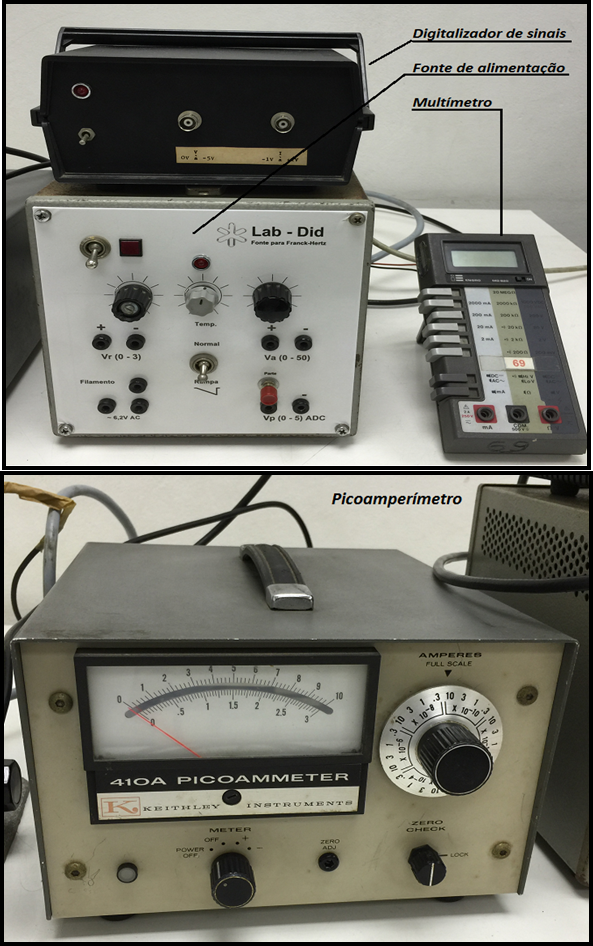


- Fonte de alimentação: produção do potencial de aceleração

- Digitalizador de sinais

- Multímetro

- Picoamperímetro



**Procedimento experimental**

1. Colocar os dois potenciômetros (botões pretos na Fonte para Franck-Hertz) no mínimo.
2. Ligar a Fonte para Franck-Hertz para aquecer o forno – Regular o botão (Temp) – aproximadamente 180°C

**Cuidado para não se queimar!**

1. Fazer as ligações dos cabos:

* Filamento – uma ponta estará conectada a ~ 6,2 V – deixar a outra ponta solta.
* Conectar a grade no VA+
* Conectar o catodo no VA-
* ADC – já estará ligado (diminuição proporcional de tensão para o digitalizador receber o sinal: de 0 a 50V para 0 a 5V)
* Conectar a grade no VR+
* Conectar o Anodo no VR-
* Ligar a outra ponta do filamento.

1. Ligue o multímetro e deixe-o no modo de medição de tensão.
2. Ligue o digitalizador de sinais.
3. Ligue o picoamperímetro e se certifique que a chave está na posição (-).
4. Colocar a tensão de retardo VR igual a 1,5 V – use o multímetro para checar.
5. Medir a tensão de aceleração VA com a chave no modo normal.
6. Ligue o computador e entre no usuário Grupo X.
7. Entre no programa FH32 (existe um atalho no desktop do computador).
8. No programa FH32 faça a calibração dos canais de tensão e corrente. Ao acionar o comando “calibração V” aparecerá uma tela pequena de calibração de voltagem. Ajustar manualmente uma voltagem VA ~ 40V. Aperte a tecla “LIGA CAD” e introduza manualmente o valor da tensão VA registrada pelo voltímetro. Na janela picoamperímetro entre com o valor de fundo de escala de corrente utilizada e acione a tecla calibra e depois a tecla Ok.
9. Coloque a chave central seletora no modo rampa.
10. Coloque o potenciômetro que regula a tensão aceleradora no valor máximo.
11. Acione a tecla “PARTE” no programa FH32.
12. Acione o botão vermelho “PARTE” na fonte de alimentação.
13. Uma vez registrado os picos acione a tecla “TERMINA” no programa FH32.
14. Não esqueça de registrar a temperatura do forno durante o processo de medição.
15. Salve o arquivo com a extensão .csv.
16. Ao terminar todas as medidas desligue todos os equipamentos.

Medição do potencial de excitação:

O livre caminho médio necessário para realizar esta experiência é obtido com a temperatura em torno de 185 °C.

