

FITXA DEL PROJECTE - 2018

TÍTOL : El arcoíris de Planck: Medición de la constante de Planck con LEDs.	
Centre: British School Alzira	Curs i Cicle (ESO/BAT/CF): 2º Bachillerato
Categoria de concurs: FÍSICA	
Nom del professor/a tutor/a: Raúl E. Lacomba Perales	
Nom i cognoms dels participants (4 màxim), que participaran en la fira si el projecte és admès. Han de coincidir amb els registrats on-line. NO ES PODRAN MODIFICAR UNA VEGADA REALITZADA LA INSCRIPCIÓ.	
1. Caleb Akhtar Martínez	3. Álvaro Pérez Guardiola
2. Juan F. Medeiros Ávila	4. Noah Salvador López

FITXA DEL PROJECTE - 2018

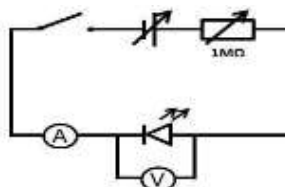
1. Resum breu del projecte i objectius

El objetivo de nuestro proyecto es la medida de la constante de Planck mediante el uso de LEDs. Usando la relación existente entre la frecuencia de varios LEDs y sus voltajes de activación, somos capaces de obtener un valor bastante próximo al valor aceptado de la constante de Planck.

2. Material i muntatge (Inclou alguna figura, esquema o fotografia de resolució mitjana-baixa)

Material y montaje:

- ★ Placa de montaje;
- ★ Cables de resistividad baja;
- ★ LEDs (rojo, azul, amarillo, verde...);
- ★ Resistencias fijas;
- ★ Resistencias variables;
- ★ Voltímetro;
- ★ Amperímetro;
- ★ Fuente de alimentación c.c.;
- ★ Espectroscopio (red de difracción calibrada).



3. Fonamentació : Principis físics involucrats i la seua relació amb aplicacions tecnològiques

Propiedades de la Luz:

La luz está compuesta por ondas electromagnéticas de diversas frecuencias que nosotros observamos como colores. Sin embargo, a la vez que las frecuencias específicas de luz se comportan como ondas, también se comportan como paquetes de energía sin masa, conocidos como fotones. Existe una relación entre la energía de un fotón y el color (frecuencia) de la onda electromagnética que representa: $E = h \cdot f$ (donde E es la energía, h es la constante de Planck y f es la frecuencia de la luz).

Otra propiedad de la luz que usamos en nuestra práctica es la difracción. Si una onda pasa a través de un agujero/obstáculo de tamaño similar (o mayor) que la longitud de onda de la onda, esta se difractará. Lógicamente, el ángulo de difracción depende de la longitud de onda. Por lo tanto, si una luz monocromática, con una longitud de onda, atraviesa una red de difracción (red con huecos de tamaño microscópico), la luz se difractará en ángulos específicos. Nuestro espectroscopio aprovecha de este principio para indicarnos la longitud de onda de la luz emitida por los LEDs al proyectar los colores sobre una escala calibrada.

Propiedades de los Semiconductores:

Un semiconductor es un material con una resistencia más alta que los buenos conductores, pero más baja que los aislantes. Esto es debido a que los electrones se distribuyen energéticamente en una banda de valencia y en una banda de conducción, existiendo entre ambas una banda prohibida. A temperatura ambiente tan sólo algunos de los electrones de la banda de valencia tienen energía suficiente para pasar a la banda de conducción. En este proceso, se deja un "agujero" en la banda de valencia que veremos como una carga positiva virtual. La cantidad de electrones en la banda de conducción, ó de agujeros en la banda de valencia, se puede controlar mediante el 'dopaje' del semiconductor. Así hablamos de semiconductores de tipo-N, en los que los electrones son los portadores de carga mayoritarios. Y de semiconductores tipo-P, en la que los huecos son los portadores de carga mayoritarios. Ejemplos de materiales semiconductores utilizados en la fabricación de LEDs son el AsGa, PGa y PAsGa.

¿Qué es un LED?

