

LVII OLIMPIADA FIZYCZNA (2007/2008). Stopień I, zadanie doświadczalne – D1.

Źródło:	Andrzej Wysmołek – plik; Komitet Główny Olimpiady Fizycznej.
Autor:	Andrzej Wysmołek – Komitet Główny Olimpiady Fizycznej
Nazwa zadania:	Chemiluminescencja – świecenie kapsułki wędkarskiej
Działy:	Fotometria, elektryczność
Słowa kluczowe:	dioda, natężenie światła, napięcie, bateria, obwód, miernik elektryczny, stoper

Zadanie doświadczalne – D1, zawody I stopnia, część 2, LVII OF.

Masz do dyspozycji:

- kapsułkę świecącą, wykorzystującą zjawisko chemiluminescencji, używaną przez wędkarzy do oświetlania sławików,
- diodę świecącą,
- baterię 1,5 V lub 4,5 V,
- folię aluminiową,
- taśmę izolacyjną,
- cyfrowy miernik uniwersalny z woltomierzem napięcia stałego,
- stoper,
- przewody, zaciski itp. elementy umożliwiające zestawienie obwodu elektrycznego.

- 1) Wyznacz przebieg funkcji $\frac{I(t)}{I(0)}$, gdzie $I(t)$ oznacza natężenie światła emitowanego przez kapsułkę po czasie t od rozpoczęcia eksperymentu. Odpowiednie pomiary wykonaj w czasie pierwszych 100 minut od momentu, w którym kapsułka zacznie emitować światło. Sprządź wykres uzyskanej zależności czasowej.
- 2) Sprawdź czy uzyskaną zależność czasową można opisać wzorem:

$$\frac{I(t)}{I(0)} = e^{-t/\tau},$$

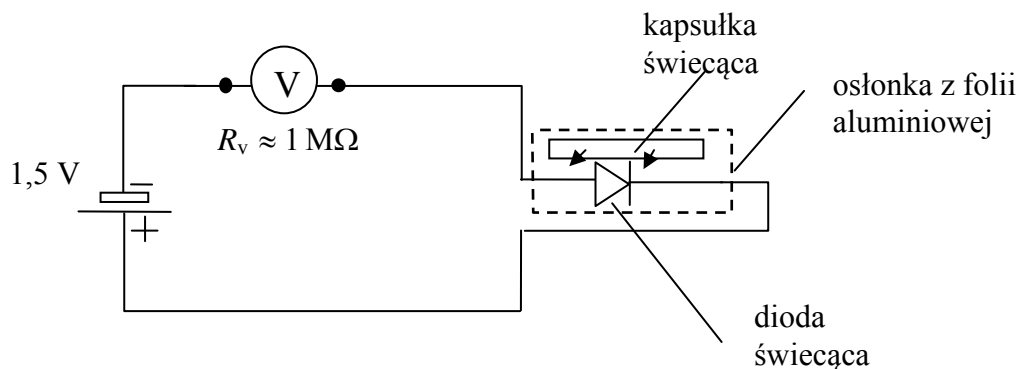
gdzie τ – czas zaniku.

Uwaga:

- 1) Jeśli do diody świecącej przyłożyć napięcie w kierunku zaporowym, to natężenie płynącego przez diodę prądu będzie proporcjonalne do natężenia padającego na nią światła.
- 2) Do doświadczenia wybierz diodę, która jest najbardziej czuła na światło emitowane przez kapsułkę.
- 3) Kapsułki chemiluminescencyjne można kupić w sklepach z artykułami wędkarskimi (fotografia typowych kapsułek umieszczona jest na stronach internetowych Olimpiady Fizycznej).
- 4) Standardowe woltomierze cyfrowe mają stały, niezależny od zakresu opór wewnętrzny rzędu 1 M Ω .
- 5) Zwróć uwagę, aby nie potrząsać kapsułką po rozpoczęciu pomiarów zależności czasowej natężenia emitowanego przez nią światła.

Rozwiązanie

Zależność od czasu natężenia światła emitowanego przez kapsułkę można wyznaczyć używając diody świecącej jako detektora. Zgodnie z uwagą umieszczona w treści zadania, wystarczy oświetlić diodę spolaryzowaną w kierunku zaporowym światłem z kapsułki i badać jak zmienia się natężenie prądu przepływającego przez diodę. Natężenie prądu płynącego przez diodę jest jednak bardzo małe i przy wykorzystaniu standardowego amperomierza, dostępnego w mierniku uniwersalnym jest niewykonalne. Paradoksalnie, można do pomiaru tak małych prądów wykorzystać woltomierz, połączony szeregowo z diodą i baterią, co schematycznie przedstawiono na rys. 1. Przy takim połączeniu woltomierz zachowuje się jak bardzo czuły amperomierz – napięcie na woltomierzu jest proporcjonalne do przepływającego przez diodę prądu. Z kolei, wartość natężenia prądu płynącego przez spolaryzowaną zaporowo diodę jest proporcjonalna do natężenia światła na nią padającego. Przy oporze wewnętrznym równym $1\text{ M}\Omega$, prądowi 1 nA odpowiada napięcie 1 mV , które można odczytać bezpośrednio z wyświetlacza woltomierza. Do doświadczenia nadają się nawet najprostsze, uniwersalne mierniki cyfrowe dostępne w powszechnej sprzedaży.