A experiência de Franck-Hertz pretende mostrar que os níveis de energia de Hg são quantizados, o que implica que o espaçamento dos picos (ou vales) não depende das outras variáveis. Para verificar isso meça **I *vs*. VA** para quatro valores diferentes da tensão de retardo VR (1, 1,5, 2 e 2,5 V) e cinco diferentes valores de temperaturas do forno (~ 195 °C, 190 °C 185 °C, 180 °C e 175 °C).

Calcule a separação dos picos para cada caso e apresente seus resultados em uma tabela expressando a incerteza no espaçamento entre os picos.

Com a temperatura próxima de 185 °C selecione um valor adequado de VR (~ 2,5 V) de modo a observar o número máximo de picos possíveis e selecione a melhor curva que representa seus resultados experimentais. Todo o tratamento de dados descrito a seguir será realizado somente para essa curva.

Medição do potencial de contato:

Tente estimar o potencial de contato a partir da posição do primeiro pico de corrente.

Medição do comprimento de onda da transição:

A partir da energia de transição E (3P1→1S0) obter o comprimento de onda dessa transição

Compare esse valor com a previsão teórica 253,7 nm.

**Análise dos resultados:**

Atribua um índice (n = 1, 2, etc.) a cada um dos picos. Você pode não ter sido capaz de ver os primeiros picos, mas usando a Eq.:



você pode deduzir o valor correto para n. Faça um gráfico de VA versus n para os picos. O resultado deve ser uma linha reta cuja equação tem o seguinte formato:



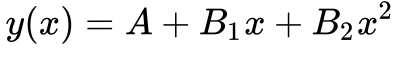
onde: Vcont é o potencial de contato, VT é a energia cinética que os elétrons têm após emissão termiônica pelo cátodo. O valor aceito de V(3P1→1S0) é 4,86V.

* Interpretar os resultados de seu ajuste em termos destes parâmetros.
* Estime os erros.
* Estimar a energia cinética VT dos elétrons após deixarem o cátodo (não esqueça de indicar a incerteza nessa grandeza).
* Compare os resultados obtidos para a energia da transição pela diferença de picos com o resultado obtido pela última expressão.
* O que você pode comentar sobre esses resultados?

*- Análise gráfica:*

* Faça um gráfico da dependência da corrente com a tensão de aceleração para os diferentes valores de VR e explique esse comportamento.
* Faça um gráfico da dependência da corrente com a tensão de aceleração para as diferentes temperaturas, explique o comportamento.
* Enumere cada um dos picos registrados na curva **I *vs*. VA** e construa um gráfico do número do pico e o potencial associado a ele. Faça um ajuste linear e determine o potencial de excitação.

Para um dos gráficos onde a ordem de cada pico é mostrada, faça um ajuste quadrático para identificar a posição dos picos com mais precisão. A equação do ajuste é do tipo:



Portanto, a posição dos picos e as respectivas incertezas serão expressas em termos dos coeficientes B1 e B2.

* Transfira os dados do ajuste para uma nova coluna no *Origin* e calcule o potencial de cada pico e a incerteza associada a ele de acordo com as fórmulas acima. Mostre seu resultado em um gráfico e faça novamente um ajuste linear dos dados.
* Para cada um dos ajustes determine o potencial de excitação e a energia termiônica dos elétrons ao serem emitidos pelo cátodo.
* Construa uma tabela mostrando os resultados para o potencial de excitação, potencial de contato e energia termiônica para os diferentes métodos enumerados abaixo:

- Diferença entre os picos (lembre-se de estimar a incerteza da ordem para cada pico). Calcule o valor médio para essa grandeza e a sua respectiva incerteza.

- Posição dos picos obtida com o cursor e o potencial de excitação obtido através do ajuste linear. Considere novamente a incerteza na determinação da posição dos picos.

- Posição dos picos obtida através do ajuste quadrático.

**Perguntas para serem respondidas no relatório:**

1. Explique o comportamento da curva **I *vs*. VA** para diferentes potenciais de retardo.
2. Explique o comportamento da curva **I *vs*. VA** para diferentes temperaturas.
3. Comente cada um dos métodos utilizados para encontrar o potencial de excitação e em sua opinião qual deles é o melhor?
4. Em alguns equipamentos utilizados nesta experiência a curva **I *vs*. VA** é bem acentuada, mostrando picos e vales bastante grandes. Já em outros a curva não é tão acentuada assim. Explique porque a queda da corrente é mais pronunciada em alguns tubos do que em outros.
5. Em sua opinião qual é o parâmetro mais importante nessa experiência e que precisa ser mais bem controlado para obter uma curva mais representativa do comportamento discreto dos níveis de energia dos átomos?