

# Laboratorio 5 - UBA

## Primer Cuatrimestre de 1999

### EFEECTO FOTOELECTRICO

**Autores:** M.A. Agadakis. R.R. Yáñez.

Departamento de Física, Laboratorio 5

Universidad de Buenos Aires.

Mediante el método expuesto es posible estudiar el efecto fotoeléctrico y calcular la constante de Planck a través de la medición directa de la fotocorriente entre los electrodos de un fototubo. La técnica involucra el empleo de un amplificador Lock-in y luz monocromática obturada a una frecuencia fija. Mediante la variación de esta frecuencia se obtuvo un valor para  $h=(9.0 \pm 3.1) 10^{-34}$  J.s.

### INTRODUCCION

Efecto fotoeléctrico es la interacción entre la radiación electromagnética y la materia, resultando en la disociación de esa materia en partículas cargadas. Como cuando la luz incide sobre un metal y arranca electrones de este. Cuando luz monocromática incide sobre un cátodo de material fotosensible, este libera electrones con energía cinética que depende de la longitud de onda y del material del fotocátodo.

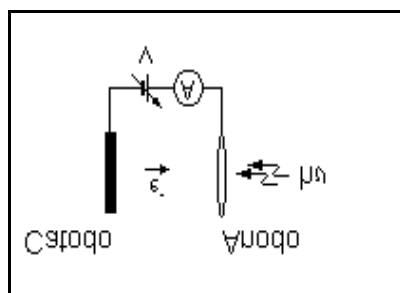


Figura 1. Fototubo.

Se tiene un fototubo como el de la figura 1. Si existe una diferencia de potencial entre el cátodo y el ánodo (que es un cable con forma de aro) y se hace incidir luz sobre el cátodo, se observa que fluye una corriente a través del tubo. Los electrones son arrancados del cátodo (esto por el efecto fotoeléctrico) y son dirigidos por el potencial hacia el ánodo.

El hecho de que la energía de los electrones dependa solamente de la longitud de onda de la luz incidente y del material del cátodo y no de la intensidad del haz ni de la superficie iluminada es lo que condujo a Einstein (en su teoría cuántica del efecto fotoeléctrico, 1905) a considerar a la luz como un chorro de partículas con energía  $h\nu$  cada una, donde  $\nu$  es la frecuencia y  $h$  es la constante de Planck. Se basó para esto en el enunciado anterior de Planck (1900) por el cual se imponía el requisito de que la

radiación era absorbida o emitida solo en forma discreta, en unidades distintivas o quanta dependientes de su frecuencia ( $nh\nu$ ). El termino fotón no fue usado sino hasta 1926.

Los electrones se desprenden del cátodo con energía cinética :

$$T = h\nu - \phi \quad (1)$$

donde  $\phi$  es el trabajo necesario para extraer al electrón del cátodo. Si entre el cátodo y el ánodo ponemos un potencial negativo  $V_{RET}$ , entonces existirá un potencial  $V_0$  para el cual, si  $V_{RET} < V_0$ , no habrá corriente.  $V_0$  es el potencial para el cual la corriente comienza a fluir. Entonces,  $V_0$  satisface:

$$e \cdot V_0 = h\nu - \phi \quad \Rightarrow \quad V_0 = h\nu/e - \phi/e \quad (2)$$

Si hallamos  $V_0$  para distintas  $\nu$ , vemos que podemos hallar la constante de Planck y la función trabajo  $\phi$  para el material del fotocátodo.

## DESARROLLO

Se montó el siguiente dispositivo experimental (fig. 2)

