

Prueba experimental. Fosforescencia

OBJETIVO

Algunas moléculas, después de haber sido excitadas con radiación electromagnética en la región visible o ultravioleta, emiten durante un tiempo radiación de mayor longitud que la absorbida durante la excitación. Este fenómeno se denomina *fosforescencia*.

En 1867 Edmond Becquerel (padre de Henri Becquerel, el descubridor de la radiactividad) propuso una expresión empírica que establecía la intensidad luminosa emitida por una sustancia fosforescente en función del tiempo. La expresión puede escribirse del siguiente modo:

$$I = \frac{I_0}{\left(1 + \frac{t}{\tau}\right)^b} \quad (1)$$

Donde I_0 es la intensidad inicial, I es la intensidad que muestra en un instante t , posterior al cese de la excitación, τ es un parámetro que tiene unidades de tiempo e indica la rapidez con que decae la intensidad y b es otro parámetro que depende de la sustancia.

El objetivo de la prueba es determinar experimentalmente los valores de los parámetros τ y b .

MATERIAL



FUNDAMENTO TEÓRICO

Una sustancia fosforescente que se encuentra en el interior de una cámara se excita con la luz de un led blanco. Al apagar el led, la medida de la intensidad luminosa emitida por la sustancia fosforescente se realiza con un fototransistor montado en un circuito con una resistencia y una pila (Fig. 1).

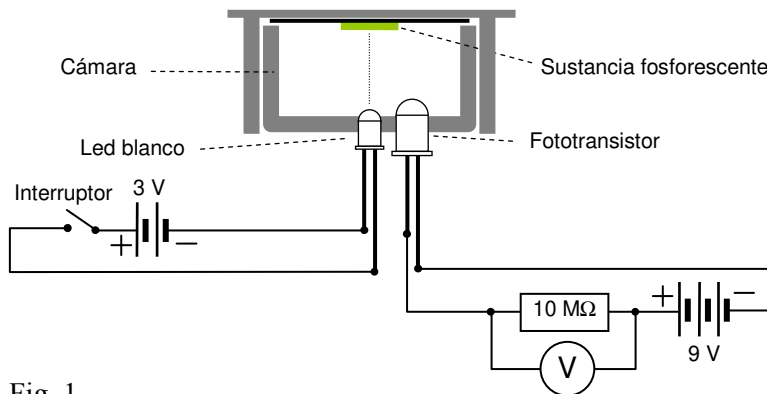


Fig. 1

La diferencia de potencial entre los extremos de la resistencia es directamente proporcional a la intensidad luminosa, por lo que la expresión (1) puede escribirse así:

$$V = \frac{V_0}{\left(1 + \frac{t}{\tau}\right)^b} \quad (2)$$

donde V_0 es la diferencia de potencial que corresponde a la intensidad luminosa inicial y V la diferencia de potencial en un instante t .

La expresión (2) puede reescribirse en la forma:

$$V = \frac{V_0 \tau^b}{(t + \tau)^b},$$

o bien:

$$V(t + \tau)^b = V_0 \tau^b \quad (3)$$

Cuando se inicia la toma de medidas en un instante t_1 , en el que el voltímetro marca V_1 , se tiene que:

$$V_1(t_1 + \tau)^b = V_0 \tau^b \quad (4)$$

Si los sucesivos tiempos de medida, t , son mucho mayores que τ , ($t \geq t_1 \gg \tau$) la expresión (3) puede aproximarse a:

$$V t^b \approx V_0 \tau^b \quad (5)$$

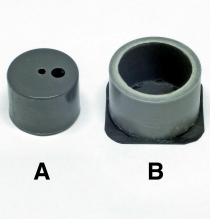
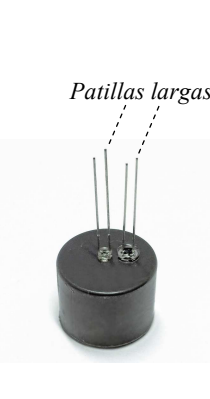
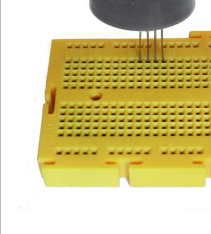
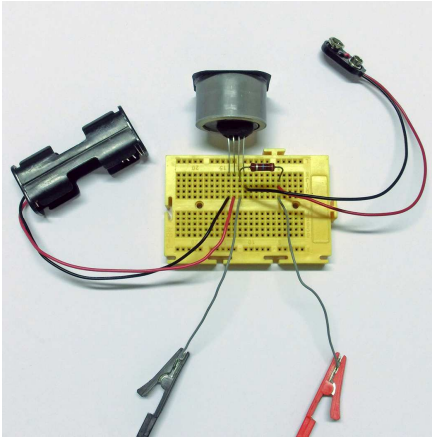
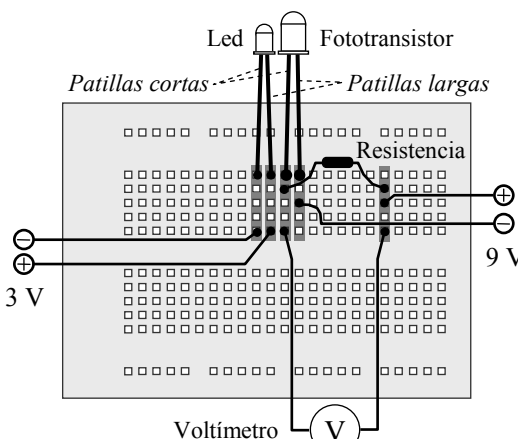
Sustituyendo (4) en (5) se tiene:

$$V_1(t_1 + \tau)^b = V t^b,$$

o bien:

$$\frac{V}{V_1} = \left(\frac{t_1 + \tau}{t}\right)^b \quad (6)$$

MONTAJE

 A B	1. La cámara para estudiar la fosforescencia consta de una pieza cilíndrica, A, con dos orificios, que se introducirá después en otra pieza cilíndrica, B.		4. Poner el cuadrado de cartulina negra que contiene la muestra fosforescente en el interior de la pieza B, con la parte fosforescente hacia fuera.
 <i>Patillas largas</i>	2. En el orificio central de la pieza A se inserta completamente el led (3 mm de diámetro) y en el orificio lateral se inserta el fototransistor (5 mm de diámetro). Las patillas cortas y largas de los dos componentes quedarán en el orden que muestra la figura.		5. Introducir la pieza A en el interior de la pieza B.
	3. Se cubre totalmente la parte exterior de los dos componentes eléctricos con un poco de plastilina. De este modo, se impide que llegue luz alguna a los mismos.		6. Insertar en la placa de pruebas las patillas de la cámara.
	 Diagram labels: Led, Fototransistor, Patillas cortas, Patillas largas, Resistencia, 3 V, 9 V, Voltímetro, V.		7. Completar el montaje de los circuitos, de acuerdo con el esquema de la figura 1.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Disponga el equipo según lo indicado en “Montaje”, excluyendo de momento el paso 4, es decir, sin introducir la muestra fosforescente en la cámara. Asegure de haber montado los circuitos según lo indicado en el paso 7 de “Montaje” para que el led no esté conectado accidentalmente a la pila de 9 V. Inserte la pila de 9 V en su portapilas y las dos pilas de 1,5 V en el suyo.

Ponga el voltímetro en la escala de 20 V y pulse su botón de encendido. Si retira la pieza B de la cámara tendrá que ver encendido el led y el voltímetro marcará aproximadamente 9 V, debido a la luz ambiente que incide en el fototransistor. Si el voltímetro no marca correctamente, asegure de que las patillas de todos los componentes hacen buen contacto.

Ponga nuevamente en su posición la pieza B con la muestra fosforescente (paso 4 del “Montaje”) y retire uno de los cables que van del portapilas de 3 V a la placa de pruebas, con el fin de apagar el led.

2. Excitación de la muestra. Conecte a la placa de pruebas el cable del portapilas que se desconectó en el paso anterior, y al mismo tiempo ponga en marcha el cronómetro. El led blanco deberá excitar la muestra fosforescente durante 2 min, aproximadamente. Como no se trata de un tiempo exacto, corte el cronómetro por ejemplo 15 s antes de apagar el led y póngalo a cero, con el fin de tenerlo preparado para la siguiente actuación.

Para finalizar la excitación, desconecte el led extrayendo de la placa de pruebas el anterior cable del portapilas de 3 V y, simultáneamente, ponga en marcha el cronómetro.

