

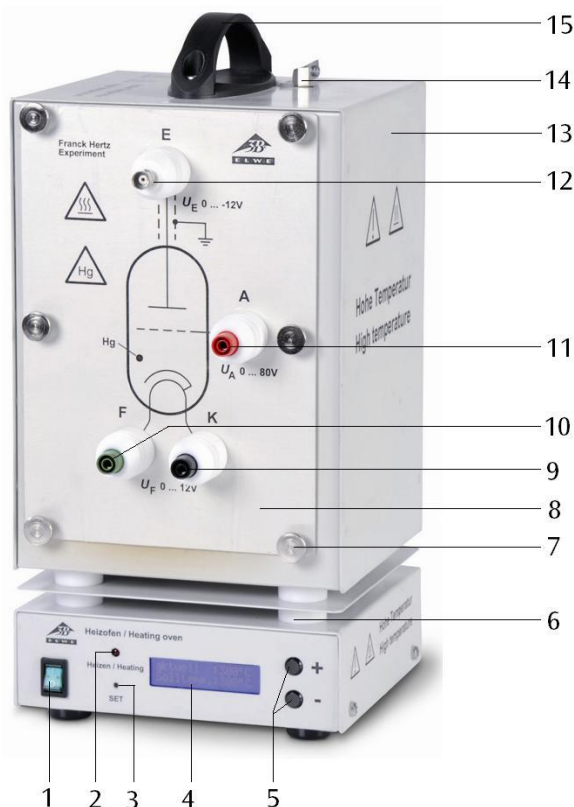
Tubo de Franck-Hertz preenchimento de Hg e aquecedor

1023095 (230 V, 50/60 Hz)

1023094 (115 V, 50/60 Hz)

Instruções de operação

10/21 ALF/ SD/ GH



- 1) Botão liga/desliga
- 2) Indicador de operação
- 3) Tecla de comutação "SET"
- 4) Display
- 5) Teclas de comutação "+/-"
- 6) Isolamento térmico
- 7) Parafusos de dedo
- 8) Placa frontal com tubo de Franck-Hertz (não visível)
- 9) Conector para cátodo
- 10) Conector para o aquecedor do tubo
- 11) Conector para ânodo
- 12) Sinal de saída do conector BNC
- 13) Forno aquecedor
- 14) Suporte de pinça de mola para o termômetro
- 15) Punho para transporte

1. Indicações de segurança

O aparelho cumpre as normas de segurança para aparelhos elétricos de medição, controle, regulação e de laboratório da DIN EN 61010 parte 1 e é construído conforme a classe de segurança I. Ele está previsto para a operação em espaços secos, que estejam preparados para aparelhagem ou instalação elétrica.

Se a operação do aparelho ocorre conforme às instruções de uso, a segurança está então garantida. A segurança, porém, não estará garantida se o aparelho for utilizado de forma errônea ou se for manipulado sem a devida atenção. Se houver razões para considerar que a operação segura não é mais possível, deve-se desligar imediatamente o aparelho (por exemplo, no caso de danos visíveis) e protegê-lo contra uma utilização indevida.

Em escolas e institutos de formação a operação do aparelho deve ser monitorada por pessoal qualificado.

- 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.
- Só conectar o aparelho em tomada com condutor de proteção aterrado.
- Só permitir a abertura do aparelho por um especialista em eletricidade.

Cuidado! Risco de queimaduras! As paredes do forno aquecedor e as janelas de observação atingem uma temperatura até 300° C durante a operação.

- 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.

2. Descrição

O tubo de Franck-Hertz com preenchimento de mercúrio serve para a comprovação da cessão quantizada de energia de elétrons livres ao chocar-se com átomos de mercúrio, assim como para a determinação da energia de excitação da linha de ressonância do mercúrio ($6^1S_0 - 6^3P_1$) a 4,9 eV.

