

## Capítulo 6

# Estudio del efecto fotoeléctrico, determinación de la constante de Planck

### Introducción

Los electrones se pueden liberar de la superficie de ciertos metales irradiándolos con luz de longitud de onda suficientemente corta, este fenómeno es llamado efecto fotoeléctrico. La energía de los electrones liberados depende de la frecuencia de la luz incidente, pero **no** de la intensidad; la intensidad sólo determina el número de electrones liberados. Este hecho contradice los principios de la física clásica y fue interpretado por primera vez en 1905 por Albert Einstein quien postuló que la luz consiste en un flujo de partículas, llamadas fotones, cuya energía  $E$  es proporcional a la frecuencia ( $\nu$ ):

$$E = h\nu \quad (6.1)$$

El factor de proporcionalidad  $h$  se conoce como constante de Planck y se considera una constante de la naturaleza. En esta concepción particulada de la luz, cada electrón es liberado de la superficie del metal por un fotón saliendo con una energía cinética:

$$E_k = h\nu - W_k \quad (6.2)$$

en donde  $W_K$  es la función de trabajo de los electrones y que depende del material irradiado.

Para verificar el efecto fotoeléctrico, podemos determinar la constante  $h$  de Planck exponiendo una fotocelda a una luz monocromática, es decir, luz de una longitud de onda específica, y midiendo la energía cinética  $E_k$  de los electrones expulsados.

Algunos de los electrones expulsados viajan al ánodo, donde se genera una corriente fotoeléctrica  $I$ . Si los electrones son expulsados contra un potencial negativo que aumenta gradualmente, la corriente fotoeléctrica disminuye continuamente. El voltaje al que la corriente fotoeléctrica llega exactamente a cero se denomina voltaje límite  $U_0$ . En este nivel, incluso los electrones con los enlaces más débiles, es decir, aquellos con la función de trabajo  $W_K$  más baja y, por tanto, con la mayor energía cinética, ya no pueden superar el voltaje del ánodo.

En este experimento, el voltaje del ánodo se genera usando un capacitor que se carga con los electrones incidentes hasta un voltaje límite  $U_0$ . Podemos usar este voltaje límite  $U_0$  para calcular la energía cinética de estos electrones débilmente unidos:

$$e * U_0 = h * \nu - W \quad (6.3)$$

aquí  $e$ , es la carga del electrón,  $W$  ya no es la función de trabajo  $W_K$  del cátodo, ya que el potencial de contacto entre el cátodo y el ánodo está incluido en el balance de energía. Las medidas se realizan para varias longitudes de onda  $\lambda$  y frecuencia  $\nu$  con  $\nu = c/\lambda$ , donde  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío. Cuando hay un incremento en la frecuencia de la luz incidente  $\Delta\nu$ , la energía del electrón aumenta  $h * \Delta\nu$ , el voltaje límite debe incrementarse  $\Delta U_0$  para compensar el incremento de la fotocorriente.

Si graficamos el voltaje límite  $U_0(\nu)$  como una función de  $\nu$ , ecuación 6.3, nos da una línea recta cuya pendiente es:

$$\frac{\Delta U_0}{\Delta \nu} = \frac{h}{e} \quad (6.4)$$

de esta ecuación y conociendo el valor de  $e$ , es posible determinar el valor de la constante de Planck  $h$ .

## Equipo

Antes de iniciar con la práctica es necesario identificar las partes del equipo y sus funciones, también, es importante alinear el sistema óptico, con el fin de que la luz incidente en la fotocélula sea monocromática y se enfoque de manera adecuada.

Por favor, lea cuidadosamente esta guía, identifique en el laboratorio el equipo y sus partes, entienda por completo la forma de usarlo y ajustarlo, de esta manera será posible comprender el fenómeno de estudio.