Un LED (*Light Emission Diode*) es el resultado de juntar estos dos tipos de semiconductores dopados; la mayor cantidad de electrones en la zona dopada de tipo N, por difusión, rellenan los huecos de la zona dopada de tipo P hasta que se crea una zona de depleción en la que no queda ninguna carga móvil. Por lo tanto, en esta banda, el lado P está cargado negativamente y el lado N está cargado positivamente, impidiendo que haya un movimiento de cargas entre ellos (los electrones del lado N sienten una repulsión de la carga negativa del lado P). Si se aplica una diferencia de potencial suficientemente grande entre estos semiconductores se puede superar la repulsión, pero esto tiene un precio energético. Si la cantidad total de energía de los electrones (la suma de la energía cinética natural y la energía aportada) supera la necesaria para cruzar la junta NP, al cruzar la junta, los electrones bajarán a un nivel de energía menor, emitiendo así un fotón con energía ($E = h \cdot f$) igual a la necesaria para cruzar el salto que acaba de hacer, produciendo luz. Conociendo la mínima diferencia de potencial necesaria para que esto ocurra, podemos encontrar la mínima energía necesaria para cruzar la junta NP (y, por lo tanto, la energía de los fotones emitidos) usando $E = V_a \cdot e$ (donde E es la energía, V_a es el voltaje de activación y e es la carga del electrón). Este proceso no va a ser completamente radiativo, por lo que aplicando el principio de conservación de la energía, tendremos:

$$e \cdot V_a = h \cdot f + C \quad (1)$$

donde C es la cantidad de energía 'perdida' de forma no radiativa en la unión N-P.

FITXA DEL PROJECTE - 2018

4. Funcionament i Resultats: observacions i mesures.

Medida del voltaje de activación de los LEDs

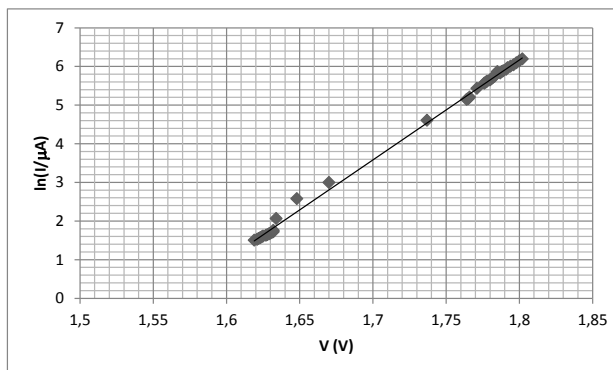
Empleando el montaje expuesto arriba, variamos la resistencia del circuito usando la resistencia variable con el fin de medir la respuesta $I = I(V)$ de los LEDs. Los datos ajustan muy bien a una exponencial. Tomando el ' $\ln(I) = f(V)$ ', tal y como se muestra en la figura de la derecha, obtenemos un buen comportamiento lineal. Así, para la obtención del voltaje de activación hemos utilizado el siguiente criterio:

* En primer lugar hemos llevado a cabo un ajuste exponencial de los puntos experimentales para comprobar que estos se ajustan bien a dicha curva.

* Seguidamente hemos tomando el ' $\ln(I)$ ' y lo hemos representado en función del voltaje, obteniendo la ecuación del ajuste lineal.

* La obtención del voltaje de activación se ha llevado a cabo matemáticamente empleando la ecuación del ajuste lineal.

Hemos tomado un valor de la corriente de $2 \mu A$ (que es la corriente para la cual nuestros LEDs presentan una intensidad luminosa muy baja) y hemos despejado V_a . El error se ha calculado mediante la propagación de los errores experimentales.