Tubo de Franck-Hertz sobre placa frontal

O tubo de Franck-Hertz é um tubo de elétrons altamente evacuado com preenchimento de mercúrio e um sistema de eletrodos plano-paralelo do cátodo óxido aquecido indiretamente e com diafragma de orifício, com um ânodo em forma de grade e um eletrodo captador. Para se obter uma alta probabilidade de choque, a distância entre o cátodo e o ânodo foi mantida grande (8 mm) em relação ao percurso livre médio na atmosfera de Hg (a aproximadamente 180° C). A distância entre ânodo e o eletrodo de captação, contrariamente, é mantida pequena. À altura do ânodo em forma de rede encontra-se um conector para terra, a qual evita propagações interferentes. O tubo está montado na placa frontal de modo a ser substituível. Sobre a placa frontal encontram-se conectores de isolamento de cerâmica e o símbolo do tubo. O tubo de Franck-Hertz está montado de modo que ele e os cabos de conexão associados tenham uma temperatura constante. Isto é necessário porque a densidade de vaporização do mercúrio se ajusta conforme o ponto mais frio do tubo. As correntes de escapamento sobre a parede de vidro quente e condutora de íons são evitadas através de um anel protetor feito de corundo sinterizado. Entre o conector para a tensão de aceleração e o ânodo do tubo encontra-se uma resistência de limitação (10 kOhm) firmemente montada. Graças a esta, o tubo fica protegido, caso ocorra uma inflamação generalizada (flash over) por causa de tensão excessiva. A queda de tensão nessa resistência pode ser desprezada na medição.

Cuidado! Há risco de quebra do vidro, portanto há perigo de ferimento.

- Fixar a placa frontal no forno aquecedor com todos os seis parafusos.
- Não exercer qualquer esforço físico sobre o tubo. Não dobrar os cabos de conexão.

O tubo de Franck-Hertz contém mercúrio.

- Em caso de quebra do vidro e escapamento de mercúrio, respeitar as regras de segurança previstas para o manuseio do mercúrio.

Forno de aquecimento

O forno de aquecimento serve para o ajuste da pressão do vapor no tubo de Franck-Hertz com preenchimento de Hg e para a execução da experiência com o tubo de fluorescência de sódio (1000913).

Ele consiste numa armação de aço laminado laqueada por pulverização com duas janelas de observação. A placa frontal é fixada na armação por meio de seis parafusos de dedo. O aquecimento do forno ocorre por meio de um radiador tubular no fundo do forno. A medição e regulagem da temperatura acontecem por meio de um micro controlador integrado e um sensor medidor PT100. A indicação digital da medição permite a leitura da temperatura nominal e da atual. Através da tecla de comutação "SET" a indicação de temperatura pode ser selecionada por entre ° Celsius e ° Fahrenheit. As teclas de comutação "+/-" servem para a regulagem da temperatura nominal em passos de 1 K. Sobre o lado superior encontram-se uma abertura com pinças de mola para a recepção de um termômetro e o punho de transporte termicamente isolado.

O aparelho 1023094 está equipado para trabalhar com uma tensão de rede de 115 V (± 10 %) 1023095 para 230 V (± 10 %).

2.1 Fornecimento

- 1 Tubo de Franck-Hertz com preenchimento de mercúrio sobre placa frontal
- 1 Forno aquecedor sem placa frontal
- 1 Manual de instruções

3. Dados técnicos

Tubo de Franck-Hertz

Aquecimento:	4 a 9 V AC/DC
Tensão da grade:	0 a 80 V
Contra-tensão:	aprox. 1,5 V
Temperatura operacional:	aprox. 160°C - 200° C
Dimensões do tubo:	aprox. 160 x 30 mm Ø
Massa:	aprox. 380 g

Forno de aquecimento

Tensão de conexão à rede elétrica:	ver parte traseira do aparelho
Abertura da parte frontal:	aprox. 230 x 160 mm ²
Potência de aquecimento:	800 W @230 V 400 W @115 V
Temperatura máxima:	300°C @230 V 250°C @115 V
Constância da temp.:	aprox. ±1°C
Dimensões:	aprox. 335x180x165 mm ³
Massa:	aprox. 5,6 kg

4. Utilização

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

1 Aparelho para a experiência de F/H	
@230 V	1012819
ou	
@115 V	1012818
1 Osciloscópio digital, 2x 30 MHz	1020910
1 Cabo HF, 1 m	1002746
2 Cabos HF, BNC/conector de 4 mm	1002748
Cabos de segurança para experiências	1002843

