

LXIX OLIMPIADA FIZYCZNA

ZAWODY II STOPNIA

CZEŚĆ DOŚWIADCZALNA, 16.02.2020

Za zadanie można otrzymać maksymalnie 40 punktów.

Natężenie I wiązki światła biegnącego przez ośrodek maleje wraz z pokonywaną odległością x zgodnie ze wzorem:

$$I(x) = I_0 \cdot 2^{-\frac{x}{L_{1/2}}},$$

gdzie I_0 jest natężeniem początkowym, a parametr $L_{1/2}$ oznacza drogę, po jakiej natężenie światła maleje o połowę.

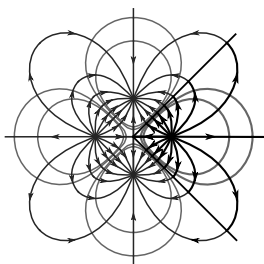
Masz do dyspozycji:

- mleko,
- wodę,
- przezroczyste, cylindryczne naczynie,
- wyskalowaną strzykawkę 1 ml,
- wyskalowaną strzykawkę 50 ml,
- diodę świecącą LED w kolorze czerwonym, w bezbarwnej obudowie,
- diody świecące LED w kolorze czerwonym, zielonym oraz niebieskim,
- zasilacz napięcia stałego regulowanego,
- woltomierz o stałym oporze wewnętrznym równym $1\text{ M}\Omega$,
- linijkę,
- statywy (pudełka od zapalek) i przewody umożliwiające zestawienie układu pomiarowego,
- czarną taśmę klejącą.

Wyznacz wartości $L_{1/2}$ dla światła o różnych kolorach – czerwonym, zielonym i niebieskim, rozpraszanego w czystym mleku. Załóż, że parametr ten jest odwrotnie proporcjonalny do zawartości mleka w mieszaninie mleka i wody (ilorazu objętości mleka i całkowitej objętości mieszaniny).

Wskazówka 1: Dioda LED, do której przyłożone jest napięcie w kierunku zaporowym, może zostać wykorzystana jako miernik natężenia światła. Padające na nią światło powoduje przepływ prądu o natężeniu proporcjonalnym do natężenia światła. Wartości natężenia prądu płynącego przez diodę w kierunku zaporowym są rzędu nanoamperów.

Wskazówka 2: Przekroczenie maksymalnych parametrów pracy diody LED może doprowadzić do jej uszkodzenia. W przypadku polaryzacji przewodzenia maksymalne natężenie prądu wynosi 20 mA, co odpowiada napięciu 2,4 V dla diody czerwonej oraz 3,3 V dla diod zielonej i niebieskiej. W przypadku polaryzacji zaporowej maksymalne napięcie wynosi 5 V.



LXIX OLIMPIADA FIZYCZNA

ROZWIĄZANIA ZADAŃ ZAWODÓW II STOPNIA

CZEŚĆ DOŚWIADCZALNA

Rozwiązanie zadania

Część teoretyczna

Zgodnie treścią zadania natężenie światła, które przeszło przez dany ośrodek jest zależne wykładniczo od odległości jaką światło przebyło. Wiemy również, że parametr $L_{1/2}$ jest odwrotnie proporcjonalny do zawartości mleka w wodzie Φ . Zatem parametr $L_{1/2}$ można wyrazić jako

$$L_{1/2} = \frac{A}{\Phi}, \quad (1)$$

gdzie A jest pewną stałą, charakterystyczną dla mleka oraz danej barwy światła. Wzór (1) będzie w tej sytuacji miał postać

$$I(x, \Phi) = I_0 \cdot 2^{-x \frac{\Phi}{A}}, \quad (2)$$

lub

$$\frac{I(x, \Phi)}{I_0} = 2^{-x \frac{\Phi}{A}}. \quad (3)$$

Jeśli ośrodkiem będzie czysta woda, wtedy $\Phi = 0$. Wykładnik potęgi w wyrażeniu (1) będzie równy 0, a intensywność światła przechodzącego przez ośrodek będzie równa $I(x) = I_0$.

