

## Sistema completo de tubo de haz fino 1013843

### Instrucciones de uso

08/22 HJB



#### 1. Advertencias de seguridad

La unidad de control para el tubo de haz fino es conforme con las determinaciones de seguridad para aparatos eléctricos de medida, control, regulación y de laboratorios indicadas en la normativa DIN EN 61010, Parte 1 y está diseñado según la clase de protección 1. El aparato está previsto para su trabajo en recintos secos, los cuales sea apropiados para componentes o instalaciones eléctricas.

Se garantiza el trabajo seguro del aparato si se le aplica según su uso específico. La seguridad no se puede garantizar en caso de que se maneje fuera de sus especificaciones o sin el correspondiente cuidado.

Si es de suponer que no se puede garantizar un trabajo sin peligro se debe poner inmediatamente fuera de servicio (p.ej. en caso de daños plenamente visibles) y se debe asegurar contra funcionamiento no voluntario.

En colegios y centros educativos, el funcionamiento del aparato debe estar siempre supervisado por personal calificado y responsable.

Durante el funcionamiento del aparato se pueden tener en el zócalo del tubo tensiones peligrosas al contacto directo.

- El aparato debe trabajar siempre con el tubo insertado.
- El tubo se monta y se desmonta sólo con el aparato de suministro energético desconectado.
- El aparato se conecta sólo en enchufes con un conductor de protección conectado a la tierra.
- Los fusibles defectuosos sólo se deben sustituir con uno correspondiente al valor original (ver lado posterior de la caja).
- Es necesario desenchufar el aparato antes de cambiar el fusible.
- Nunca se debe cortocircuitar el fusible o el portafusibles.
- Dejar siempre libres las ranuras de ventilación de la caja, con el fin de garantizar una suficiente circulación de aire, necesaria para el enfriamiento de los componentes internos.

Los tubos catódicos incandescentes son ampollas de vidrio, al vacío y de paredes finas. Manipular con cuidado: ¡riesgo de implosión!

- No someter los tubos a ningún tipo de esfuerzos físicos.
- Antes de ajustar la tensión del ánodo se espera aprox. 1 minuto hasta que la temperatura del filamento incandescente se haya estabilizado.

Durante el funcionamiento, el cuello del tubo se calienta.

- Se debe dejar enfriar el tubo antes de guardarlo.

#### 2. Descripción

##### Unidad de control para el tubo de haz fino

El aparato de control para el tubo de haz fino sirve, junto con el tubo de haz fino T(1024632), para la determinación de la carga específica del electrón así como para el estudio de la desviación de haces de electrones en un campo magnético homogéneo.

Las bobinas de Helmholtz se encuentran montadas fijamente sobre el aparato y el tubo de haz fino se encuentra en un zócalo que se puede girar hasta en 270°. Ambos se encuentran conectados internamente con la unidad de control sin que sea necesario un cableado externo. Todas las tensiones de alimentación así como la corriente a través de las bobinas de Helmholtz se pueden ajustar. La tensión del ánodo y la corriente de las bobinas se indican digitalmente y pueden ser tomados como valores equivalentes de tensión.

### Tubo de de haz fino T

En el tubo de rayos filiformes un sistema de rayos de electrones compuesto de un cátodo de óxido de calentamiento indirecto, un ánodo con una perforación central y un cilindro de Wehnelt de focalización produce un haz de electrones focalizado nítidamente en una atmósfera de gas residual de helio, con una presión de gas ajustada con precisión. Debido a la ionización por choques con átomos de Helio se genera una traza muy clara y nítida del recorrido de los electrones en el tubo. Orientado óptimamente el tubo y con la corriente adecuada en las bobinas de Helmholtz se desvían los electrones hacia una órbita circular. Su diámetro se puede determinar fácilmente cuando los electrones chocan exactamente una de las marcas de medida equidistantes, cuyo extremo se ilumina.

Para el funcionamiento del tubo de haz fino sirve el aparato de control de tubo de haz fino (1009948).