- **Nota: Antes de ligar, retire a parte da embalagem de PE, que está localizada atrás do tubo, do interior do aquecedor.**
- Colocar a placa frontal no lado aberto do forno de aquecimento e fixá-la com os 6 parafusos serrilhados.
- Deixar primeiro o forno e o aparelho de operação desligados e girar todos os botões de ajuste para a esquerda até o fim.
- **Não aplicar tensão da grade no tubo frio (perigo de curto-circuito por causa do mercúrio).**
- Ligar as entradas e saídas "A", "F" e "K" entre elas (vide fig. 2).
- Conectar a saída "E" do tubo de Franck-Hertz por meio do cabo BNC com entrada correspondente.
- Conectar a saída „U_Y“ no aparelho de operação e a entrada Y e a saída „U_X“ na entrada X do osciloscópio.
- Ligar o aparelho de operação, o aparelho encontra-se no modo de rampa.

- Ajustar a tensão de aquecimento em 6 V – 7 V. O cátodo indiretamente aquecido requer um tempo de aquecimento de aproximadamente 1:30 min.
- Ligar o forno aquecedor, ajustar uma temperatura de aproximadamente 180° C e esperar que o tubo esteja aquecido (cerca de 5 a 10 minutos).
- Ajustar a tensão de aceleração mínima em zero, elevar lentamente a tensão de aceleração máxima para 80 V.
- Porém, só elevar a tensão de aceleração de modo que não ocorra qualquer descarga espontânea, já que a ionização repentina destruiria a curva.
- Por enquanto operar o osciloscópio com as regulagens $x = 1 \text{ V/Div}$ e $y = 1 \text{ V/Div}$.
- Observar o surgimento da máxima 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 máximas e mínimas bem definidas.

O método descrito é um procedimento geral de ajustes. A inevitável variação dos exemplares na fabricação dos tubos de Frank-Hertz percebem-se através de diferenças nos parâmetros otimizados. Um ponto de referência para bons valores é oferecido pelo protocolo de medição incluído no fornecimento.

A corrente do captador apresenta máximas e mínimas eqüidistantes de recorrência periódica em função da tensão de aceleração. O intervalo entre as máximas é de 4,9 V. No tubo, há entre o cátodo e o ânodo um contra-potencial de 2 V. Esta é a razão pela qual a primeira máxima se encontra em aproximadamente 7 V. As primeiras máximas destacam-se melhor, quando a temperatura do forno for menor.

Análise da curva de Franck-Hertz:

Para uma análise precisa da curva de Franck-Hertz são necessários um voltímetro digital. Para isto não é indispensável determinar o valor absoluto da corrente de elétrons. Na tela do osciloscópio deveria ter sido ajustada uma curva de Franck-Hertz com máximas bem definidas.

- Conectar o voltímetro digital (U_x) e a tomada de massa (vide fig. 3).
- Apertar o botão “Man/Ramp“, no display aparece o modo “Man“.
- Girar o botão de ajuste da tensão de aceleração até bloquear à esquerda ($U_A = 0 \text{ V}$).

No display resulta a indicação da tensão de aceleração em passos de 0,5 V, para obter resultados de medição mais precisos podem ser ligados às tomadas "A" e "K" adicionalmente um voltímetro digital, para poder medir a tensão de aceleração de forma mais precisa.

Observação: a tensão de aceleração na saída de sinal (U_x) está reduzida a num fator 10. No voltímetro digital, porém é medida a tensão de aceleração total nos conectores "A" e "K".

Através de um lento e contínuo aumento da tensão de aceleração pode-se agora determinar a máxima e a mínima com o voltímetro digital.