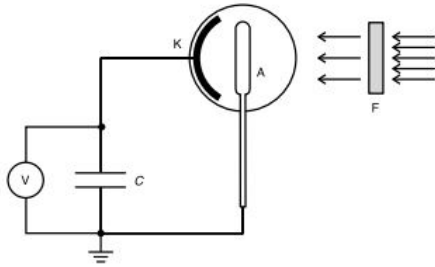


Figura 6.1: Esquema simplificado del montaje experimental, La luz monocromática (producida por el filtro de longitud de onda  $F$ ) incide sobre el cátodo  $K$  de una fotocélula. Los fotoelectrones estimulados aquí viajan al ánodo  $A$ , y cargan el capacitor  $C$ , hasta el voltaje límite  $U_0$ .

## Piezas principales

Existen tres componentes principales en este experimento:

- Lámpara de mercurio.
- Banco óptico.
- Fotocélula

## Lámpara de mercurio

La lámpara de mercurio de alta presión proporciona una gran luminosidad, su espectro de radiación, emite principalmente en la franja del ultravioleta UV, con un pico en los  $365\text{ nm}$  y un UV-C bastante débil en  $254\text{ nm}$ , en particular, la lámpara utilizada en este experimento se encuentra en el rango de longitudes de onda de aproximadamente  $579\text{ nm}$  a  $248\text{ nm}$ .

La lámpara en su interior contiene  $14,6\text{ mg}$  de mercurio que se calienta hasta formar vapor, aumentando la presión dentro del bombillo, es por esto que lámpara de mercurio de alta presión alcanza su intensidad máxima después de un período de calentamiento de diez minutos. Se recomienda encender la lámpara cuando comience a configurar el experimento, para que pueda comenzar a medir tan pronto como haya terminado.

## Notas de seguridad de la lámpara de mercurio

- La lámpara de mercurio de alta presión emite luz en el rango UV y, por tanto, puede dañar los ojos

o la piel. Así que nunca mire al haz de luz directo o reflejado.

- La lámpara de mercurio se puede calentar por encima de los  $100^\circ\text{C}$  lo que puede causar quemaduras, evite tocar la carcasa de la lámpara.

## Banco óptico

El banco óptico está conformado por todas las piezas que son necesarias para enfocar la luz de la lámpara de mercurio en el interior de la carcasa de la fotocélula, el banco óptico utiliza un riel óptico, tres caballetes o jinetillos, donde se ubican el diafragma o iris, el lente de  $10\text{ cm}$  de distancia focal, y el porta filtros, las distancias entre los caballetes está en la figura (XXXX) es importante que ubique los elementos de acuerdo a estas distancias, de esta manera se garantiza un correcto enfoque de luz.

Es necesario que a la fotocélula llegue luz monocromática es decir de una sola longitud de onda, para ello se utilizan filtros de interferencia de banda estrecha, donde el máximo del filtro coincide con la frecuencia de la línea espectral de la lámpara de mercurio de alta presión. La especificación de longitud de onda en el filtro se refiere a la longitud de onda de la línea de mercurio transmitida.

## Fotocélula

La fotocélula es un dispositivo parecido a un bombillo pequeño, al cual se le extrae el aire en su interior, allí tiene un cátodo que reacciona liberando electrones cuando es iluminado por luz ultravioleta, (por esta propiedad es llamado fotocátodo), estos electrones son atrapados por un ánodo que tiene forma de anillo y que está en frente del fotocátodo, ver figura 6.2, de esta manera se genera una corriente eléctrica que puede circular por un circuito externo adecuado.

Este dispositivo se puede utilizar para demostrar que la energía de la luz es proporcional a la frecuencia de la radiación e independiente de la intensidad de la radiación.

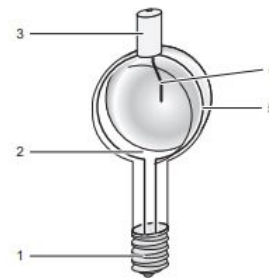


Figura 6.2: Detalles de la fotocélula 1. Contacto eléctrico para el ánodo. 2. Tubo de cristal al vacío. 3. Acople de contacto con el fotocátodo. 4. Fotocátodo. 5. Anillo del ánodo

