

XL OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP I

Zadanie doświadczalne

ZADANIE D2

Nazwa zadania: „Światelko na tafli wody”

Mając do dyspozycji fotodiode, źródło prądu stałego (4,5V baterijkę), przewody, mikroamperomierz oraz naczynie szklane z przezroczystym dnem i o wysokości nie mniejszej niż 7-8 cm, statyw z uchwytem, źródło światła, szczelinę kołową, soczewkę skupiającą, papier milimetrový i półlogarytmiczny, zbadaj zależność natężenia światła przechodzącego przez ośrodek od grubości warstwy tego ośrodka.

Wskazówka: Przyjmij, że prąd płynący w obwodzie fotodiody jest proporcjonalny do natężenia padającego światła. Typowa fotodioda jest czuła głównie w obszarze podczerwieni. W takim przypadku proponowanym do badania ośrodkiem jest wodny roztwór niebieskiego atramentu do wiecznych piór (np. o stężeniu 25 %).

ROZWIĄZANIE ZADANIA T1

Część teoretyczna

Strumień światła o natężeniu I przechodząc przez warstwę absorbującą o grubości dx ulega osłabieniu o

$$-dI = kI dx$$

gdzie k jest stałą absorpcji. Jeżeli mamy do czynienia z warstwą pochłaniającą o skończonej grubości x , to powyższą zależność można scałkować. Dostajemy wtedy

$$\int dI / I = -k \int dx$$

a stąd

$$\ln I(x) = -kx + C$$

Stałą całkowania wyznaczamy z warunku początkowego przyjmując, że dla $x=0$ $I(0)=I_0$

a stąd ostatecznie natężenie strumienia światła po przejściu przez warstwę pochłaniającą o grubości d wynosi

$$I(d) = I_0 e^{-kd}$$

Doświadczalne zbadanie zależności $I=I(d)$ wygodnie jest przeprowadzić dla cieczy, dla której grubość warstwy możemy dowolnie zmieniać dolewając cieczy do naczynia. Pomiar natężenia światła przechodzącego można przeprowadzić używając fotodiody.

Część doświadczalna

Przyrządy i materiały użyte w doświadczeniu:

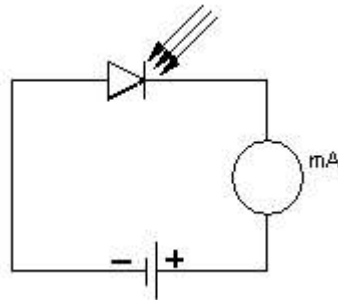
- 1) fotodioda krzemowa BPYP 22,
- 2) zasilacz prądu stałego (4,5V) lub 4,5V baterijka,
- 3) mikroamperomierz UM-112,

- 4) przewody,
- 5) atrament niebieski (produkcji chińskiej),
- 6) naczynie z płaskim, przezroczystym dnem,
- 7) statyw z uchwytami,
- 8) żarówka 6V z zasilaczem,
- 9) przesłona z otworem kołowym,
- 10) soczewka skupiająca,
- 11) papier milimetrowy i półlogarytmiczny.

Wykonanie doświadczenia

Jeżeli przyłożymy do fotodiody stałe napięcie w kierunku zaporowym to natężenie płynącego prądu będzie proporcjonalne do natężenia padającego na nią światła. Dzięki temu fotodioda dobrze nadaje się do pomiaru natężenia światła.

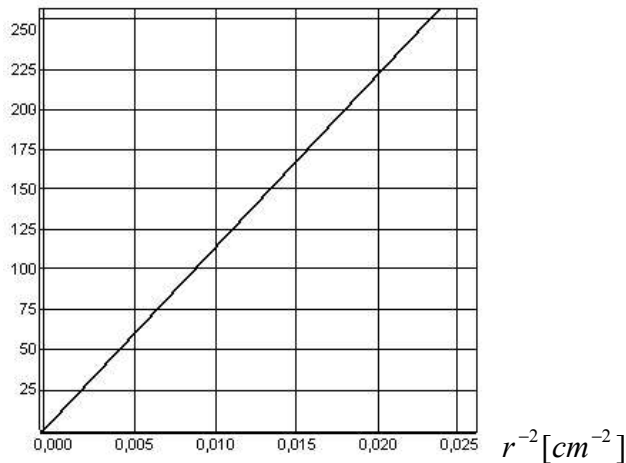
W doświadczeniu zestawiono obwód (ryc. 13) składający się z fotodiody krzemowej BPYP 22, baterijki 4,5V i mikroamperomierza UM-112, który służył do pomiaru natężenia prądu fotodiody. Prąd ciemny, tj. bez oświetlenia wynosił $1 \mu\text{A}$.