Otimização da curva

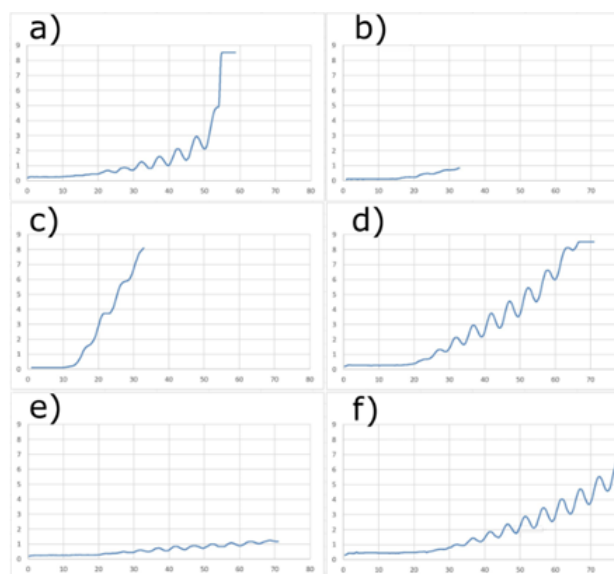


Fig. 5: Representação de diferentes sinais do tubo Franck-Hertz.

Os parâmetros do tubo podem mudar durante o uso do tubo. Isto geralmente acontece devido ao envelhecimento do tubo ou devido à especificação experimental. A Figura 5.f) representa o caso ideal da curva. Entretanto, outros casos também podem ocorrer.

Ignição do tubo:

A Figura 5.a) mostra o caso de ignição do tubo. A corrente do ânodo aumenta rapidamente até um valor máximo. Neste caso, a tensão de aceleração deve ser baixada imediatamente. Se for necessário mapear outros máximos, a temperatura do forno deve ser aumentada com antecedência.

Otimização da contra-tensão:

As figuras 5.b) e 5.c) mostram uma curva muito íngreme ou muito plana com poucos máximos. A contra-tensão determina a inclinação da curva.

Quanto maior a contra-tensão, mais plana é a subida. Em combinação com a tensão de aceleração, a qualidade dos máximos pode ser facilmente melhorada.

Otimização da tensão do aquecedor:

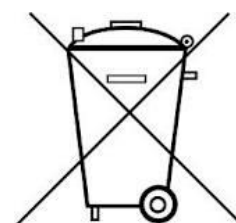
A tensão de aquecimento determina o número de elétrons emitidos e, portanto, a corrente do ânodo. Quanto maior a tensão de aquecimento, mais elétrons são emitidos. A Figura 5.d) mostra o caso em que a corrente do ânodo é muito alta. O sinal se aplanar até uma linha horizontal acima de um valor limite. O número máximo de elétrons disponíveis é atingido (sob a tensão de aquecimento determinada) e a corrente do ânodo permanece constante, apesar da crescente aceleração da tensão. A Figura 5.e) mostra o caso de uma tensão de aquecimento muito baixa. O sinal tem uma baixa elevação e os máximos são fracos, embora haja um número suficientemente alto de máximos. Nestes casos, baixar ou aumentar a tensão de aquecimento é muitas vezes suficiente para obter uma curva avaliável. Nota: Uma tensão de aquecimento excessivamente alta tem um efeito negativo sobre a vida útil do tubo. Não é recomendado operar o tubo com tensões de aquecimento muito altas.

5. Cuidados e manutenção

- Antes da limpeza separar o aparelho da fonte de alimentação.
- Para a limpeza utilizar um pano suave e úmido.

6. Eliminação

- A embalagem deve ser eliminada nas dependências locais de reciclagem.
- Em caso que o próprio aparelho deva ser descartado, então este não pertence ao lixo doméstico normal. É necessário cumprir com a regulamentação local para a eliminação de descarte eletrônico.
- Para a eliminação do tubo de Frank-Hertz devem ser cumpridas as normas locais para a eliminação de resíduos de mercúrio.



