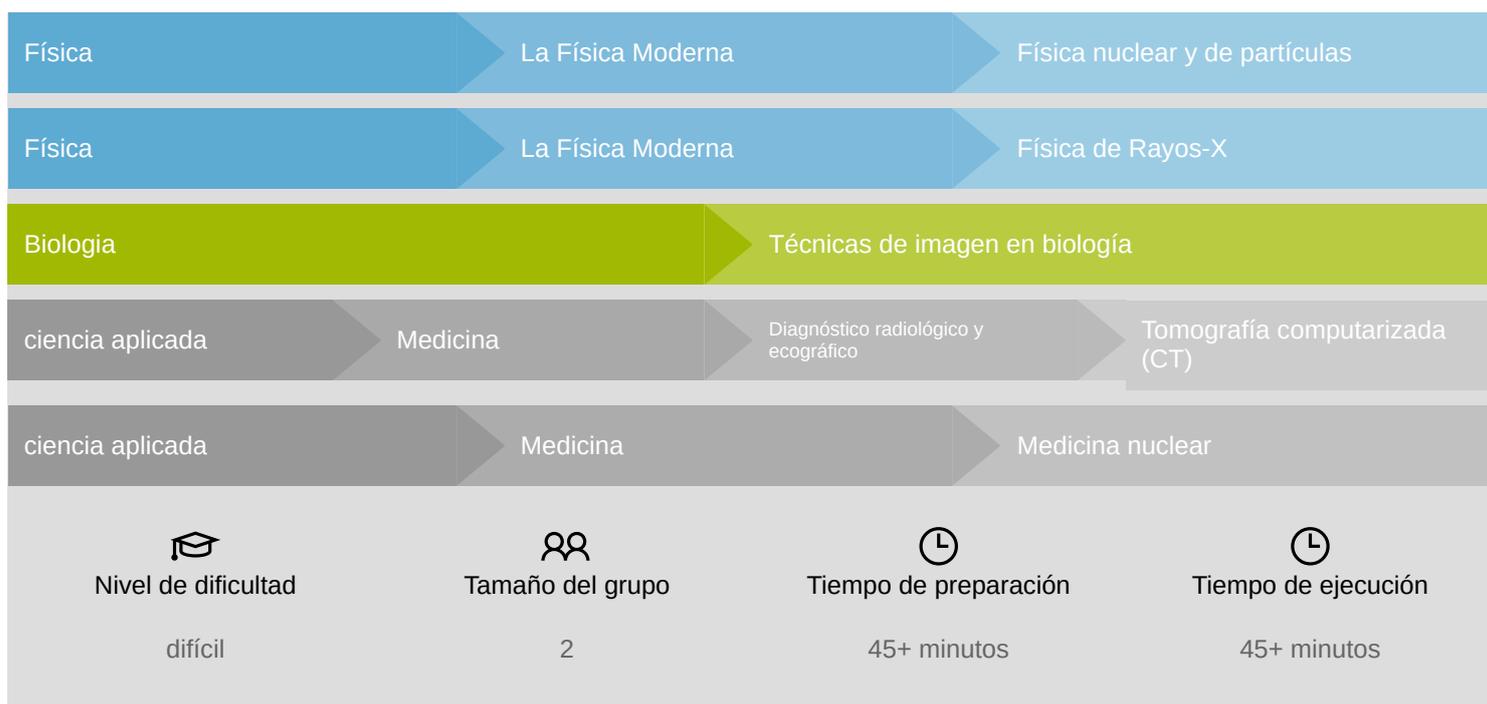


# Dosimetría de rayos X



El objetivo de este experimento es investigar el principio de la dosimetría radiativa.