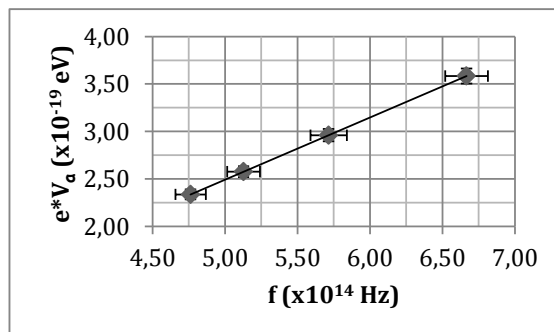
Medida de la longitud de onda de los LEDs

Hemos utilizado un espectroscopio muy sencillo: EISCO High resolution Quantitative Spectroscope, 400-700 nm +/- 5nm. Tal y como hemos descrito antes, es simplemente una red de difracción que proyecta los diferentes colores sobre una escala calibrada. En nuestras observaciones hemos podido comprobar que los diferentes LEDs emiten luz no solamente en el color que el fabricante propone. Nuestra decisión, debido a que las longitudes de onda residuales son menos intensas, ha sido centrarnos en medir la longitud de onda del color propuesto por el fabricante con una precisión de +/-10nm.

Obtención de la Constante de Planck:

En la tabla de abajo mostramos un resumen de los valores experimentales obtenidos para la longitud de onda y los voltajes de activación de nuestros LEDs. Por otro lado, teniendo en cuenta la ecuación (1), vemos que existe una relación lineal entre $e \cdot V_a$ y f , que hemos podido comprobar que se cumple en la gráfica de más abajo, donde hemos incluido barras de error para nuestros valores experimentales y la recta de regresión lineal.

	$\lambda \pm \varepsilon(\lambda)$ (nm)	$V_a \pm \varepsilon(V_a)$ (V)
Azul	450 ± 10	2.24 ± 0.05
Verde	525 ± 10	1.85 ± 0.05
Amarillo	585 ± 10	1.65 ± 0.05
Rojo	630 ± 10	1.46 ± 0.05



De nuestra regresión lineal obtenemos un valor de la constante de Planck: $h = (6.55 \pm 0.15) \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, valor con alrededor de un 2% de error y perfectamente comparable con el valor de la constante de Planck de la bibliografía ($6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$). La ordenada en el origen es de $(-8 \pm 1) \times 10^{-20} \text{ eV}$, valor claramente diferente de cero. Esto estaría de acuerdo con las pérdidas energéticas en la unión N-P mencionadas antes (ver ecuación 1).

5. Conclusions

Con esta sencilla experiencia, la cual emplea las nuevas tecnologías LEDs que cada vez más encontramos en nuestra vida diaria, hemos podido encontrar el valor de una constante universal tal y como es el de la constante de Planck, la cual juega un papel fundamental en el mundo microscópico y dio lugar a una nueva disciplina de la física a principios del siglo XX: la mecánica cuántica. El valor obtenido, dentro del 2% de error que posee, está en perfecto acuerdo con el valor tabulado de la misma. Las fuentes de error más considerables en nuestra opinión son dos. Por un lado la medida de la longitud de onda de nuestros LEDs, que se ha llevado a cabo con un espectroscopio muy sencillo. Una mejora, que por desgracia no ha estado a nuestro alcance, hubiera sido el empleo de un espectroscopio que además de darnos las longitudes de onda nos hubiera dado la intensidad de las mismas (por ejemplo los de marca OCEAN), ya que con nuestro sencillo espectroscopio hemos podido observar colores no mencionados por el fabricante, y nuestra aproximación ha sido descartarlos por no ser muy intensos. Aun así parte de la energía eléctrica se ha perdido en estas longitudes de onda residuales, claramente afectando al valor medio menor de la constante de Planck obtenido por nosotros. Por otro lado, siendo la principal fuente de error, es la obtención del voltaje de activación de los LEDs, cuya medida al fin y al cabo depende del criterio empleado y es bastante subjetivo. Esto es lo que hace que este método para la obtención de la constante de Planck no sea extremadamente preciso, aunque nos gustaría destacar el hecho de que utilizando este modelo aproximado aún obtenemos un correcto orden de magnitud y una cifra significativa correcta para el valor de la constante de Planck.

6. Bibliografía

Valor aceptado de la constante de Planck: https://es.wikipedia.org/wiki/Constante_de_Planck
Idea: <http://www.scienceinschool.org/2014/issue28/planck>