ryc. 13

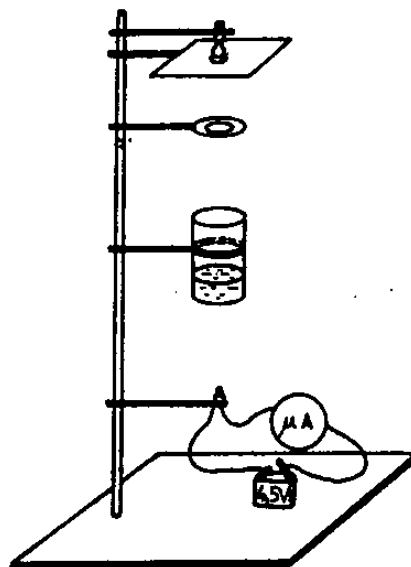
W pierwszej części doświadczenia dobrze jest (ale nie jest to konieczne wymagane w tym zadaniu) sprawdzić liniowość zależności natężenia prądu i w obwodzie fotodiody od natężenia padającego światła. Można to zrobić mierząc natężenie prądu i dla różnych odległości r fotodiody od źródła światła. Wiemy, że punktowe źródło światła wywołuje na powierzchni znajdującej się od niego w odległości r i ustawionej pod stałym kątem do kierunku padania światła natężenie oświetlenia, które jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu tej odległości. Dobrym przybliżeniem punktowego źródła światła jest otworek zrobiony w folii aluminiowej i oświetlony żarówką. Zmierzono natężenie prądu i w obwodzie fotodiody oświetlonej takim źródłem światła dla kilkunastu odległości r pomiędzy fotodiody a źródłem. Wykres zależności natężenia prądu i od odwrotności kwadratu odległości r^2 przedstawia linię prostą (ryc. 14), a więc natężenie prądu fotodiody jest proporcjonalne do natężenia oświetlenia jej powierzchni.

$$I[\mu\text{A}]$$



Ryc. 14

W celu zbadania zależności natężenia światła przechodzącego przez warstwę roztworu od grubości tej warstwy zestawiono układ pomiarowy pokazany na ryc. 15. Jako źródło światła użyto przysłony kołowej (o otworze mniejszym od średnicy żarówki) oświetlonej 6V żarówką umieszczoną w ognisku soczewki. Wiązka światła wybiegająca z ogniska po przejściu przez soczewkę jest wiązką równoległą. Tak skolimowaną wiązkę skierowano do naczynia o przezroczystym dnie zawierającego badany roztwór. Pod naczyniem umieszczono fotodiode. Pomiary powinny być przeprowadzone w ciemności lub należy osłonić fotodiode od światła padającego z boku, co jest szczególnie ważne przy małych natężeniach światła.



ryc.15

Jako ośrodka pochłaniającego światła użyto wodnego niebieskiego atramentu do wiecznych piór (stężenie 25%). Grubość warstwy zwiększono dolewając roztworu do naczynia. Do pomiaru grubości warstwy używano paska papieru milimetrowego. Pomiar rozpoczęto od pewnej początkowej grubości warstwy cieczy w naczyniu 0,5 cm, aby ustalić warunki związane z pochłanianiem światła przez naczynie, a także odbiciem światła od obu powierzchni cieczy. Dalsze zwiększenie grubości warstwy nie powinno zmieniać tych warunków. Zwiększając stopniowo grubość warstwy