Należy wyznaczyć wartość $L_{1/2}$, dla $\Phi = 1$ (czyste mleko). Bezpośredni pomiar jest trudny, ponieważ $L_{1/2}^{\Phi=1}$ jest niemierzalnie małe w warunkach zadania. Drogę tę można obliczyć na podstawie wzoru (1) znajdując uprzednio eksperymentalnie stałą A dla rozcieńzonego roztworu o znanym $\Phi < 1$.

Obliczając logarytm o podstawie 2 z wyrażenia (3) otrzymujemy:

$$\log_2 \left(\frac{I(x, \Phi)}{I_0} \right) = -\frac{x}{A} \Phi, \quad (4)$$

Jeśli rozważymy sytuację, w której odległość x pokonana przez światło jest stała, a zmieniamy jedynie stężenie roztworu Φ , wtedy wyrażenie po lewej stronie znaku równości będzie zależne od Φ w sposób liniowy ze stałej proporcjonalności równą $-x/A$. Po dopasowaniu zależności liniowej do danych pomiarowych można wyznaczyć współczynnik A , a z niego $L_{1/2}^{\Phi=1} = \frac{A}{\Phi} = A$.

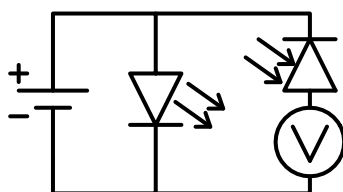
Część doświadczalna

Wielkością fizyczną, która jest mierzona w doświadczeniu, jest natężenie światła padającego na diodę po uprzednim przejściu przez mieszaninę mleka i wody. Można tego dokonać wykonując pomiar natężenia prądu na diodzie podłączonej do stałego napięcia w kierunku zaporowym. Aby dokonać takiego pomiaru, do źródła napięcia podłączona powinna zostać dioda LED w kierunku

przewodzenia. Służyć będzie ona jako źródło światła, które następnie ma przejść przez mieszaninę wody i mleka. Do zasilacza powinna zostać również dioda LED w kierunku zaporowym - będzie ona detektorem światła. Ze względu na najmniejszą wartość przerwy energetycznej, a zatem i możliwość detekcji jak największego zakresu barw do tej roli należy użyć diody czerwonej w przezroczystej obudowie. Natężenie prądu płynącego przez diodę-detektor jest proporcjonalne do rejestrowanego natężenia światła. Natężenie płynącego prądu jest bardzo małe. Małą wartość prądu można zmierzyć podłączając szeregowo z diodą woltomierz o znanym oporze wewnętrznym. Wtedy, aby wyznaczyć prąd I płynący przez obwód, należy skorzystać z prawa Ohma:

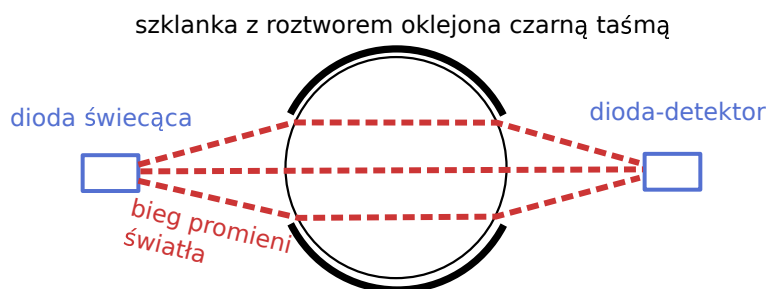
$$I = \frac{U}{R}, \quad (5)$$

gdzie U jest napięciem odczytanym z woltomierza, a R jest oporem wewnętrznym miernika.



Rysunek 1: Schemat połączeń elektrycznych w układzie pomiarowym.