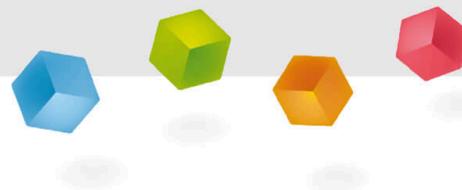


This content can also be found online at:



<http://localhost:1337/c/62a341f5e704e40003c98dc4>

PHYWE



# Información para el profesor

## Aplicación

PHYWE



Montaje del experimento

La dosimetría de la radiación en los campos de la física de la salud y la protección contra la radiación es la medición, el cálculo y la evaluación de la dosis de radiación ionizante absorbida por un objeto, generalmente el cuerpo humano. Esto se aplica tanto a nivel interno, debido a sustancias radiactivas ingeridas o inhaladas, como a nivel externo, debido a la irradiación por fuentes de radiación.

La evaluación de la dosimetría interna se basa en una variedad de técnicas de monitorización, bioensayos o imágenes de la radiación, mientras que la dosimetría externa se basa en mediciones con un dosímetro, o se infiere de las mediciones realizadas por otros instrumentos de protección radiológica.

## Información adicional para el profesor (1/2)

PHYWE



### Conocimiento

previo



### Principio

Los conocimientos previos para este experimento se encuentran en la sección de principio.

La dosimetría, como subespecialidad de la física médica, se ocupa de la determinación y el cálculo de las tasas de dosis, lo que también es de gran importancia en vista de las directivas de protección radiológica. Este experimento demuestra el principio de medición y explica las distintas unidades de dosis absorbida, dosis equivalente y tasa de dosis absorbida. En el interior de un condensador de placas, se irradia un volumen de aire con rayos X. La corriente iónica resultante se utiliza para determinar los datos dosimétricos.

## Información adicional para el profesor (2/2)

PHYWE



### Objetivo



### Tareas

El objetivo de este experimento es investigar el principio de la dosimetría radiativa.

1. Determinar el volumen de aire ionizado en el condensador.
2. Determinar la corriente de iones en función de la tensión del condensador y con la ayuda de dos tubos de diafragma con diferentes diámetros de apertura. Calcular la dosis de iones y la tasa de dosis absorbida en función de la corriente de saturación de iones y del volumen de aire irradiado.
3. Medir las corrientes de iones  $I_C$  para diferentes corrientes anódicas  $I_A$  a la máxima tensión del ánodo y del condensador.
4. Determinar las corrientes de iones  $I_C$  para diferentes tensiones anódicas  $U_A$  a la máxima corriente del ánodo y a la máxima tensión del condensador.

## Principio (1/3)

PHYWE

Cuando la radiación ionizante incide sobre un elemento de masa  $\Delta m$  una parte de la energía de radiación  $\Delta E$  es absorbida. La relación entre la energía absorbida y la masa absorbente se define como la dosis absorbida  $D$ .

$$D = \Delta E / \Delta m \quad (1)$$

La unidad SI de la dosis absorbida es el "Gray" (Gy) [1 Gy = 1 J/kg]. Diferentes tipos de radiación con la misma dosis absorbida tienen efectos físicos idénticos, pero biológicos diferentes. Para garantizar la comparabilidad, se ha introducido la dosis equivalente  $H$  teniendo en cuenta el llamado factor de calidad  $Q$ .

$$H = D \cdot Q \quad (2)$$

La unidad de la dosis equivalente es el "Sievert" (Sv): [1 Sv = 1 J/kg]

## Principio (2/3)

PHYWE

Dado que la duración de la acción de la radiación ionizante desempeña un papel importante en la evaluación de los daños causados por la radiación, se ha introducido, por ejemplo, la tasa de dosis iónica  $P$ . Para la tasa de dosis absorbida, que debe distinguirse de la tasa de dosis equivalente, se aplica lo siguiente:

$$P = dD/dt \quad (3)$$

La unidad de SI correspondiente es: 1 Gy/s = 1 J/kg s

Como no es fácil medir la energía absorbida, se miden los iones que se generan en un volumen de aire debido a la radiación. Para ello, la dosis de iones  $I$  se define como el cociente de la carga generada  $\Delta Q$  de igual signo y de la masa  $\Delta m$  de un elemento de volumen de aire  $\Delta V$  en condiciones normales.

