

# ROTEIRO p SIMULAÇÃO: EXPERIMENTO DE FRANCK-HERTZ

Prof. Nildo Loiola Dias

## 1 OBJETIVO

- Verificar que a energia de excitação dos átomos de mercúrio, argônio e neônio é quantizada.
- Medir a energia de excitação dos átomos de mercúrio, argônio e neônio.

## 2 MATERIAL

Animação sobre o Experimento de Franck-Hertz:

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom\\_franckhertz&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom_franckhertz&l=pt)

Na animação acima é possível uma compreensão qualitativa do Experimento de Franck-Hertz.

Acesse a simulação para a realização do Experimento de Franck-Hertz virtual através do link:

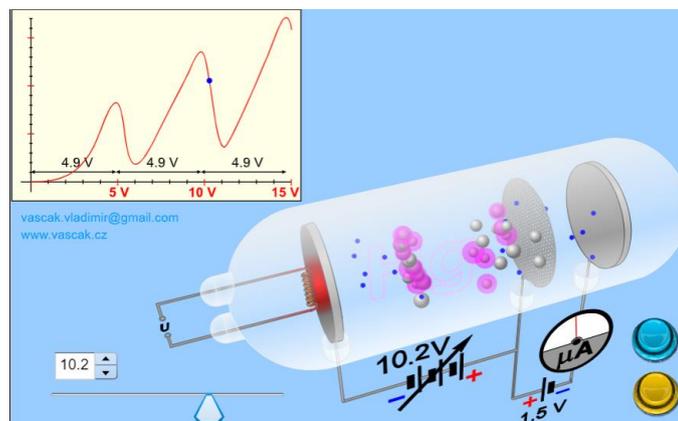
[www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/experimento-de-frank-hertz](http://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/experimento-de-frank-hertz)

## 3 FUNDAMENTOS

Nessa prática virtual reproduz-se a experiência feita por James Franck e Gustav Hertz, em 1914. Essa experiência demonstrou, de forma direta, que a energia dos átomos tinha níveis discretos (quantizados). Os valores dessa energia, obtidos na experiência de Franck-Hertz, coincidiam com os valores obtidos indiretamente pela observação das linhas espectrais. Até então, o caráter quantizado de transferências de energia se restringia essencialmente à emissão ou a absorção de radiação. No experimento de Frank e Hertz, a quantização de transferência de energia foi observada pela diferença de energia cinética dos elétrons através de colisões.

Nesta experiência utiliza-se um tubo evacuado no qual é colocado um pouco de mercúrio, Figura 1. O tubo é aquecido para manter uma densidade de vapor de mercúrio suficiente para a realização da experiência, uma vez que o mercúrio é líquido na temperatura ambiente.

Figura 1. Representação do experimento de Franck-Hertz para um potencial de aceleração dos elétrons de 10,2 V.



Fonte: Figura gerada da animação sobre o Experimento de Franck-Hertz:

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom\\_franckhertz&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom_franckhertz&l=pt)

Acesso em 08/09/2020.

No interior do tubo, Figura 1, elétrons são liberados do catodo aquecido por um filamento (posicionado à esquerda dentro do tubo mostrado) e acelerados pelo potencial positivo de um anodo, ou grade aceleradora

(situado em uma posição intermediária dentro do tubo). A grade deixa passar os elétrons na direção de uma placa retardadora (posicionada à direita dentro do tubo) ligada a um potencial negativo. Os elétrons que passarem pela grade com energia suficiente para atingir a placa geram uma corrente  $I_s$  que é medida em função do potencial entre o anodo e a grade.

No caminho entre o catodo e a grade os elétrons podem se chocar com átomos do vapor de mercúrio. Como esses átomos são muito mais pesados, os elétrons praticamente não perdem energia no choque (choque elástico). Desse modo, à medida que a voltagem,  $U_A$ , de aceleração aumenta, também aumenta a corrente  $I_s$ . No entanto, quando a voltagem atinge um determinado valor, os elétrons terão uma energia suficiente para excitar os átomos de mercúrio, isto é, fazê-los passar de um nível de energia para outro mais alto. Quando isso acontece, o elétron transfere toda sua energia para o átomo de mercúrio e, como consequência, não mais conseguirá atingir a placa retardadora. Nesse momento, a corrente  $I_s$  sofre uma queda.

Pode-se ver na animação que quando o potencial de aceleração dos elétrons chega a 4,9 V a corrente elétrica começa a cair. Na animação é possível ver que próximo da grade, onde os elétrons possuem uma energia cinética de 4,9 eV há uma excitação dos átomos de mercúrio seguida de desexcitação com emissão de radiação (representada na simulação por bolinhas rosa). No experimento real com mercúrio não é possível ver essa radiação por não estar no visível. Com o aumento do potencial de aceleração dos elétrons a nuvem de excitação e desexcitação dos átomos de mercúrio se afasta da grade, uma vez que os elétrons atingem a energia de 4,9 eV cada vez mais distante da grade.