## 3. Volumen de suministro

### a) Unidad de control para el tubo de haz fino

- 1 Unidad de control
- 1 Juego de cables de conexión a la red EU, UK, US
- 1 Instrucciones de uso

### b) Tubo de de haz fino T

- 1 Tubo de de haz fino
- 1 Instrucciones de uso

## 4. Datos técnicos

### a) Unidad de control para el tubo de haz fino

*Par de bobinas de Helmholtz:*

Diámetro de las bobinas:	aprox. 300 mm
Número de espiras:	124
Campo magnético:	0 – 3,4 mT (0,75 mT/A)

*Unidad de control:*

Corriente de bobinas:	0 – 4,5 A
Salida de medida:	$U_{OUT} = I_H \cdot \frac{1V}{1A}$
Tensión del ánodo:	15 – 300 V, max. 10 mA
Salida de medida:	$U_{OUT} = \frac{U_A}{100}$
Tensión de calentamiento:	5 – 7 V CC, max. 1 A
Tensión de Wehnelt:	0 – -50 V
Indicación:	Display digital LED de 3 cifras para la indicación de la corriente de bobinas y de la tensión de ánodo

Exactitud	
Indicación:	1% + 2 dígitos
Salidas de medida:	1%
Puntos de conexión salidas de medida:	Casquillos de seguridad de 4 mm

*Datos generales:*

Ángulo de giro para el tubo:	-10° – 270°
Tensión de conexión a la red:	100 – 240 V, 50/60 Hz
Cable de conexión a la red:	EU, UK y US
Dimensiones:	aprox. 310x275x410 mm <sup>3</sup>
Masa:	aprox. 7,5 kg

### b) Tubo de de haz fino T

Llenado de gas:	Helio
Presión residual:	0,13 hPa
Diámetro del tubo:	165 mm
Diámetro de la órbita circular:	20 – 120 mm
Distancia entre las marcas:	20 mm

## 5. Fundamentos generales

Sobre un electrón que se mueve con una velocidad  $v$  en dirección perpendicular al campo magnético uniforme  $B$  actúa la fuerza de Lorentz en sentido perpendicular a la velocidad y al campo

$$F = e \cdot v \cdot B \quad (1)$$

$e$ : carga elemental

Como fuerza centrípeta

$$F = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (2)$$

$m$ : masa del electrón

obliga al electrón a adoptar una órbita con el radio  $r$ . Por tanto

$$e \cdot B = \frac{m \cdot v}{r} \quad (3)$$

La velocidad  $v$  depende de la tensión de aceleración  $U$  del cañón de electrones:

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U} \quad (4)$$

Por tanto, para la carga específica del electrón es válido:

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U}{(r \cdot B)^2} \quad (5)$$

Si se mide el radio  $r$  de la órbita, con diferentes tensiones de aceleración  $U$  y diferentes campos magnéticos  $B$ , los valores de medición, registrados en un diagrama  $r^2 B^2$  en función de  $2U$ , de acuerdo con la ecuación (5), se encuentran en una recta de origen con la pendiente  $e/m$ .

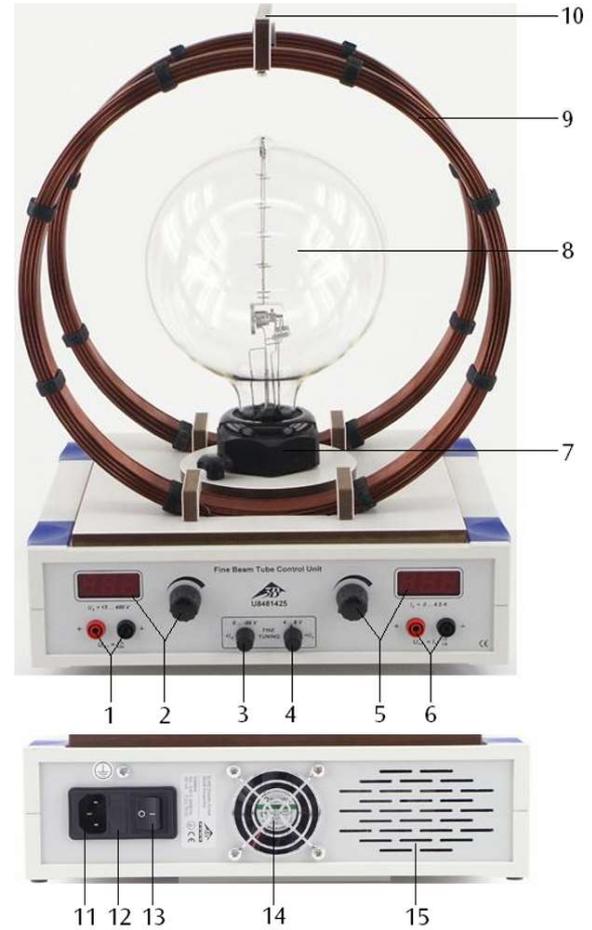
El campo magnético  $B$  se genera en el par de bobinas de Helmholtz y es proporcional a la corriente  $I_H$  que circula a través de una sola bobina. El factor de proporcionalidad  $k$  se puede calcular a partir del radio de la bobina  $R = 147,5$  mm y el número de espiras  $N = 124$  por bobina:

$$B = k \cdot I_H \quad (6)$$

$$\text{con } k = \left(\frac{4}{5}\right)^2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot \frac{N}{R} = 0,756 \frac{\text{mT}}{\text{A}}$$

De esta manera se conocen todas las magnitudes necesarias para determinar la carga específica del electrón.

## 6. Elementos de mando del aparato de control



- 1 Salida de medida para la tensión de aceleración
- 2 Regulador de ajuste e indicación de la tensión de aceleración
- 3 Regulador de ajuste para la tensión del cilindro de Wehnelt
- 4 Regulador de ajuste de la tensión de caldeo
- 5 Regulador de ajuste e indicación de la corriente por las bobinas
- 6 Salida de medida para la corriente por las bobinas
- 7 Zócalo girable
- 8 Tubo de haz fino T (1024632)
- 9 Bobinas de Helmholtz
- 10 Asa de transporte
- 11 Conexión a la red
- 12 Portafusibles
- 13 Interruptor de la red
- 14 Ventilador
- 15 Ranura de aireamiento

## 7. Servicio

### 7.1 Montaje del tubo de haz fino

- Se atornilla la tuerca de racor, girando hacia la izquierda
- Se controla si hay un contacto deformado en el tubo de haz fino.
- ¡Se inserta el tubo perpendicularmente, teniendo necesariamente en cuenta la orientación correcta de las espigas de contacto y de la espiga de codificación! (ver Fig 1).

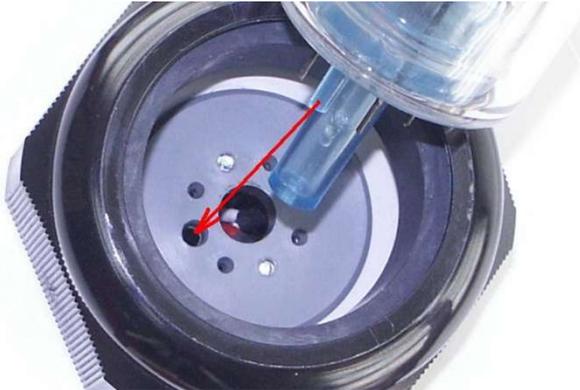


Fig. 1: Inserción del tubo

- Con una presión leve se presiona el tubo hacia abajo hasta que éste quede asentado.
- **Observación:** Se mide y se transfiere al tubo la altura desde el zócalo hasta la tuerca de racor. En esta forma se puede reconocer si el tubo descansa bien en el zócalo.
- La tuerca de racor se aprieta bien con la mano girando hacia la derecha, teniendo en cuenta la orientación perpendicular del tubo.

**Atención:** ¡Si el tornillo moleteado no se encuentra bien apretado el tubo no está asegurado y se puede salir y caer durante el transporte!



