

**ASIGNATURA TÉCNICAS EXPERIMENTALES II (3^{er} Curso Grado en Física)
Curso 2022-2023**

**PRACTICA 1B: EFECTO FOTOELÉCTRICO Y DETERMINACIÓN DE LA
CONSTANTE DE PLANCK.**

1B- Selección de frecuencias mediante red de difracción.

OBJETIVO PRINCIPAL (común a 1A y 1B)

Estudiar experimentalmente el fenómeno del efecto fotoeléctrico y la necesidad de utilizar la Mecánica Cuántica para su interpretación.

OBJETIVOS CONCRETOS (común a 1A y 1B)

- 1) Comprobar experimentalmente la verificación de la ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico.
- 2) Determinar experimentalmente la constante de Planck y la función de trabajo del metal.
- 3) Analizar otros indicadores de la necesidad de la Mecánica cuántica para explicar el efecto fotoeléctrico, tales como la existencia de una frecuencia umbral mínima para la observación del fenómeno, o la independencia de dicho valor con la intensidad de la luz incidente.
- 3) Los objetivos concretos anteriores se realizarán utilizando dos métodos diferentes para obtener luz de diferentes frecuencias. Concretamente, utilizando:
 - A) Una fuente de luz continua y filtros interferenciales.
 - B) Una fuente de luz continua y una red de difracción.

COMPETENCIAS CONCRETAS QUE SE PRETENDE EL ALUMNO ADQUIERA (común a 1A y 1B)

- Comprender en detalle uno de los experimentos clave que dio lugar al origen de la Mecánica Cuántica: el efecto fotoeléctrico.
- Aprender diversos métodos de obtener luz de diferentes frecuencias a partir de un haz de luz continua: mediante filtros interferenciales o mediante una red de difracción.

PRACTICA 1B: Selección de frecuencias con red de difracción

FUNDAMENTOS FÍSICOS BÁSICOS

El efecto fotoeléctrico externo fue descrito por primera vez en 1886 por Heinrich Hertz. Pronto quedó claro que este efecto muestra ciertas características que no pueden explicarse mediante la teoría clásica de la onda de la luz. Por ejemplo, cuando la intensidad de la luz que brilla en un metal se vuelve más intensa, la teoría clásica de la onda tendría en cuenta que los electrones liberados del metal absorberían más energía. Sin embargo, los experimentos mostraron que la energía máxima posible de los electrones eyectados depende solo de la frecuencia de la luz incidente y es independiente de su intensidad.

La explicación teórica fue dada por Einstein en 1905. Sugirió que se podría considerar que la luz se comporta como partículas en algún aspecto, moviéndose con una velocidad constante. La explicación de Einstein del efecto fotoeléctrico, que demuestra el comportamiento de la luz similar a una partícula de los fotones, contribuyó al desarrollo de la teoría cuántica. Por lo tanto, el efecto fotoeléctrico externo es uno de los experimentos clave en el desarrollo de la física moderna y

Einstein obtuvo el Premio Nobel de Física "por su descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico".

El efecto fotoeléctrico es un proceso por el cual los electrones de conducción escapan de un metal tras absorber energía de una radiación electromagnética. Según la mecánica cuántica, la cantidad de energía E que puede intercambiarse en el proceso es la correspondiente a un fotón

$$E = h \nu \quad (1)$$

donde h es la constante de Planck y ν la frecuencia de la radiación.

Si Φ es la energía necesaria para que un electrón escape del metal, la diferencia $(h\nu - \Phi)$ aparecerá como energía cinética del electrón W_{cin} .

$$W_{cin} = \frac{1}{2}mv^2 = h\nu - \Phi \quad (2)$$

No todos los electrones necesitan la misma energía para escapar. La energía cinética máxima corresponde al valor mínimo de Φ que se llama energía de arranque o función de trabajo del metal y se representa por Φ_0 .

$$W_{cin,max} = \frac{1}{2}mv_{max}^2 = h\nu - \Phi_0 \quad (3)$$

En esta práctica, para estudiar el efecto fotoeléctrico, se utiliza un fototubo ubicado dentro de una caja cerrada. La parte de la superficie cilíndrica interior está recubierta con una capa metálica, que será el emisor de electrones, y el eje del cilindro es un hilo conductor (colector de electrones); una pantalla colocada delante del eje impide la iluminación del hilo conductor. Al iluminar la superficie metálica con luz de una determinada frecuencia, se emiten electrones, siempre que la energía de la luz sea lo suficientemente grande. Si los electrones emitidos alcanzan el hilo conductor, son absorbidos por éste, dando como resultado una corriente, que se denomina fotocorriente, dado que ha sido inducida por luz. Como resultado, la superficie metálica que ha emitido los electrones se carga positivamente respecto al hilo conductor (por ello a ambos conductores se les llama cátodo y ánodo, respectivamente) apareciendo una diferencia de potencial entre ambos. En teoría de bandas a este potencial se le llama de contacto (V_{AC}) y su aparición hace que los electrones sufran un cierto retraso en su viaje del emisor al colector.