$$I = dQ/dm [Askg^{-1}] \quad (4)$$

## Principio (3/3)

PHYWE

Lo siguiente se aplica a la correspondiente tasa de dosis de iones  $j$ :

$$j = \frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{dQ}{dm} \right) = \frac{dI}{dm} [\text{Akg}^{-1}] \quad (5)$$

### Principio de medición:

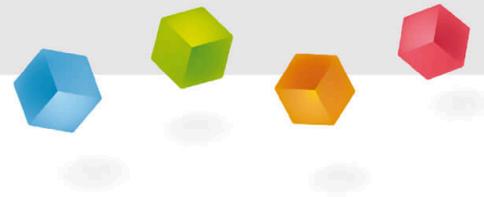
La radiación X genera una corriente en el condensador cuando se aplica la tensión. El amplificador de medida DC detecta esta corriente y produce una señal de tensión  $U_{sig}$  que es proporcional a la corriente. Esta señal es mostrada por el instrumento de medición digital conectado. La conversión es la siguiente:

$$I_c = \frac{U_{sig}}{1G\Omega}$$

**Material**

Posición	Material	Artículo No.	Cantidad
1	XR 4.0 Unidad de rayos X, 35 kV	09057-99	1
2	X-ray Módulo enchufable con tubo de rayos X de cobre (Cu)	09057-51	1
3	XR 4.0 Set de Extensión Dosimetría Rayos X	09175-88	1

PHYWE



# Montaje y ejecución

## Montaje (1/3)

PHYWE

- El cableado de los componentes eléctricos se muestra en las Figuras 1-3.
- La figura 4 muestra un esquema de cableado.
- Se utiliza un voltímetro digital para determinar la tensión del condensador  $U_C$  mientras que el otro se conecta a la salida de medición del amplificador.
- Para las tensiones de los condensadores  $U_C > 300$  V, las salidas correspondientes de la fuente de alimentación se conectan en serie (ver las figuras 3a y 3b).



Fig. 1: Cableado de los componentes eléctricos



Fig. 2: Conexión de la unidad de rayos X

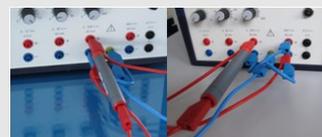


Fig. 3a: Cableado hasta 300 V  
Fig. 3b: Cableado hasta 600 V

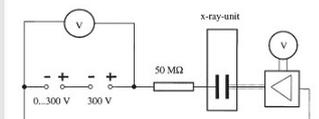


Fig. 4: Esquema de conexión de las corrientes de iones

## Montaje (2/3)

PHYWE

- Conectar las placas del condensador a las tomas correspondientes del adaptador.
- A continuación, conectar estos últimos a las tomas de la cámara de experimentación con la ayuda de dos cables de 25 cm de longitud. Asegurarse de que los cables no entren en contacto entre sí (Fig. 5). Por razones de seguridad, la salida positiva (roja) del bloque de conexión externo debe conectarse a la salida de tensión positiva de la fuente de alimentación a través del conector de 50 - M $\Omega$  - resistencia. La otra debe conectarse al amplificador de medición de CC mediante el adaptador BNC y un cable BNC (ver las figuras 1 y 2).

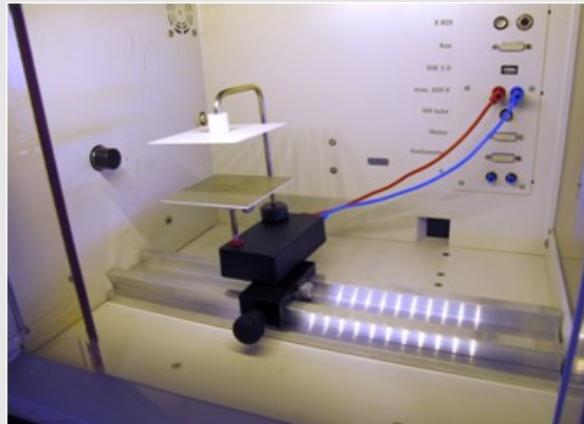


Fig. 5: Montaje y cableado de las placas del condensador dentro de la cámara de experimentación

## Montaje (3/3)

PHYWE

- Ajustar el amplificador de medición de CC a "medición de corriente".
- Rango de medición: 10 nA (se puede ajustar con los botones de flecha; consultar también el manual de instrucciones del amplificador de medida).
- Con la tensión máxima del condensador y sin tubo de rayos X en funcionamiento, no debe haber corriente (si es necesario, reajustar con ayuda del regulador de cero del amplificador).