Fig. 2: Tubo insertado

### 7.2 Ajuste del haz de electrones

- El aparato control para el haz fino se lleva a un recinto bien oscurecido.
- Se orienta el tubo como se muestra arriba (Dirección del cañón de electrones perpendicular al campo magnético de las bobinas de Helmholtz). Advertencia sobre la rotación del tubo, véase el punto 7.3.
- El regulador de ajuste de la tensión de caldeo se lleva a una posición intermedia (aprox. 6 V).
- Regulador para la corriente por las bobinas se lleva al tope izquierdo, es decir 0 A.
- Se espera aprox. 1 minuto hasta que la temperatura del filamento incandescente se estabilice.
- Se aumenta lentamente la tensión de ánodo hasta max. 300 V. (el haz de electrones es inicialmente horizontal y se hace visible en forma de una luz azul tenue).
- Elija la tensión de Wehnelt de manera que, en lo posible, se vea un haz de rayos delgado y nítidamente limitado.
- Optime la nitidez y la claridad del haz de rayos variando la tensión de calefacción.
- Eleve la corriente  $I_H$  que circula por las bobinas de Helmholtz y compruebe si el haz de electrones se curva hacia arriba.
- Si el haz se desvía hacia abajo, se gira el tubo en  $180^\circ$ .
- Se sigue aumentando la corriente de bobinas y se comprueba si el haz de electrones forma una trayectoria circular cerrada. Si no es el caso, se gira un poco el tubo.
- Se realiza el experimento como se describe abajo.

### 7.3 Girar el tubo

El tubo se encuentra fijo en un zócalo que se puede girar en un rango de  $-10^\circ$  hasta  $270^\circ$ .

- Para girar el tubo se afloja el tornillo moleteado. **¡No se desenrosca!**
- Para ello **no** se gira en el tubo sino en el plato giratorio o en la tuerca de racor.
- Se vuelve a apretar el tornillo moleteado.

**Atención:** ¡Con el tornillo moleteado completamente desatornillado el tubo no está asegurado y se puede salir y caer durante el transporte!

## 7.4 Reemplazo de fusibles

- Desconecte la alimentación de corriente. Es imprescindible que también desconecte el enchufe de la red.
- Se saca el portafusibles en la parte de atrás del aparato de red utilizando un destornillador plano (ver Fig. 3).
- Se apalanca el destornillador por el lado del enchufe para aparatos en frío.
- Se reemplaza el fusible y el portafusibles se vuelve a insertar a presión.



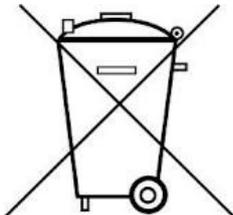
Fig. 3: Reemplazo de fusibles

## 8. Cuidado y mantenimiento

- Antes de la limpieza el aparato se separa del suministro de corriente.
- Para limpiarlo se utiliza un trapo suave húmedo.

## 9. Desecho

- El embalaje se desecha en los lugares locales para reciclaje.
- En caso de que el propio aparato se deba desechar como chatarra, no se debe deponer entre los desechos domésticos normales. Se deben cumplir las prescripciones locales para el desecho de chatarra eléctrica.



## 10. Ejemplo de experimento

### Determinación de la carga específica $e/m$ del electrón

- Se ajusta la corriente de bobinas hasta que el radio de la órbita quede en p.ej. 5 cm. Anote los valores de ajuste.
- Disminuya la tensión anódica, en pasos de 20 V, hasta llegar a 200 V; en cada caso, seleccione la corriente de la bobina  $I_H$  de manera que el radio se mantenga constante y anote estos valores.
- Realice más series de mediciones para los radios de órbita circular de 4 cm y 3 cm.
- Para la evaluación ulterior se llevan los valores de medida a un diagrama  $r^2 B^2 - 2U$ .

La pendiente de la recta que pasa por el origen de coordenadas corresponde a  $e/m$ .

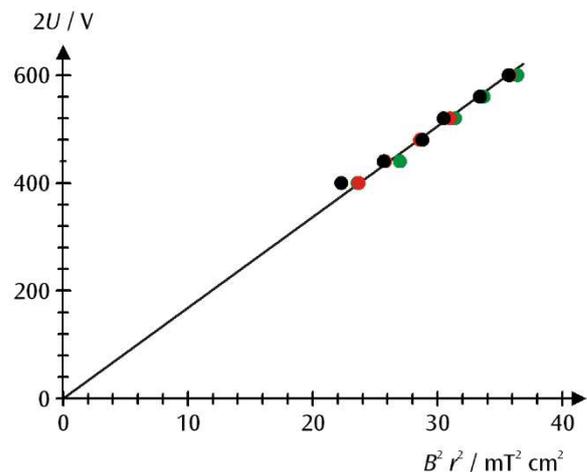


Fig. 4 Diagrama  $r^2 B^2 / 2U$  de los valores de medición (negro:  $r = 5$  cm, rojo:  $r = 4$  cm, verde:  $r = 3$  cm)