La función trabajo es una constante del material que incorpora los diferentes potenciales de emisión del cátodo y del ánodo. En particular, el potencial de emisión del cátodo es una cantidad difícil de estimar, ya que debido al proceso de fabricación la superficie del cátodo no es homogénea. Está compuesto por una mezcla de potasio, óxido de potasio y plata oxidada. También, el recubrimiento del cátodo puede variar localmente; por tanto, el trabajo de emisión de los electrones también puede variar localmente, por este motivo sus resultados de la medición pueden ser ligeramente distintos para una misma longitud de onda cuando el experimento se realiza en momentos distintos. De la misma manera, al cambiar la longitud de onda por medio del filtro, asegúrese de que siempre esté iluminado el mismo punto en el cátodo.

### Notas de seguridad al utilizar la fotocélula:

- La fotocélula consta de una ampolla de vidrio al vacío, por lo que es **¡frágil!** y podría romperse, así que no debe someter la fotocélula a tensiones mecánicas.
- Proteja la fotocélula del sobrecalentamiento.
- Proteja la fotocélula contra la luz incidente excesiva.
- En todo momento la fotocélula debe estar dentro de la carcasa portectora, parte e, de la figura 6.3.
- Asegúrese de que el haz de luz no incida ni en el anillo del ánodo ni en el cable de conexión del cátodo.

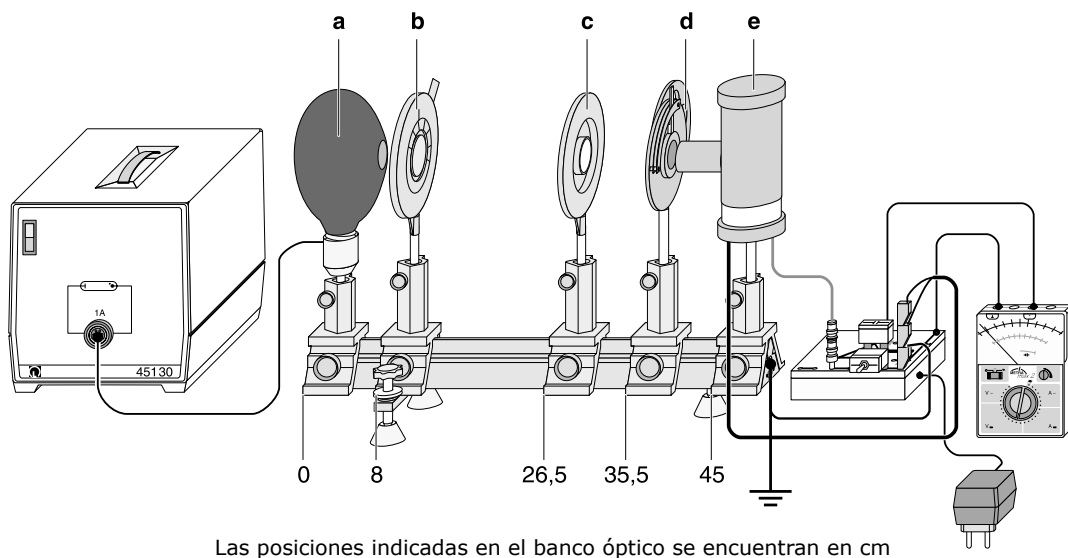


Figura 6.3: Montaje equipo fotoeléctrico

### Montaje

En la figura 6.3, se muestra la configuración de las piezas del equipo, es importante respetar las distancias entre ellas indicadas en la imagen en centímetros.

- Monte la lámpara de mercurio de alta presión en la posición marcada mediante un caballete óptico ( $H = 90\text{mm}$ ), conéctela a su respectiva fuente y enciéndalo.
- Montar la fotocélula en la posición marcada mediante un caballete óptico ( $H = 90\text{mm}$ ); retire la cubierta y alinee la fotocélula de modo que la superficie recubierta de negro quede hacia la lámpara de mercurio.
- Monte el diafragma de iris en el banco óptico en la posición marcada utilizando un soporte óptico ( $H = 120\text{mm}$ ).
- Monte la lente en la posición marcada usando un soporte óptico ( $H = 120\text{mm}$ ) y ajuste su altura

para que el centro de la lente esté a la misma altura que el centro del diafragma del iris.