3. Toma de datos. En los primeros segundos las indicaciones del voltímetro descienden con tal rapidez que es prácticamente imposible tomar datos. Tome la primera medida, V_1 , para un tiempo $t_1 = 60$ s y continúe tomando medidas, V , a intervalos de 5 s, hasta finalizar en 130 s. Es recomendable situar el cronómetro muy cerca del voltímetro para ver simultáneamente las dos pantallas y tomar las lecturas.

Traslade todos los datos a una tabla como la siguiente:

Nº medida	t (s)	V (V)
1	60	
2	65	
...	...	

4. Transforme la ecuación (6) para obtener una dependencia lineal entre una función de V/V_1 y una función de t .

5. Con el fin de incluir las funciones obtenidas en el apartado 4, amplíe la tabla del apartado 3, como se muestra a continuación:

Nº medida	t (s)	V (V)	V/V_1	Función de t	Función de V/V_1
1	60				
2	65				
...	...				

6. Represente gráficamente en papel milimetrado los puntos correspondientes a la dependencia lineal esperada, con la función de t en abscisas.

7. Determine la pendiente, p , y la ordenada en el origen, a , de la recta que mejor se ajusta a esos puntos.

8. A partir de la pendiente y de la ordenada en el origen, determine el valor de los parámetros b y τ .

9. Haga una estimación de la incertidumbre del parámetro b .

Prueba experimental. SOLUCIÓN

Apartado 3. (3 puntos)

Nº medida	t / s	V / V
1	60	0,72
2	65	0,68
3	70	0,63
4	75	0,59
5	80	0,55
6	85	0,52
7	90	0,49
8	95	0,47
9	100	0,44
10	105	0,42
11	110	0,40
12	115	0,38
13	120	0,37
14	125	0,35
15	130	0,34

Apartado 4. (3 puntos)

$$\frac{V}{V_1} = \left(\frac{t_1 + \tau}{t} \right)^b \quad (6)$$

Tomando logaritmos en la expresión (6), se tiene:

$$\ln \frac{V}{V_1} = b \ln(t_1 + \tau) - b \ln t \quad (7)$$

De modo que al representar $\ln \frac{V}{V_1}$ frente a $\ln t$ se obtendrá una línea recta en la que:

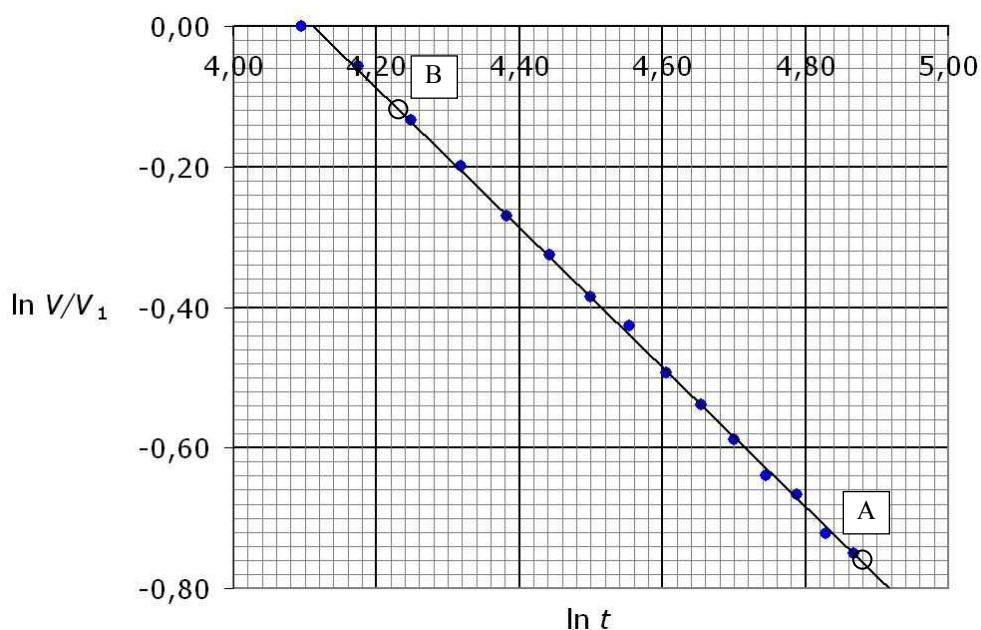
Pendiente, $p = b$

Ordenada en el origen $= b \ln(t_1 + \tau)$

Apartado 5. (3 puntos)