Se a diferença de potencial entre o catodo e o anodo continuar aumentando, a corrente na placa recomeça a aumentar até que a energia do elétron seja duas vezes a energia de excitação do mercúrio, causando assim a excitação em sequência de dois átomos de mercúrio. E assim, toda vez que a energia do elétron for um múltiplo inteiro da energia de excitação do mercúrio, haverá uma nova queda na corrente. Portanto, a diferença entre dois mínimos (ou máximos) consecutivos no gráfico da corrente, mede a energia correspondente a uma absorção pelos átomos de mercúrio. Medindo-se a diferença entre a voltagem de dois mínimos vizinhos (ou dois máximos vizinhos), obtém-se a energia de excitação dos átomos de mercúrio, em elétrons-volts.

Na Figura 1, onde o potencial de aceleração dos elétrons é 10,2 V, podemos ver que aproximadamente no meio do caminho entre o anodo e a grade, os elétrons atingem uma energia de 4,9 eV e provocam excitação dos átomos de mercúrio, perdendo toda a sua energia, são então acelerados novamente na direção da grade e próximo a esta já possuem energia de 4,9 eV podendo excitar os átomos de mercúrio ali situados. E assim, toda vez que a energia do elétron for um múltiplo inteiro da energia de excitação do mercúrio, haverá uma nova queda na corrente.

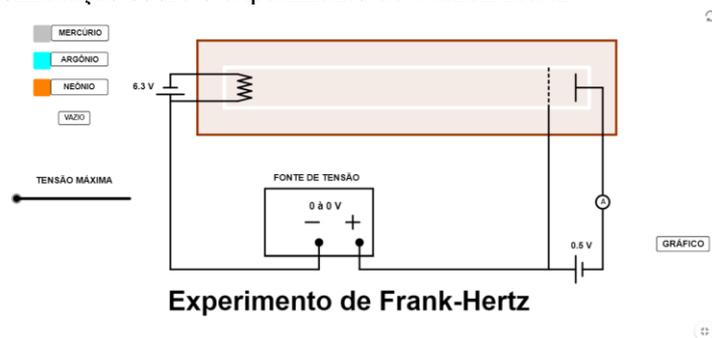
No experimento real disponível no Laboratório de Física Moderna da UFC dispomos de equipamento apenas para realizar o experimento com mercúrio. Neste experimento virtual será possível, além do mercúrio a determinação da energia (quantizada) de excitação do neônio e do argônio.

## 4 PROCEDIMENTOS

Para a realização deste experimento virtual acesse à simulação Experimento de Franck-Hertz pelo link: [www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/experimento-de-frank-hertz](http://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/experimento-de-frank-hertz)

A simulação apresenta tela inicial como mostra a Figura 2.

Figura 2. Tela inicial da simulação sobre o experimento de Franck-Hertz.



Fonte: Figura gerada da simulação sobre o Experimento de Franck-Hertz: [www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/experimento-de-frank-hertz](http://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/experimento-de-frank-hertz) . Acesso em 08/09/2020.

A simulação apresenta um tubo evacuado que pode conter mercúrio, argônio ou neônio (de livre escolha do usuário). Ao escolher mercúrio aparece a indicação FORNO 200 °C, isso acontece devido ao mercúrio ser um líquido à temperatura ambiente. Em um experimento real, o tubo evacuado contendo mercúrio é colocado no interior de um forno onde é aquecido; já nos experimentos com tubos contendo argônio ou neônio isso não se faz necessário, já que esses elementos são gasosos na temperatura ambiente. Uma fonte de tensão fornece uma tensão do tipo rampa, isto é, a tensão da fonte cresce linearmente com o tempo de um valor zero até um valor máximo escolhido pelo usuário regulando o cursor disponível. Clicando em GRÁFICO é possível observar a curva de corrente elétrica em função da tensão de aceleração para o elemento escolhido, à medida que a tensão aplicada pela fonte cresce.

**PROCEDIMENTO 1: Experimento de Franck-Hertz com mercúrio.**

- 1.1 Escolha fazer o Experimento de Franck-Hertz com mercúrio.
- 1.2 Regule no cursor a tensão máxima da fonte para um valor qualquer.
- 1.3 Pressione em GRÁFICO para obter a curva de corrente versus tensão de aceleração dos elétrons.
- 1.4 Escolha uma sequência de 6 mínimos de corrente elétrica e anote na Tabela 1 o potencial  $V_{\text{MÍNIMO}}$  para o qual ocorre cada um dos mínimos. O primeiro mínimo pode ser qualquer um, contanto que haja mais 5 mínimos subsequentes. Se o gráfico não apresentar uma quantidade de mínimos suficientes, repita os procedimentos anteriores regulando a tensão máxima da fonte para um valor maior do que o escolhido anteriormente.

Tabela 1. Valores de tensão para os mínimos de corrente para o **mercúrio**.

N. de mínimos	1	2	3	4	5	6	V. Médio
$V_{\text{MÍNIMO}}$ (V)							xxxxx
$\Delta V$ (V)						xxx	

- 1.5 Calcule a diferença de potencial entre o potencial de um mínimo de corrente elétrica e o potencial do mínimo subsequente (módulo) e anote na Tabela 1. Calcule também a média das diferenças de potencial.
- 1.6 Escolha uma sequência de 6 máximos e anote na Tabela 2 o potencial  $V_{\text{MÁXIMO}}$  para o qual ocorre cada um dos máximos. O primeiro máximo pode ser qualquer um, contanto que haja mais 5 máximos subsequentes.