Obie diody powinny być ustawione tak, żeby światło wychodzące z diody-źródła przechodziło przez naczynie z mieszaniną. Szklanka wypełniona przezroczystą cieczą jest soczewką o kształcie cylindrycznym. W związku z tym światło po przejściu przez nią będzie się skupiać na obszarze podłużnej, pionowej linii. Taśmą klejącą możemy ograniczyć szerokość skupianej wiązki, aby zapewnić podobną odległość pokonywaną w roztworze dla każdego promienia światła w wiązce (Rys. 2). Jeśli ustawimy diodę-detektor na drodze tej wiązki światła, możliwy będzie pomiar natężenia światła nierozproszonego. Przed rozpoczęciem pomiarów należy zmierzyć intensywność światła padającego na detektor pochodzącego z oświetlenia pomieszczenia. Ważnym czynnikiem wpływającym na wynik pomiaru jest możliwość wielokrotnego rozproszenia światła przed wpadnięciem do detektora. Problem ten można zminimalizować przez ograniczenie oświetlonej objętości mieszaniny do minimum, dbając jednak o to, by nie przysłonić wiązki wpadającej do detektora. Kolejnym krokiem jest osłonięcie szklanki czarną taśmą po stronie detektora. Pozwoli to na zmniejszenie rejestrowanej ilości światła wielokrotnie rozproszonego w mleku, padającego z kierunków innych niż bieg wiązki. Zauważmy, że światło rozproszone z otoczenia nie musi mieć stałej wartości gdy zmienia się stężenie mieszaniny, zatem ważne jest też zminimalizowanie ilości światła z otoczenia rozproszonego w stronę detektora przez mieszaninę.

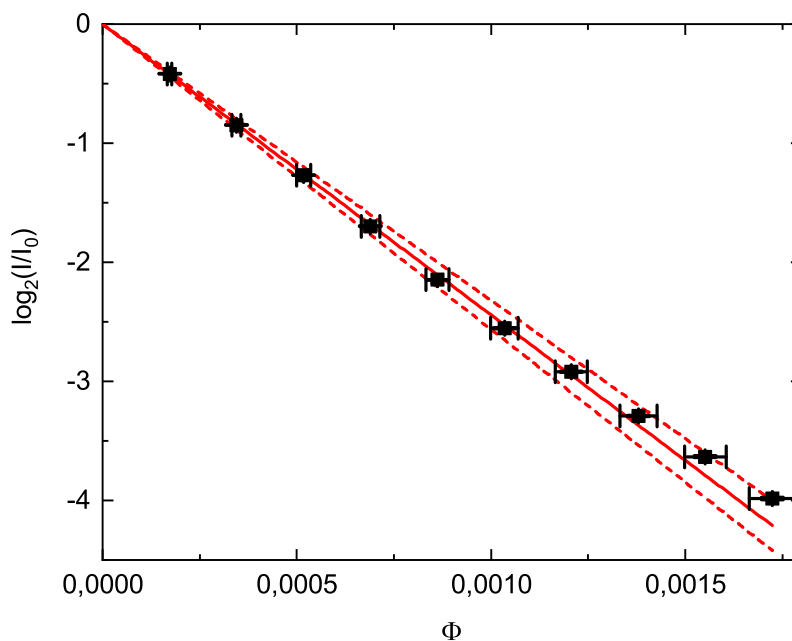


Rysunek 2: Schemat układu pomiarowego w przekroju poziomym. Szczeliny w taśmie klejącej na ścianie szklanki mają około 2 cm szerokości i kilka milimetrów wysokości.