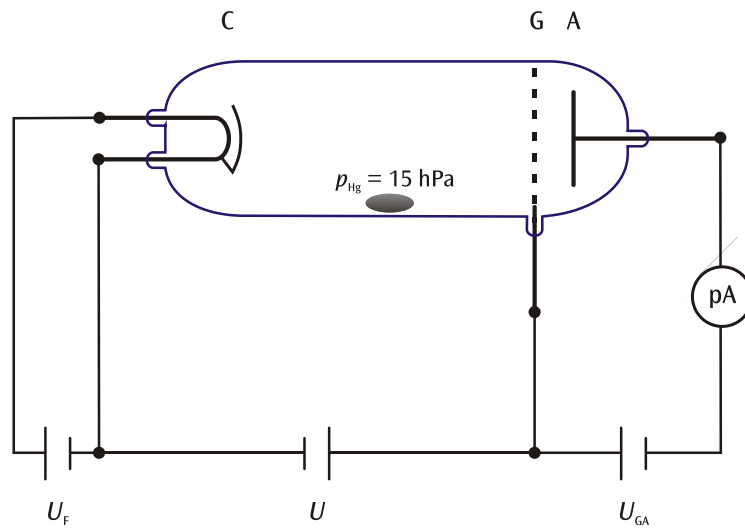


Fig. 1 Estrutura esquemática para o registro da curva de Franck-Hertz no mercúrio (C cátodo, G grade, A eletrodo captador)

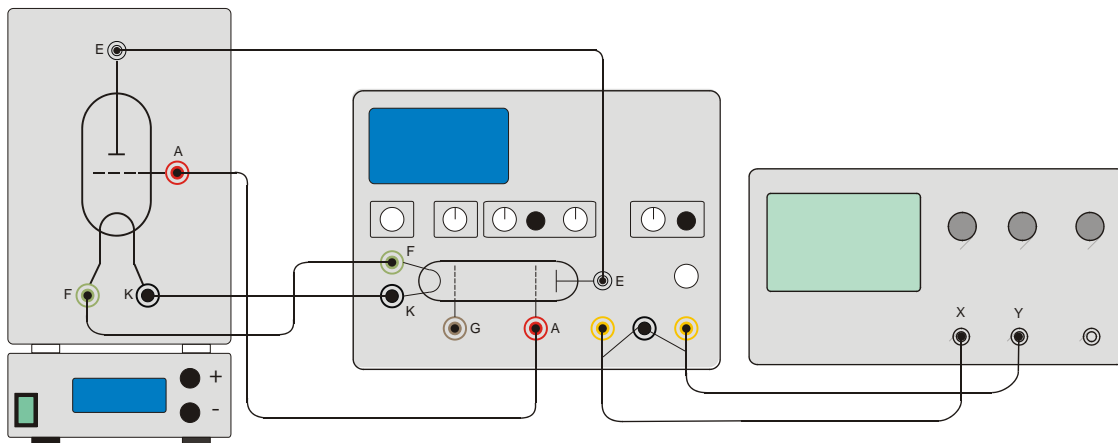


Fig. 2 Montagem da experiência com o tubo de Franck-Hertz com preenchimento de Hg