Como ya se mencionó anteriormente, para que la superficie metálica iluminada pueda emitir electrones, es necesario que la energía de los fotones incidentes sea mayor al trabajo de extracción o función de trabajo del metal, que este caso es el cátodo (denominado función de trabajo del cátodo, Φ_c). Si esta condición se cumple, el electrón liberado tendrá una energía máxima dada por la Ecuación (3) (con $\Phi_0 = \Phi_c$).

Experimentalmente, para poder medir la energía cinética de los electrones emitidos, lo que se hace es aplicar un voltaje externo (V_{bias}) entre cátodo y ánodo de manera que frene a los electrones que viajan del emisor and colector. Este voltaje será negativo respecto al cátodo y tendrá la misma polaridad que el potencial de contacto V_{AC} , por lo que al igual que éste contribuye al retardo de los electrones. Al valor de V_{bias} para el cual la fotocorriente se hace prácticamente cero se le denomina potencial de frenado y se le denota como V_0 .

Así, para el valor del potencial de frenado V_0 , la energía cinética máxima de los electrones será:

$$W_{cin,max} = \frac{1}{2}mv_{max}^2 = e(V_0 + V_{AC}) \quad (4)$$

El potencial de contacto se puede calcular a partir de los potenciales electroquímicos del ánodo y cátodo, que multiplicados por la carga del electrón, constituyen las funciones de trabajo de ánodo (Φ_A) y cátodo (Φ_C), respectivamente. Teniendo en cuenta la ecuación (3), se llega a la expresión siguiente:

$$W_{cin,max} = e(V_0 + V_A - V_C) = h\nu - \Phi_C \quad (5)$$

que se puede reescribir según:

$$V_0 = \frac{h}{e}\nu - \frac{\Phi_A}{e} \quad (6)$$

El experimento consistirá en medir el potencial de frenado V_0 para diferentes frecuencias. Representando una frente a otra, se puede obtener a partir de un ajuste lineal el valor de la constante de Planck y de la función de trabajo del metal del ánodo. Nótese que la función de trabajo del cátodo no aparece en la expresión.

Por otra parte, de la ecuación de Einstein, también se sigue que si la frecuencia de la radiación es menor que un valor

$$\nu_0 = \Phi_A / h \quad (7)$$

llamado umbral de frecuencias, no es posible la emisión. Esta frecuencia umbral también se puede obtener de la representación gráfica anterior, pues corresponde con el corte de la recta con el eje x.

MATERIAL

- Celda fotoeléctrica en carcasa.
- Red de difracción de 600 líneas/mm.
- Filtro de color, que transmite longitudes de onda mayores de 600 nm.
- Rendija ajustable.
- Diafragma y soporte.
- 2 lentes montadas de distancia focal 10 cm.
- Lámpara halógena de 12 V, 50 W y soporte con objetivo a la salida de distancia focal 6 cm.
- Fuente de alimentación DC.
- Amplificador universal.
- 2 multímetros digitales.
- Banco óptico de 60 cm de longitud con dos brazos, uno de los cuales puede rotar y lleva un goniómetro para medir el ángulo entre los brazos.
- Resistor variable con resistencia máxima de 100 Ohm y cables de conexión.

REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Sistema experimental (Figura 1)

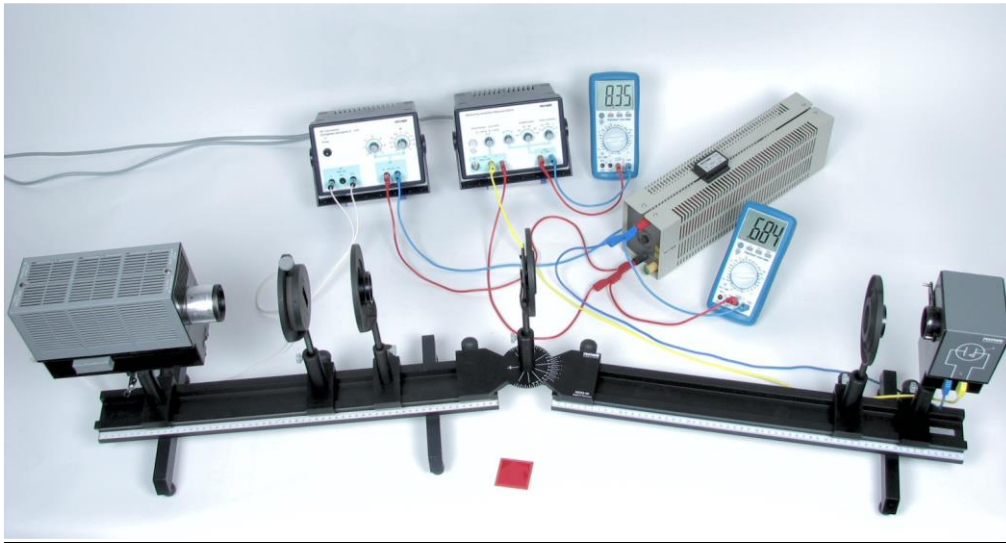


Fig. 1: Sistema experimental completo.

- Colocar el banco óptico con los dos brazos de manera que uno de ellos esté fijo sobre la mesa y el otro pueda girar.

- En el brazo fijo se colocan la lámpara, la rendija variable y una de las lentes de distancia focal 10 cm, a distancias respecto al extremo libre de 9.0 cm, 34.0 cm y 44.0 cm, respectivamente.

¿Por qué hay que colocar los elementos en estas posiciones? ¿Qué ocurre si no los pones ahí?

Con estos elementos realizar las siguientes operaciones:

- Conectar la lámpara.
- Ajustar la anchura de la rendija para que sea la misma que la de la rendija de entrada a la celda fotoeléctrica.
- Mover el soporte de la lámpara dentro de la carcasa para enfocar la luz que sale de la lámpara sobre el plano de la rendija.
- Mover la lente de manera que el haz de luz a su salida sea paralelo.

- Insertar la red de difracción en el soporte con el diafragma y colocarlo en el extremo del brazo móvil, en el nudo de conexión con el otro brazo. Ajustar las líneas de la red para que estén en posición vertical. Para ello observar que el espectro que forma en las superficies circundantes tiene la misma altura a ambos lados de la red.

- Colocar la célula fotoeléctrica en el extremo libre del brazo que puede rotar y con la otra lente de focal 10 cm focalizar la luz proveniente de la rendija variable sobre la rendija de entrada a la celda fotoeléctrica.

- Anotar como ángulo cero aquel en el que toda la luz no difractada entra por la rendija de entrada a la celda fotoeléctrica.

- Realizar las conexiones eléctricas según se muestra en la figura 2 y llevar a cabo las siguientes operaciones:

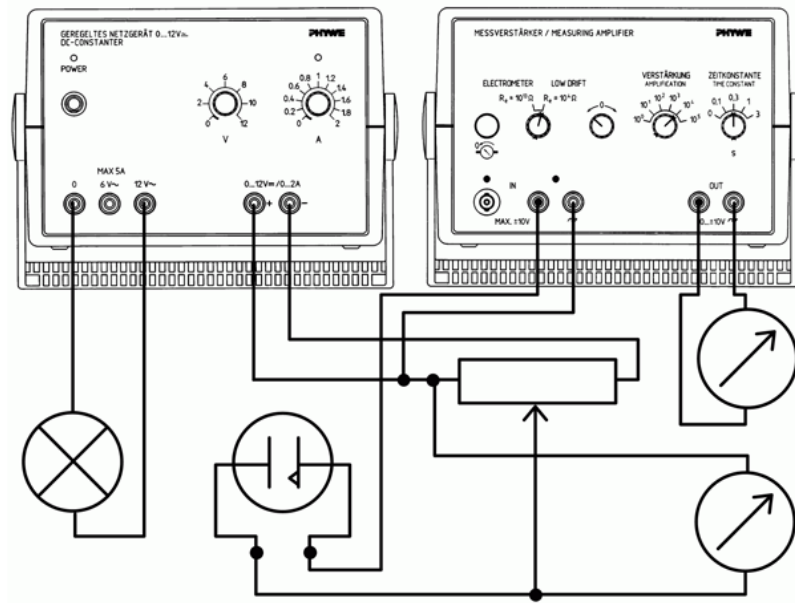


Fig. 2: Esquema de las conexiones eléctricas.