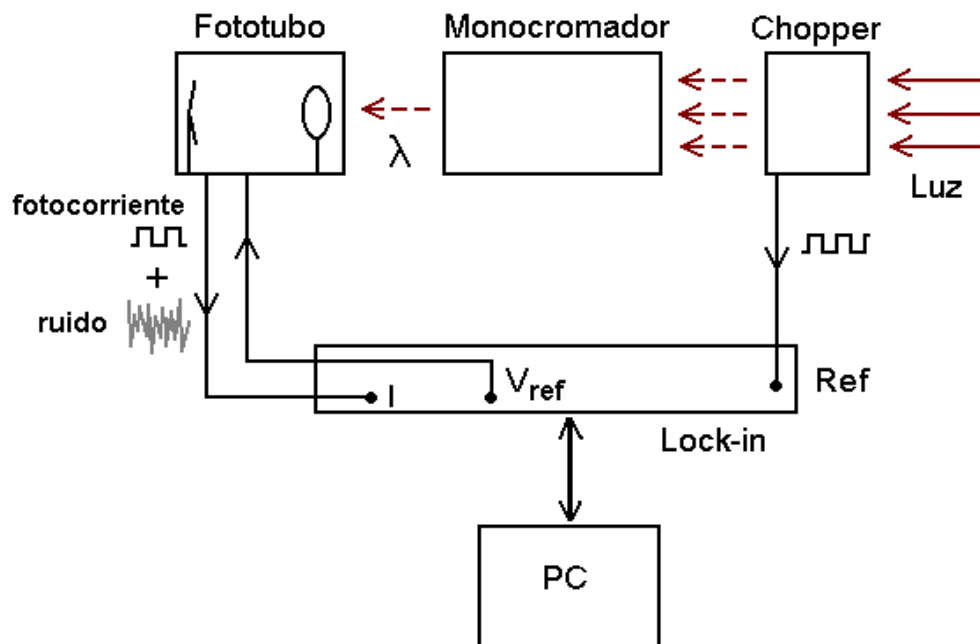


Figura 2. Dispositivo experimental.

Las fotocorrientes a medir son muy pequeñas y no se pueden diferenciar por estar por debajo del ruido. Para poder medirlas se utiliza un amplificador Lock-in. Este permite hacer mediciones limpias de señales pequeñas moduladas a cierta frecuencia. En esencia, el Lock-in deja pasar y amplifica la parte de la señal que está modulada a esa frecuencia. Por eso hace falta el chopper (un disco metálico que tiene aberturas a intervalos regulares), que le da al Lock-in esa frecuencia de referencia y a la vez obtura la luz de la fuente girando a velocidad angular  $\omega$ . La frecuencia elegida para obturar la luz se fijó en 283 Hz ya que de esta forma se maximizó la relación señal-ruido. Se observó experimentalmente que esta relación disminuía cuando la frecuencia del chopper coincidía con la frecuencia de la alimentación (50Hz) o cualquiera de sus armónicos. En particular, este efecto se vio aumentado para los armónicos impares.

El haz de luz luego pasa por el monocromador, que permite seleccionar la longitud de onda del haz que finalmente incide sobre el fototubo. Este está conectado al Lock-in que dejara pasar solo la señal de la fotocorriente, pues esta estará modulada a la misma frecuencia a la que la luz es obturada por el chopper, a lo sumo difiriendo en una fase fija.

El Lock-in tiene un convertidor analógico digital que es controlado desde la computadora que permite variar el  $V_{ret}$  desde ella y permite adquirir la tensión  $V$  proporcional a la fotocorriente  $I$  en función del tiempo. Entonces, desde la computadora, se hace variar en el tiempo el potencial  $V_{ret}$  y durante ese tiempo se adquiere  $V$  proporcional a  $I$  en el fototubo.

Así, usando el monocromador (previamente calibrado), para distintas longitudes de onda del haz incidente sobre el fotocátodo, se hace variar  $V_{ret}$  y se adquiere  $I$  vs  $V_{ret}$ , de donde se obtiene  $V_0$  para hallar  $h$ , la constante de Planck.

## RESULTADOS

Todas las mediciones obtenidas de  $V$  vs  $V_{ret}$  son semejantes a alguno de los dos gráficos que se observan en la figura 3. Se observa en ellos la diferente relación señal ruido, para las dos mediciones.

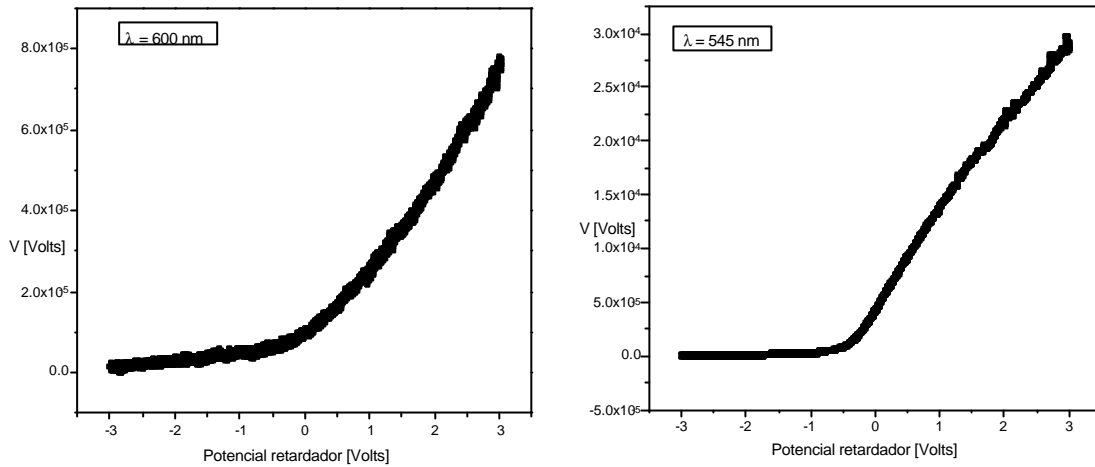


Figura 3. Curvas típicas del potencial proporcional a la fotocorriente en función del potencial retardador, para dos de las longitudes de