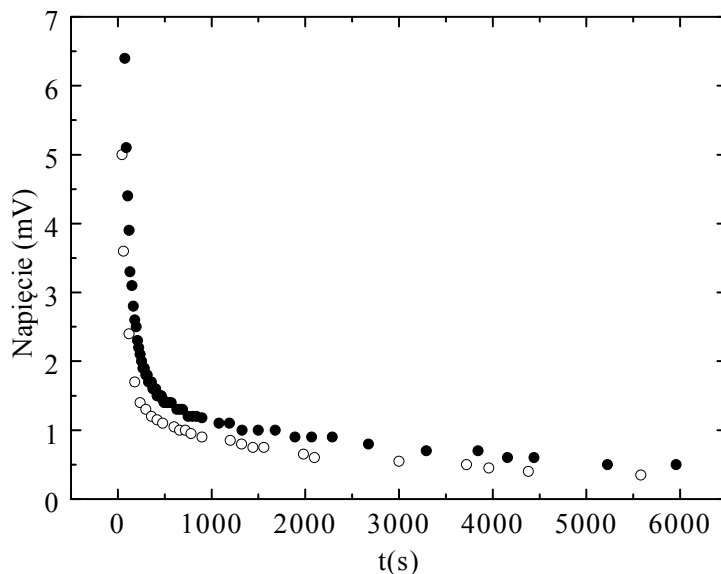
Rys. 1

Po przygotowaniu układu elektrycznego sprawdzono, że natężenie prądu przepływającego przez spolaryzowaną zaporowo diodę umieszczoną w ciemności jest tak małe, że napięcie jakie wskazał woltomierz na najczulszym zakresie (najmniejsza podziałka $0,1\text{ mV}$) wyniosło zero. Po oświetleniu diody na woltomierzu pojawiało się napięcie. Po zapoczątkowaniu reakcji chemicznej w kapsułce, szybko umieszczono ją w pobliżu diody świecącej i oba elementy zawinięto szczelnie folią aluminiową. Folia aluminiowa spełniała dwa zadania. Po pierwsze, osłaniała diodę przed światłem z zewnątrz, dzięki czemu nie było potrzebne zaciemnienie pomieszczenia, w którym wykonywano doświadczenie. Po drugie, światło emitowane przez kapsułkę odbija się wielokrotnie od folii, co znacznie (przeszło dwukrotnie) zwiększyło natężenie światła docierającego do diody. Wykonując pomiary należy zadbać o to, aby końcówki diody były odpowiednio dobrze odizolowane od siebie, a folia nie powodowała zwarców elektrycznych. Do tego celu przydatna jest taśma izolująca.

Po rozpoczęciu reakcji chemicznej notowano, w kolejnych odstępach czasu, napięcie wskazywane przez woltomierz. Odstępy czasu pomiędzy kolejnymi pomiarami należy dostosować do szybkości zaniku natężenia światła emitowanego przez kapsułkę. Na początku eksperymentu konieczne jest notowanie co $10\text{--}15\text{ s}$, a potem wystarczy robić to co kilka minut. Zgodnie ze uwagą w treści zadania podczas pomiaru nie wstrząsać kapsułką, ani jej nie naciskać, gdyż to powoduje wzrost natężenia światła emitowanego przez kapsułkę.

Wyniki uzyskane dla dwóch kapsułek z tej samej serii, przy użyciu diody czerwonej zasilanej napięciem $1,5\text{ V}$ przedstawiono na rys. 2. Ważne jest aby spośród dostępnych diod do doświadczenia wybrać tę najbardziej czułą na światło kapsułki. Chodzi o to by zakres

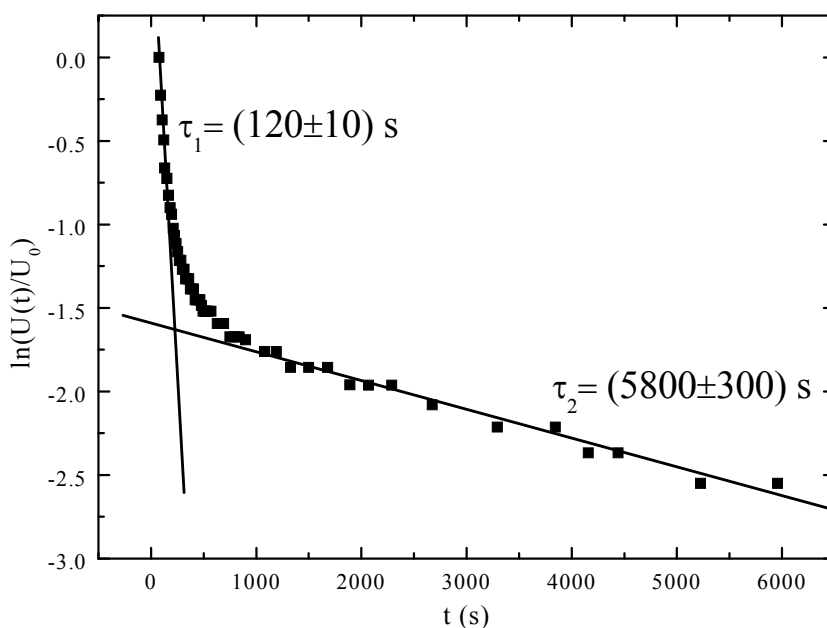
zmian napięcia na woltomierzu (proporcjonalny do natężenia światła kapsułki) był wystarczająco duży żeby zaobserwować długoczasowe zmiany natężenia światła emitowanego przez kapsułkę.