- Ajustar el amplificador en modo “low drift”, factor de amplificación 10^5 y constante de tiempo 0.3 s. Comprobar el cero del amplificador (sin conexión en la entrada, ajustar el voltaje de salida del amplificador a cero, utilizando el botón de cero del aparato). Nótese que el voltaje que se mide a la salida del amplificador es proporcional a la fotocorriente, y cuyo valor depende del potencial de frenado aplicado.
- En la fuente de voltaje, ajustar el potenciómetro para tener 3 V y una corriente de 1 A. Entonces ajustando con el reóstato se puede variar el potencial de frenado aplicado y que se mide en el voltímetro conectado a él.

Notas importantes:

La entrada del amplificador tiene una Resistencia de 10,000 Ohm. Así, si se usa por ejemplo un factor de amplificación de 10^4 , entonces 1 voltio en la salida del amplificador corresponde a 0.0001 V en la entrada y una corriente de 10 nA.

Para realizar una medida precisa de los ángulos de difracción, además de la escala del goniómetro, que tiene divisiones cada 5° , se utiliza otra escala, conocida como escala “vernier”, que permite tener una precisión mayor (0.5°). En la Figura 3 se muestra un ejemplo explicativo de cómo se realizan medidas usando esta escala.

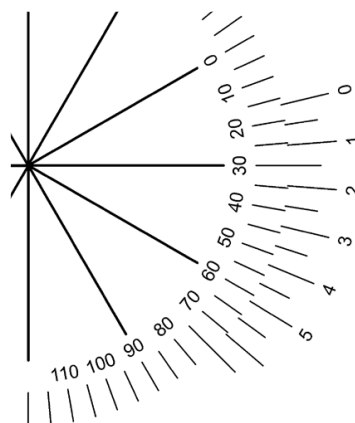


Fig. 3: Ejemplo de lectura utilizando la escala Vernier; Según la escala principal, el ángulo que se quiere medir es un poco mayor a 15° . En la escala de la derecha se busca la primera marca que coincida con una marca de la escala principal. En el ejemplo esta marca es la de 1.5° , por lo que ángulo será de 16.5° .

Realización y análisis: Parte 1

Medir el voltaje aplicado V_{bias} cuando la corriente es muy próxima a cero, esto es, el voltaje umbral V_0 , para el rango de ángulos del brazo móvil entre 13 y 25° . Nótese que en estas condiciones la luz que incide sobre la célula fotoeléctrica corresponde al primer orden de difracción de la lámpara. Para ángulos mayores de alrededor de 21° , es necesario colocar un filtro rojo delante de la entrada de la célula, que sólo transmite luz de longitud de onda mayor a 600 nm. Este filtro tiene por objeto evitar que sobre la celda fotoeléctrica incida luz UV del segundo orden de difracción, que produciría perturbaciones en la medida. Es posible que haya un rango de longitudes de onda, antes de que sea necesario colocar el filtro en el que las medidas no sean buenas.

Calcular la longitud de onda, y a partir de ella la frecuencia, de la luz que corresponde a cada uno de los ángulos α , utilizando la expresión:

$$d \sin \alpha = n \lambda \quad (8)$$

donde d es la constante de la red de difracción o periodo (en este caso $1/600$ mm), λ es la longitud de onda de la luz emitida y n es un número entero, que indica el orden de difracción (en este caso $n = 1$).

Representar gráficamente el voltaje umbral en función de la frecuencia y ajustar con la expresión (6), determinando el cociente h/e y la función de trabajo del ánodo.

Realización y análisis: Parte 2

Para al menos 6 ángulos de los anteriores, medir la intensidad de corriente para distintos valores de voltaje y obtener la curva I-V. Ajusta los resultados y obtén para cada una el potencial umbral. Compara los valores con los medidos en el apartado anterior.

¿A qué puede ser debido que para potenciales de frenado elevados se midan valores negativos de fotocorriente?

Realización y análisis: Parte 3

Para uno de los ángulos, realizar varias curvas I-V para distintos valores de la intensidad de la luz incidente. Para variar la intensidad del haz puedes usar los filtros de densidad óptica de la práctica 1ª.

Realización y análisis: Parte 4

Si tienes tiempo prueba a hacer el experimento cambiando la red de difracción por otra con diferente número de líneas por mm.