La luz de la lámpara de mercurio ahora debería producir un punto de luz nítido en la capa negra (el área sensible) de la fotocélula. La luz no debe incidir sobre el anillo metálico ni sobre la parte de la zona revestida de negro a la que están unidos los contactos. Las zonas marginales tampoco deberían estar iluminadas. Para garantizar que esto sea así, lleve a cabo el siguiente procedimiento, repitiéndolo tantas veces como sea necesario para producir la imagen óptima:

- Variar la altura del diafragma iris y de la lente para que el punto de luz incida sobre la zona negra de la fotocélula; asegúrese de que el centro de la lente esté siempre al mismo nivel que el del diafragma del iris. Es posible que también necesites ajustar la altura y la inclinación de la fotocélula (utilizando los tornillos debajo de la base).
- Utilizando el diafragma iris, ajuste el tamaño del punto de luz para que ilumine la mayor superfi-

cie posible de la zona negra de la fotocélula, sin incidir en las zonas exteriores, el anillo metálico o los contactos del revestimiento negro.

- Enfoque el punto de luz según sea necesario moviendo la lente a lo largo del banco óptico.

Una vez que haya ajustado la configuración del experimento, para no cambiar la configuración nuevamente asegúrese de colocar la tapa de la fotocélula.

El montaje eléctrico del amplificador se configura de la siguiente manera

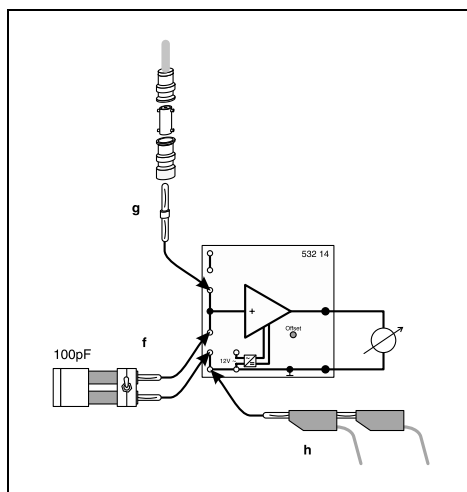


Figura 6.4: Esquema del amplificador

Los fotoelectrones inciden sobre el anillo metálico de la fotocélula, generando el voltaje límite  $U_0$  requerido para determinar la energía cinética. El amplificador del electrómetro se utiliza para medir el voltaje en el capacitor.

## Medición

Encienda el multímetro y ajuste el interruptor de rango a  $1V$  en CORRIENTE CONTINUA.

- Colocar el filtro de interferencias para luz amarilla ( $lHg = 578nm$ ) en la trayectoria del haz.
- Descargue el condensador manteniendo presionado el interruptor de contacto, hasta que el multímetro marque cero  $V$ .
- Iniciar la medición soltando el pulsador; esperar aproximadamente de  $30\text{seg}$  a  $1\text{minuto}$ , hasta que el condensador se haya cargado la tensión límite  $U_0$ . Anote el valor medido para  $U_0$ .
- Coloque el filtro de interferencias para luz verde ( $lHg = 546nm$ ) en la trayectoria del haz y repita la medición.
- Ampliar el rango de medición a  $3V$  y repetir la medición con el azul ( $lHg = 436nm$ ) y el violeta ( $lHg = 405nm$ ) filtros de interferencia.
- Variar la intensidad de la luz incidente en la fotocélula mediante el diafragma de iris del revólver de filtro y mida el límite tensión  $U_0$  para cada ajuste.

### Notas de la medición

- La tensión en el condensador puede verse influenciada por los efectos de inducción mueva esta parte lo menos posible durante el experimento.
- No es necesario oscurecer la habitación; esto no tiene ningún efecto sobre el resultados de la medición.
- Si el diafragma del iris está demasiado cerrado, esto puede afectar la Iluminación uniforme del punto de luz en el cátodo. También, las corrientes de fuga desempeñarán un papel cada vez más importante.