De ellos se puede apreciar que  $V$  se mantiene constante en la cercanía del cero hasta un determinado valor del potencial de retardo, por encima del cual se despegua y crece en forma apreciable. Este valor del potencial de retardo  $V_0$  es el que se utilizó. Para determinarlo se realizó una regresión lineal para los puntos en que  $V$  se mantiene y una polinómica para todos los puntos. Se considero a  $V_0$  la abscisa para la cual las curvas de ambas regresiones se intersectan (figura 4).

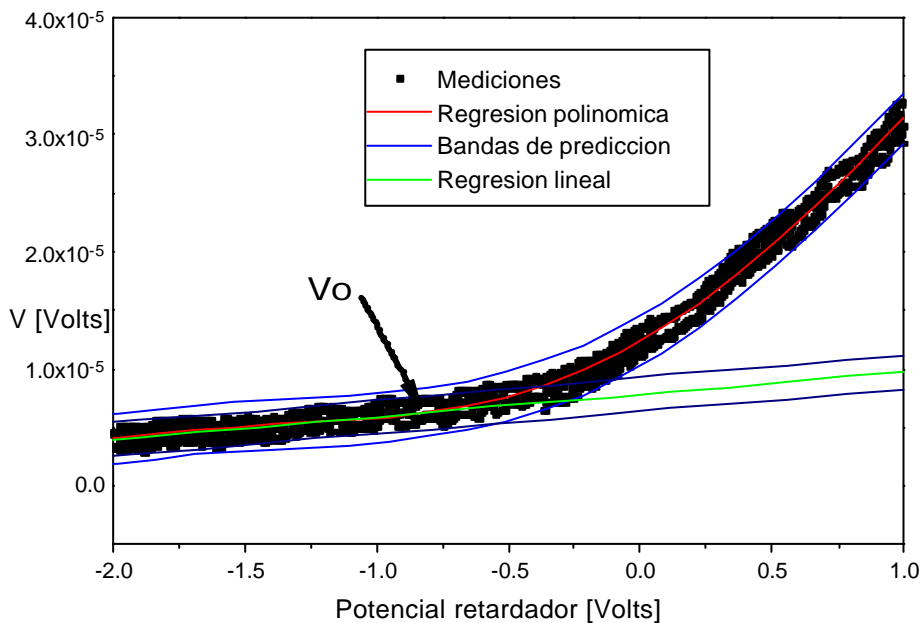


Figura 4. Criterio para determinar  $V_0$ .

El error en la determinación de  $V_0$  se obtuvo de considerar la distancia en volts entre las intersecciones de las bandas de predicción de ambas regresiones. Ver figura 4.

Del conjunto de las mediciones realizadas se obtuvo el gráfico de la figura 5.