Nº medida	t / s	V / V	V / V_1	$\ln t$	$\ln (V / V_1)$
1	60	0,72	1,000	4,094	0,000
2	65	0,68	0,944	4,174	-0,057
3	70	0,63	0,875	4,248	-0,134
4	75	0,59	0,819	4,317	-0,199
5	80	0,55	0,764	4,382	-0,269
6	85	0,52	0,722	4,443	-0,325
7	90	0,49	0,681	4,500	-0,385
8	95	0,47	0,653	4,554	-0,427
9	100	0,44	0,611	4,605	-0,492
10	105	0,42	0,583	4,654	-0,539
11	110	0,40	0,556	4,700	-0,588
12	115	0,38	0,528	4,745	-0,639
13	120	0,37	0,514	4,787	-0,666
14	125	0,35	0,486	4,828	-0,721
15	130	0,34	0,472	4,868	-0,750

Apartados 6 y 7. (3 puntos) y (3 puntos)



Resolución “manual”.

Se toman dos puntos de la recta, A y B, suficientemente separados:

A (4,88, -0,76)

B (4,23, -0,12)

De donde se obtiene la ecuación de la recta: $y = -0,985x + 4,049$

Pendiente, $p = -0,985$
 Ordenada en el origen, $a = 4,049$

Apartado 8. (2 puntos)

$$0,985 = b$$

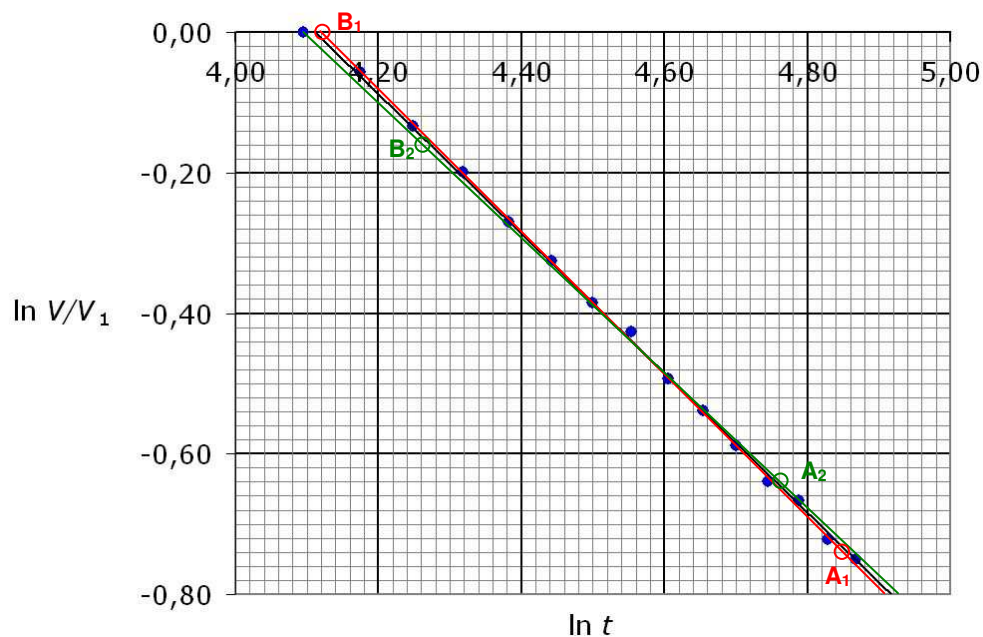
$$4,049 = 0,985 \ln(60 + \tau)$$

$$b = 0,985; \tau = 1,09 \text{ s}$$

Resolución analítica de los apartados 7 y 8.

$$y = -0,994x + 4,084; \text{ que conduce a los valores: } b = 0,994; \tau = 0,61 \text{ s}$$

Apartado 9. (3 puntos)



Se trazan líneas de máxima y mínima pendiente.

Línea de máxima pendiente: $A_1(4,85, -0,74)$; $B_1(4,12, 0,00)$; $p_1 = -1,013$; $b_1 = 1,013$

Línea de mínima pendiente: $A_2(4,76, -0,64)$; $B_2(4,26, -0,16)$; $p_2 = -0,960$; $b_2 = 0,960$

$$\Delta b = \frac{b_{\max} - b_{\min}}{2} = \frac{1,013 - 0,960}{2} = 0,027$$

$$\Delta b = 0,03; \quad b = 0,99 \pm 0,03$$

Resolución analítica

$$b \pm \Delta b = 0,994 \pm 0,008$$