## Ejecución (1/3)

PHYWE

### Tarea 1

Para determinar el volumen del condensador irradiado de forma aproximada, la distancia inaccesible  $X_0$  (ver la Fig. 6) debe determinarse indirectamente. Para ello, hay que retirar el condensador y utilizar los distintos tubos de diafragma para medir los diámetros de los correspondientes patrones luminosos en la pantalla fluorescente ( $U_A = 35 \text{ kV}$  y  $I_A = 1 \text{ mA}$ ). Para ello, la cámara de experimentación debe estar oscurecida. Las demás distancias deben determinarse con el condensador instalado.

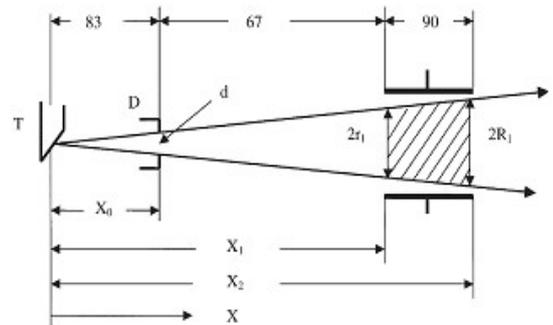


Fig. 6: Representación esquemática de la geometría del haz para la determinación del volumen de aire irradiado (valores en mm)

## Ejecución (2/3)

PHYWE

### Tarea 2

Medir las corrientes de iones  $I_C$  con los tubos de membrana con  $d = 2 \text{ mm}$  y  $d = 5 \text{ mm}$  en función de la tensión del condensador  $U_C$ . Para ello, la tensión anódica  $U_A = 35 \text{ kV}$  y la corriente anódica  $I_A = 1 \text{ mA}$  se mantienen constantes y la tensión del condensador se incrementa en pasos de 30 a 40 V. Las mediciones que se realizan sin tubos de membrana limitadores conducen a resultados falsos, ya que, en este caso, los rayos X también inciden en las placas del condensador donde liberan electrones secundarios.

### Tarea 3

Medir la corriente de ionización  $I_C$  en función de la corriente anódica  $I_A$  con la ayuda del tubo de diafragma con  $d = 5 \text{ mm}$ . Para ello, la tensión anódica  $U_A = 35 \text{ kV}$  y la tensión del condensador  $U_C = 500 \text{ V}$  se mantienen constantes y la corriente anódica  $I_A$  se incrementa de 0,1-1 mA en pasos de 0,1 mA.

## Ejecución (3/3)

PHYWE

### Tarea 4

Medir la corriente de ionización  $I_C$  en función de la tensión anódica  $U_A$  con la ayuda del tubo de diafragma con  $d = 5$  mm. Para ello, la corriente anódica  $I_A = 1$  mA y la tensión del condensador  $U_C = 500$  V se mantienen constantes y la tensión anódica  $U_A$  se aumenta de 10 a 35 kV en pasos de 5 kV.