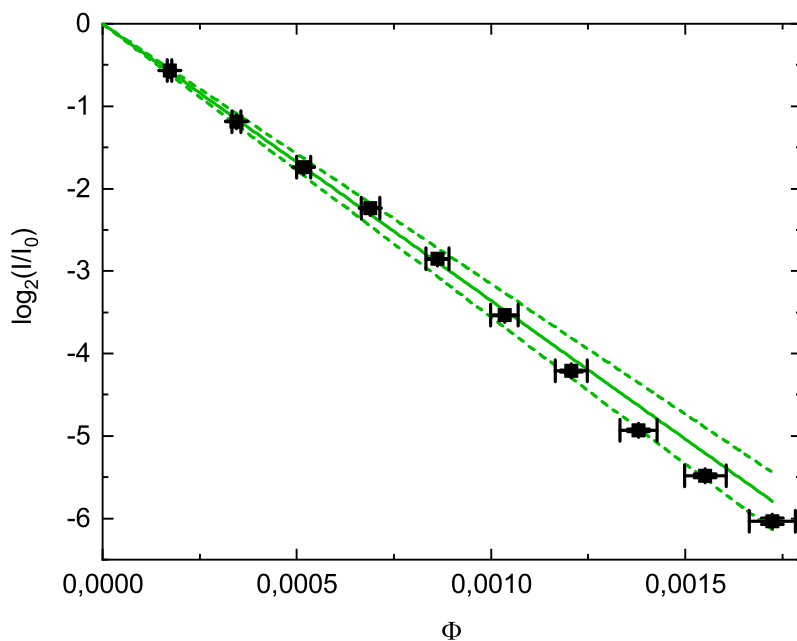
Po ustawieniu układu, do naczynia należy wlać wodę odmierając jej objętość strzykawką o pojemności 50 ml. Następnie należy dokonać pomiaru natężenia światła (prądu na diodzie-detektorze) po przejściu przez mieszaninę. Każdorazowo od zmierzonego napięcia należy odjąć wielkość sygnału tła pochodzącego od oświetlenia w pomieszczeniu. Wielkość sygnału tła dla opisywanego układu doświadczalnego wynosiła 1,5 mV. Pomiar należy powtórzyć kilkakrotnie dodając przed każdym z nich jedną kroplę mleka. Objętość kropli można wyznaczyć wypuszczając pojedyncze krople ze strzykawki napełnionej znaną objętością mleka oraz licząc krople. Znając objętości wody i dodanego mleka, można wyznaczyć objętościowe stężenie mleka w wodzie. Wyniki przykładowych pomiarów dla diod o trzech różnych kolorach zamieszczono w tabeli 1.

liczba kropeł	$\Phi \times 10^3$	U_{czerwona} (mV)	U_{zielona} (mV)	$U_{\text{niebieska}}$ (mV)
0	0	143,9	183,4	71,2
1	0,17	107,8	124,0	41,7
2	0,34	80,0	80,7	19,9
3	0,52	59,7	55,0	11,5
4	0,69	44,4	38,9	6,6
5	0,86	32,5	25,4	3,7
6	1,03	24,5	15,8	2,0
7	1,21	19,0	9,9	1,1
8	1,38	14,7	6,0	0,7
9	1,55	11,6	4,1	0,4
10	1,72	9,1	2,8	0,3

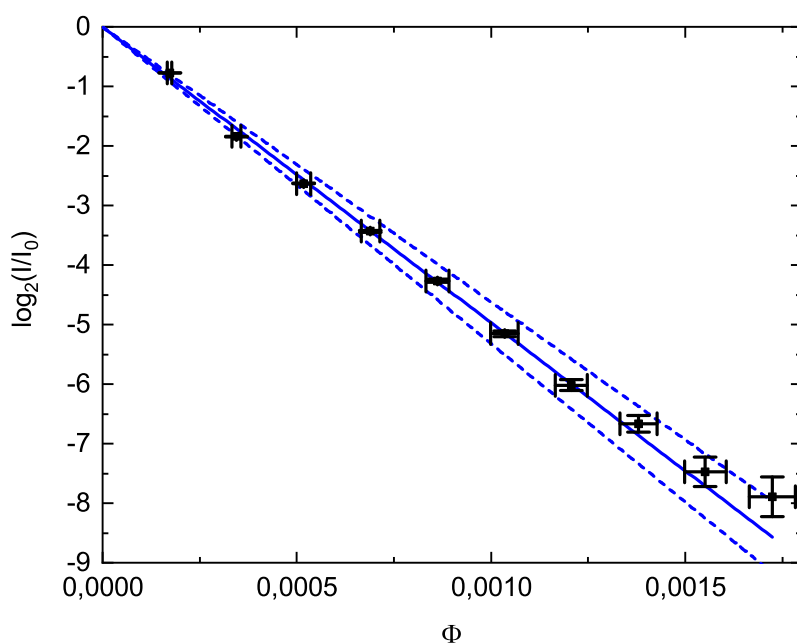
Tabela 1: Wyniki pomiarów napięcia w obwodzie detektora dla różnych zawartości mleka w wodzie. Podane wartości są wartościami po odjęciu sygnału od rozproszonego światła w pomieszczeniu.