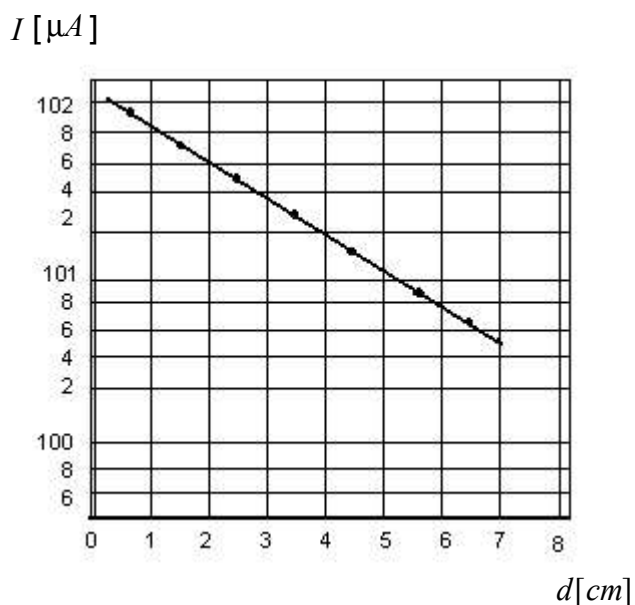
roztworu (za każdym razem o 0,5 cm) rejestrowano wskazanie mikroamperomierza w obwodzie fotodiody.

Otrzymane wyniki przedstawione w tabeli II odłożono na papierze półlogarytmicznym (ryc. 16).

Tabela II

$d[cm]$	$I[\mu A]$
0.5	82
1.0	67
1.5	51
2.0	42
2.5	34
3.0	27
3.5	22
4.0	17
4.5	14
5.0	11
5.5	9
6.0	7

Punkty doświadczalne dobrze układają się na linii prostej, a więc zgodnie z przewidywaniami teorii natężenie światła maleje eksponentalnie ze wzrostem grubości warstwy pochłaniającej. Dopasowując do punktów doświadczalnych prostą metodą najmniejszych kwadratów wyznaczono stałą absorpcji k , która w tym przypadku (25% roztworu niebieskiego atramentu produkcji chińskiej) wynosiła $k = (0,45 \pm 0,02)cm^{-1}$. Błąd stałej k oszacowano z nachylenia prostej o najmniejszym i największym nachyleniu.



ryc. 16

Ocena błędów

Wielkości mierzone obarczone są błędem pomiarowym związanym z dokładnością użytych przyrządów:

$$\delta(d) = 0,05\text{cm}, \quad \delta(I) = 1\mu\text{A}.$$

Dodatkowo występują błędy systematyczne np. błąd wynikający z niedokładnego skolimowania wiązki powodującego zmianę pola powierzchni oświetlonej wiązką przechodzącą przy zmianie grubości warstwy, błąd wynikający z nieliniowości fotodiody. Błąd pomiaru grubości warstwy roztworu związany z występowaniem menisku można prawie całkowicie wyeliminować.

Zasady punktacji

Proponujemy następującą punktację:

- do 4 punktów za część teoretyczną
- do 10 punktów za część doświadczalną

Część teoretyczna:

- | | |
|---|--------------|
| 1) Wykorzystanie prawa pochłaniania światła | do 2 punktów |
| 2) Zaproponowanie metody pomiaru $I = I(d)$ | do 2 punktów |

Część doświadczalna:

- | | |
|---|--------------|
| 1) Opis metody: | |
| a) obwód fotodiody i ewentualnie sprawdzenie jej liniowości | do 3 punktów |
| b) układ do pomiaru $I = I(d)$ i warunki konieczne przy wykonywaniu doświadczenia | do 3 punktów |
| 2) Pomiary | do 3 punktów |
| 3) Analiza otrzymanej zależności $I = I(d)$ | do 2 punktów |
| 4) Ocena błędów | do 2 punktów |

Źródło:
Zadanie pochodzi z „Druk OF”

Komitet Okręgowy Olimpiady Fizycznej w Szczecinie
www.of.szc.pl