PHYWE



## Resultados

## Tarea 1.1

PHYWE

### Determinar el volumen de aire ionizado en el condensador.

La radiación que emite el ánodo T del tubo de rayos X (ver la figura 6) está limitada por el tubo de membrana con el diámetro de apertura  $d$ . Irradia un volumen de aire del condensador de placas de forma cónica. El volumen de aire irradiado resulta de la figura 6:

$$V = \frac{\pi(X_2 - X_1)}{3} (R^2 + rR + r^2) \quad (6)$$

con los radios

$$r = \frac{X_1 \cdot d}{X_0}; R = X^2 \cdot dX_0 \quad (7)$$

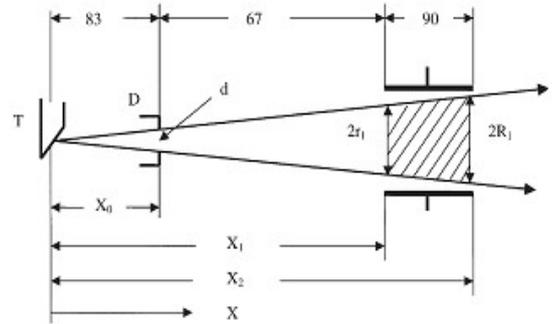


Fig. 6: Representación esquemática de la geometría del haz para la determinación del volumen de aire irradiado (valores en mm)

## Tarea 1.2

PHYWE

$X_0$  puede determinarse con la ayuda del teorema de las líneas de intersección basado en los diámetros de los patrones luminosos que se midieron en la tarea 1. En nuestro caso, el valor medio es:

$$X_0 = 6,65 \text{ cm}; X_1 = 12,95 \text{ cm}; X_2 = 20,85 \text{ cm}$$

Para  $d = 2 \text{ mm}$  (tubo de diafragma de 2 mm), se obtienen los siguientes resultados:

$$r = 0,39 \text{ cm}; R = 0,63; V = 6,57 \text{ cm}^3$$

Para  $d = 5 \text{ mm}$  (tubo con diafragma de 5 mm), se obtienen los siguientes resultados:

$$r = 0,97 \text{ cm}; R = 1,57 \text{ cm}; V = 40,76 \text{ cm}^3$$

## Tarea 2.1

PHYWE

**Determinar la corriente de iones en función de la tensión del condensador a la máxima tensión y corriente del ánodo. Realizar la serie de mediciones con dos tubos de diafragma con diferentes diámetros de apertura.**

La figura 7 muestra la corriente del condensador  $I_C$  en función de la tensión del condensador  $U_C$  para dos volúmenes irradiados diferentes.

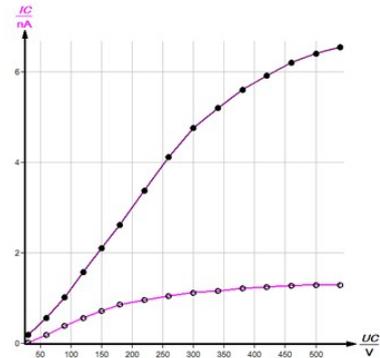


Fig. 7: Corriente de ionización  $I_C$  en función de la tensión del condensador  $U_C$  del tubo de rayos X:  $U_A = 35$  kV;  $I_A = 1$  mA, Curva A: tubo de membrana  $d = 5$  mm, Curva B: tubo de membrana  $d = 2$  mm

## Tarea 2.2

PHYWE

### Cálculo de la dosis de iones

Para poder determinar la tasa de dosis de iones de los rayos X, se irradia el volumen de aire encerrado en un condensador de placas. Los electrones generados y los iones positivos generan una corriente en el condensador. Esta corriente aumenta con el incremento de la tensión antes de alcanzar una zona de saturación en la que todos los portadores de carga generados contribuyen a la corriente. Basándose en los valores de la corriente de saturación de la Fig. 7 (para la curva A, se encuentra una corriente de saturación de 6,7 nA por extrapolación) así como en los valores de la tarea 1, se obtienen los siguientes valores para la tasa de dosis de iones de acuerdo con (5):

$$d = 0.5\text{cm} : j_m = \frac{I_{Csaturation}}{m_{air}} = \frac{I_{Csaturation}}{\rho_{air} \cdot V} = \frac{6.7 \cdot 10^{-9} \text{A}}{1.2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \cdot 40.76 \text{cm}^3} = 1.4 \cdot 10^{-4} \text{Akg}^{-1} \quad (8)$$

$$d = 0.2\text{cm} : j_m = \frac{1.29 \cdot 10^{-9}}{1.2 \cdot 10^{-6} \cdot 6.57} \text{Akg}^{-1} = 1.6 \cdot 10^{-4} \text{Akg}^{-1}$$