Rysunek 3: Wyniki pomiaru dla diody czerwonej.



Rysunek 4: Wyniki pomiaru dla diody zielonej.



Rysunek 5: Wyniki pomiaru dla diody niebieskiej.

Drogę pokonywaną przez światło w roztworze dokonano linijką na środku i na skraju wiązki i uzyskano efektywny wynik (63 ± 2) mm. Za niepewność pomiaru napięcia przyjęto 0,1 mV. Objętość wody w naczyniu mierzono strzykawką o pojemności 50 ml i podziałce 1 ml. Odmierzono wodę czterokrotnie, zatem całkowita objętość wyniosła (200 ± 2) ml. Objętość strzykawki o pojemności 1 ml wyniosła (29 ± 1) kropeł, zatem objętość pojedynczej kropli wyniosła $(0,0345 \pm 0,0012)$ ml. Niepewność oszacowania rozmiaru kropli jest dominująca w obliczaniu stężenia i wynosi 3,4 %.

Do punktów pomiarowych dopasowano zależności liniowe metodą graficzną co pozwoliło na wyznaczenie wartości współczynnika kierunkowego prostej, a następnie obliczenie współczynnika

$L_{1/2}^{\Phi=1}$. Po uwzględnieniu niepewności drogi x pokonanej przez światło w naczyniu współczynnik ten wyniósł $(12,7 \pm 1,2) \mu\text{m}$ dla diody niebieskiej, $(18,8 \pm 1,6) \mu\text{m}$ dla diody zielonej oraz $(25,8 \pm 2,0) \mu\text{m}$ dla diody czerwonej.

Uwaga od sprawdzających:

Ważnym elementem rozwiązania było wyeliminowanie wielokrotnego rozproszenia światła w mleku przez zapewnienie, że mierzone jest tylko światło biegnące do detektora w postaci wąskiej wiązki bezpośrednio od diody nadawczej. Ten element rozwiązania został częściowo poruszony przez dwóch uczestników. Częstym błędem było też zmienianie geometrii biegu światła biegnącego od diody świecącej do detektora przez zmienianie odległości między diodami lub przez znaczne zmienienie ilości cieczy na drodze światła.

Punktacja zadania .

Opis pomysłu doświadczenia umożliwiającego wyznaczenie szukanej wartości $L_{1/2}$... 6 pkt.
Opis układu eksperymentalnego 3 pkt.
Uwzględnienie wpływu oświetlenia otoczenia i optymalizacja intensywności zbieranego sygnału 2 pkt.
Zastosowanie poprawnego układu elektrycznego z diodą spolaryzowaną w kierunku zaporowym 1 pkt.
Wyznaczenie punktów pomiarowych dla conajmniej 5 różnych stężeń mleka w wodzie dla każdej z diod świecących LED 4 pkt.
Zastosowanie metody dopasowania prostej wraz z niepewnością dopasowania lub użycie równoważnej metody pozwalającej na analizę systematycznych odchyłeń od modelu . 1 pkt.
Wyznaczenie $L_{1/2}$ dla każdej z barw diod wraz z dyskusją niepewności wyniku 3 pkt.