Rys. 2

Z uzyskanych danych eksperymentalnych wynika, że zależności czasowe napięcia dla obu kapsułek przez kapsułki mają podobny charakter. W początkowej fazie doświadczenia natężenie światła emitowanego przez kapsułki zmienia się szybko, a po czasie ok. 1000 s zmiany stają się wolniejsze. Obserwowana różnica pomiędzy zależnościami czasowymi obserwowanymi dla poszczególnych kapsułek może wynikać z niejednakowego ustawienia diody i kapsułki w poszczególnych eksperymentach, sposobu inicjacji reakcji chemicznej, jak również z różnic pomiędzy własnościami poszczególnych kapsułek wynikających z procesu technologicznego ich produkcji.

W celu sprawdzenia hipotezy sformułowanej w drugiej części zadania wygodnie jest zlogarytmować wartości napięcia uzyskane eksperymentalnie i nanieść je na wykres (rys. 3).



Rys. 3

Jeśli zależność czasowa natężenia światła emitowanego przez kapsułkę byłaby zgodna ze wzorem: $I(t) = I(0)e^{-t/\tau}$, to po zlogarytmowaniu punkty doświadczalne (napięcie mierzone woltomierzem) powinny ułożyć się na prostej o równaniu:

$$\ln(I(t)/I(0)) = \ln(U(t)/U(0)) = -\frac{t}{\tau} \quad (2)$$

Z wykresu przedstawionego na rys. 3, wynika, że doświadczalnie wyznaczonej zależności napięcia (a więc i natężenia światła emitowanego przez diodę) od czasu nie można opisać pojedynczą funkcją wykładniczą. Jednak można to zrobić (w przybliżeniu) dla ograniczonych przedziałów czasu. W pierwszych 2–3 minutach charakterystyczny czas zaniku wynosi $\tau_1 = 120 \pm 10$ s, podczas gdy w późniejszym okresie mamy do czynienia ze znacznie wolniejszym zanikiem, określonym w przybliżeniu stałą czasową $\tau_2 = (5800 \pm 300)$ s. Dla różnych kapsułek czas charakterystyczny dla początkowego zaniku waha się od 100 do 400 s. Dla wolniejszej składowej obserwuje się także duży rozrzut czasu charakterystycznego.

Prawidłowe rozwiązanie zadania wymaga starannego wykonania połączeń elektrycznych i dobrego osłonięcia folią układu dioda – kapsułka. Ważne jest aby diodę i kapsułkę umieścić możliwie blisko siebie w takiej konfiguracji, aby prądy płynące przez diodę były możliwie duże.

Proponowana punktacja

1. Pomysł wykorzystania woltomierza do pomiaru niewielkich natężeń prądu do 2 pkt.
2. Poprawny schemat obwodu elektrycznego umożliwiającego pomiar prądu zaporowego diody do 2 pkt.
3. Pomysł użycia folii aluminiowej w roli osłony przed światłem z otoczenia oraz zwierciadła zwiększającego natężenie światła docierającego do diody do 1 pkt.
4. Sprowadzenie badania zależności wykładniczej do badania zależności liniowej (wzór 2) do 1 pkt.
5. Wykonanie pomiarów zależności prądu płynącego przez diodę pod wpływem światła kapsułki od czasu dla pierwszych 100 minut od rozpoczęcia reakcji chemicznej do 6 pkt.
(wykonanie pomiarów - 2pkt., obserwowany zakres zmian napięcia - 2 pkt., właściwy dobór odstępów czasu pomiędzy poszczególnymi pomiarami - 2 pkt.)
6. Wykonanie wykresu zależności od czasu względnej zmiany natężenia światła emitowanego przez diodę (wystarczy skala liniowa) do 2 pkt.
7. Analiza zależności natężenia prądu diody od czasu umożliwiająca stwierdzenie, że badana zależność nie jest wykładnicza (wykres, dopasowanie prostej lub równoważna analiza danych) do 4 pkt.
8. Poprawny wniosek końcowy do 2 pkt.