(Densidad del aire a 20°C y 1.013 hPa:  $\rho = 1.2 \cdot 10^{-6} \text{kgcm}^{-3}$ )

## Tarea 2.3

PHYWE

### Cálculo de la tasa de dosis absorbida

Dividiendo el valor medio de las tasas de dosis de iones (determinado anteriormente) por la carga elemental  $e$  da el número de iones  $n$  generado por unidad de tiempo y masa. La energía de ionización  $\Phi$  de una molécula de aire equivale aproximadamente a  $\Phi \approx 33eV = 52.8 \cdot 10^{-19} J$ . De acuerdo con (1) y (3) y basándose en el valor medio de los valores de  $j$  que se calcularon anteriormente, la tasa de dosis media absorbida por tiempo y unidad de masa resulta como sigue:

$$P_m = \frac{D}{t} = \frac{W}{m \cdot t} = n \cdot \Phi = \frac{1.5 \cdot 10^{-5} \cdot 52.8 \cdot 10^{-19}}{1.6 \cdot 10^{-19}} Jkg^{-1} s^{-1} = 4.95 \cdot 10^{-4} Jkg^{-1} s^{-1} \quad (9)$$

## Tarea 3

PHYWE

**Medir las corrientes de iones  $I_C$  para diferentes corrientes anódicas  $I_A$  a la máxima tensión del ánodo y del condensador. Trazar la función  $f(I_C)$ .**

La figura 8 muestra el curso lineal de la corriente de ionización en función de la corriente anódica ( $U_A = \text{const.}$  y  $U_C = \text{const.}$ ).

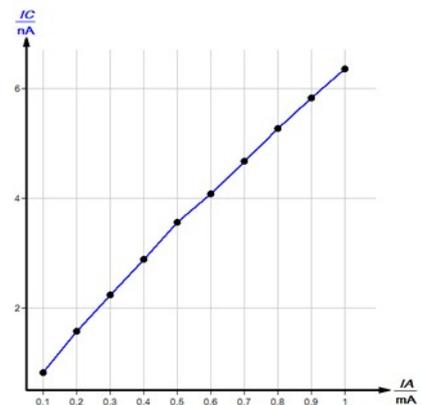


Fig. 8: Corriente de ionización  $I_C$  en función de la corriente anódica  $I_A$  Tensión anódica  $U_A = 35 \text{ kV}$ ; Tensión del condensador  $U_C = 500 \text{ V}$ ; Tubo de membrana  $d = 5 \text{ mm}$

## Tarea 4

PHYWE

**Determinar la corriente de saturación de iones en función de la tensión anódica.**

La figura 9 muestra el curso de la función  $I_C = f(U_A)$  para varias tensiones anódicas  $U_A$ . La extrapolación de la curva  $I_C = f(U_A)$  hacia los más pequeños  $U_A$  (Fig. 8) muestra que para  $U_A < 8$  kV no se generan rayos X.

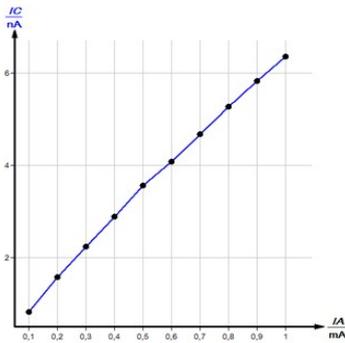


Fig. 8: Corriente de ionización  $I_C$  en función de la corriente anódica  $I_A$ . Tensión anódica  $U_A = 35$  kV; Tensión del condensador  $U_C = 500$  V; Tubo de membrana  $d = 5$  mm

Fig. 9: Corriente de ionización  $I_C$  en función de la tensión anódica  $U_A$ ; Corriente anódica  $I_A = 1$  mA; Tensión del condensador  $U_C = 500$  V; Tubo de membrana  $d = 5$  mm