Tabela 2. Valores de tensão para os máximos de corrente para o **mercúrio**.

N. de máximos	1	2	3	4	5	6	V. Médio
$V_{\text{MÁXIMO}}$ (V)							xxxxx
$\Delta V$ (V)						xxx	

**PROCEDIMENTO 2: Experimento de Franck-Hertz com neônio.**

- 2.1 Repita os procedimentos anteriores para o neônio.
- 2.2 Preencha a Tabela 3 para uma sequência de 5 mínimos.

Tabela 3. Valores de tensão para os mínimos de corrente para o **neônio**.

N. de mínimos	1	2	3	4	5	V. Médio
$V_{\text{MÍNIMO}}$ (V)						xxxxx
$\Delta V$ (V)					xxx	

**PROCEDIMENTO 3: Experimento de Franck-Hertz com argônio.**

- 3.1 Repita os procedimentos anteriores para o **argônio**.
- 3.2 Preencha a Tabela 4 para uma sequência de 6 mínimos.

Tabela 4. Valores de tensão para os mínimos de corrente para o **argônio**.

N. de mínimos	1	2	3	4	5	6	V. Médio
$V_{\text{MÍNIMO}}$ (V)							xxxxx
$\Delta V$ (V)						xxx	

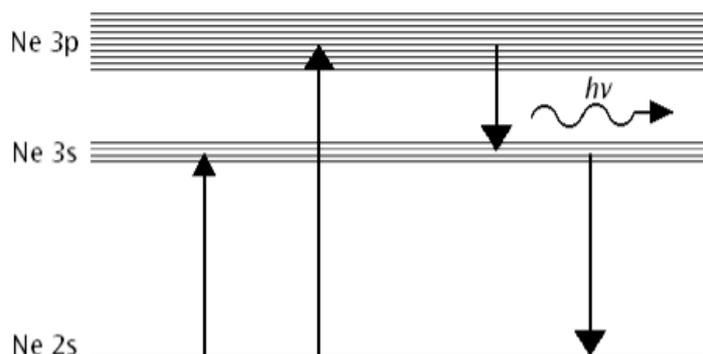
## 5 QUESTIONÁRIO

1- Veja na literatura qual é a energia de ionização do átomo de Hg. O experimento de Franck-Hertz forneceu um valor diferente. Explique a diferença.

2- Considere que 4,88 eV é a energia necessária para o átomo de mercúrio passar do estado fundamental para o primeiro estado excitado. Então, ao passar do estado excitado para o estado fundamental, o mercúrio deveria produzir uma linha no espectro com que comprimento de onda? Esta linha está em que faixa do espectro eletromagnético (infravermelho, visível, ultravioleta, etc...)?

3- No experimento de Franck-Hertz com neônio os elétrons 2s são facilmente excitados para o nível 3p e decaem para o nível 3s emitindo uma luz vermelho-laranja, como mostra a Figura 8.3.

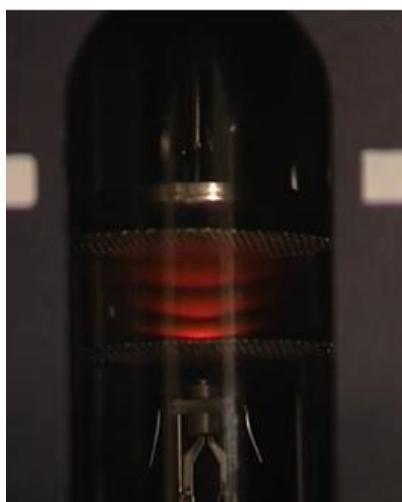
Figura 8.3. Níveis de energia dos átomos de neônio.



Fonte da figura: [https://www.3bscientific.com.br/product-manual/1000912\\_PT.pdf](https://www.3bscientific.com.br/product-manual/1000912_PT.pdf). Acesso em 08/09/2020.

Na Figura 4 vemos um instantâneo de um filme em que mostra um tubo contendo neônio mostrando três regiões de emissão de luz vermelho-laranja. Determine, de acordo com os dados obtidos neste experimento virtual, os potenciais mínimo e máximo para que sejam observados somente três regiões de emissão de luz vermelho-laranja no experimento de Franck-Hertz com neônio.

Figura 4. Figura obtida do filme sobre o experimento de Franck-Hertz com neônio.



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=Q5r0Fc1jfGU> acesso em 08/09/2020.

4- Em uma experiência do tipo de Franck-Hertz, bombardeia-se hidrogênio atômico com elétrons e obtêm-se os potenciais de excitação em 10,21 V e 12,10 V. (a) Explique a observação de que três linhas diferentes de emissão espectral que acompanham essas excitações. (b) Determine as frequências e o comprimento de onda das linhas espectrais observadas. (Sugestão: Trace um diagrama de níveis de energia.)