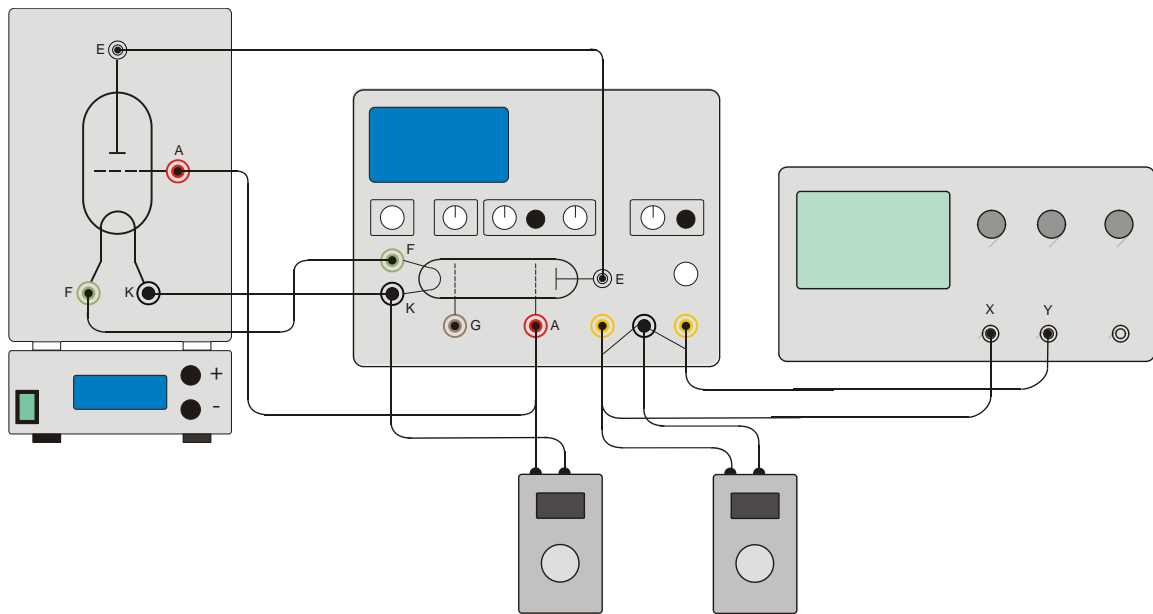


Fig. 3 Montagem da experiência com o tubo de Franck-Hertz com 2 voltímetros digitais

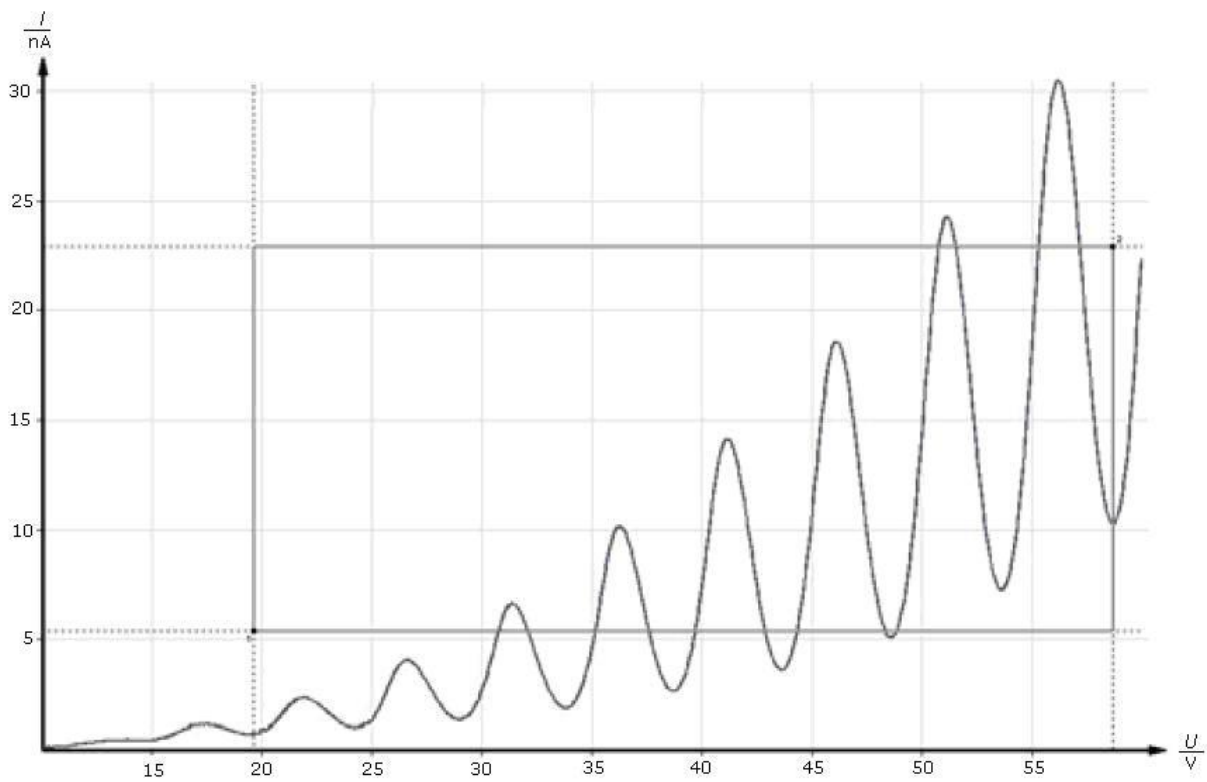


Fig. 4 Curva de Franck-Hertz