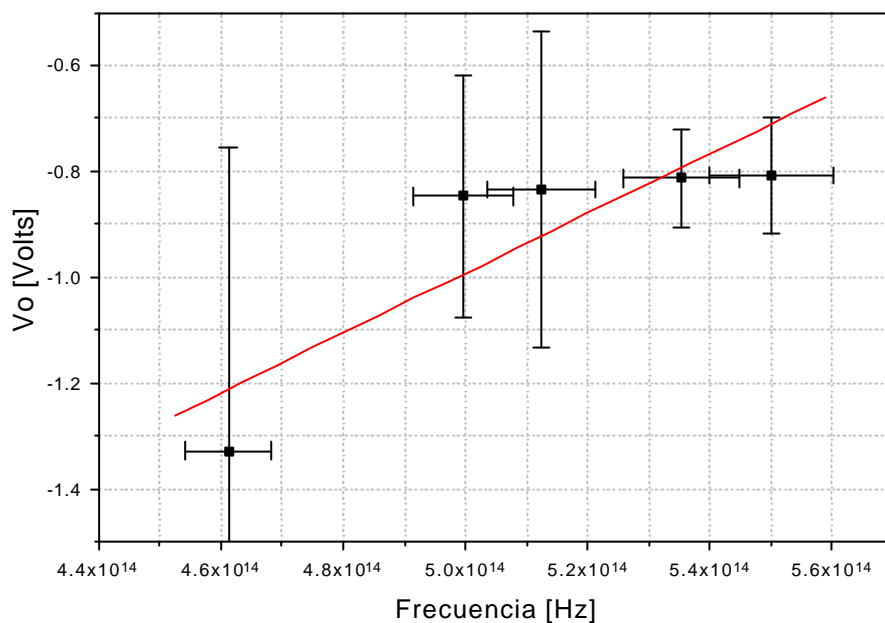


Figura 5. Gráfico del potencial mínimo para el cual se mide fotocorriente, en función de la frecuencia de la luz incidente.

Los valores de  $h$  y de  $\phi$  vienen dados por la pendiente de la regresión lineal efectuada sobre estos puntos. Se obtuvo:

$$m = (5.6 \pm 1.9) \cdot 10^{-15} \left[ \frac{\text{J}\cdot\text{s}}{\text{C}} \right] \text{ ie: } \left[ \frac{\text{Accion}}{\text{Carga}} \right]$$

$$b = (-3.8 \pm 1.0) \quad [\text{Volts}]$$

$$h = (9.0 \pm 3.1) \cdot 10^{-34} \quad [\text{J}\cdot\text{S}]$$

$$\phi = (-6.1 \pm 1.6) \cdot 10^{-19} \quad [\text{J}]$$

## CONCLUSIONES.

La primera conclusión notable a la que se arriba es la de la verificación experimental del efecto fotoeléctrico. Se observa de los gráficos de la figura 3, por ejemplo en el correspondiente a  $\lambda = 545 \text{ nm}$  que para  $V_{\text{RET}} < V_0$  la corriente entre los electrodos es efectivamente nula.

Cuantitativamente, se observa una pendiente de  $V$  en  $V_{\text{RET}}$  del orden de  $1.8 \cdot 10^{-6}$  en la zona de  $V_{\text{RET}} < V_0$  mientras que para  $V_{\text{RET}} > V_0$ , esta pendiente es casi dos ordenes de magnitud mayor. ( $8.32 \cdot 10^{-5}$ ).

Por otra parte el valor de  $h$  al que se arriba no presenta diferencia significativa con el valor tabulado. Entendiéndose por esto que la diferencia en modulo en las magnitudes es menor que el modulo de la suma de los errores. Otra particularidad del resultado de la estimación de  $h$ , es que aun teniendo en cuenta su importante error relativo (34%), sus barras de error excluyen al cero. Esto es importante para poder dar como validas las hipótesis sobre la cuantificación de la energía.

Cabe destacar que el criterio usado para determinar  $V_0$  es el que introduce el mayor error en la medición. Es decir que es un método pesimista, ya que la incerteza tomada para  $V_0$  no tiene en cuenta que en principio se dispondrían de suficientes puntos para aplicar un método estadístico.

Concretamente sugerimos la siguiente mejora al análisis de los datos: Tomar dos grupos de puntos de la curva experimental de  $V_0$  en funcion de  $V_{\text{RET}}$  elegidos al azar. Uno de los grupos para el intervalo donde la curva tiene pendiente casi nula, y el otro para la curva completa. Fitear el primer grupo con una recta, el segundo con una polinomial y obtener  $V_0$  por el procedimiento expuesto en este informe. Repetir este proceso una cantidad suficiente de veces para poder informar solo el error estadístico del  $V_0$  medio, en cada una de las curvas para distinta longitud de onda.

Otra alternativa seria hacer una derivada discreta sobre la curva experimental  $\left[ \frac{\partial V}{\partial V_{\text{RET}}} \right]$ ,

y observar el salto de ésta a valores positivos, determinando así  $V_0$  para cada curva.

Es importante notar que el uso del Lock-in para la obtencion de datos libera al experimentador de la necesidad de refinamientos en el metodo de medición, al menos en una primera etapa, permitiendo concentrarse completamente en los metodos de análisis.

## BIBLIOGRAFIA.

- [1] - Apunte de Laboratorio 5, "Efecto Fotoeléctrico"
- [2] - R.A. Powell, "Photoelectric Effect: Back to Basics", Am.J.Phys.46(10) Oct.1978, pag. 1046.
- [3] - R.M. Eisberg, "Fundamentos de Fisica Moderna". Limusa,1992.
- [4] - John H. Scofield, "Frequency-domain description of a lock-in amplifier", Am.J.Phys.62(2) Feb. 1994, pag. 129