<u>Do użytku wewnętrznego</u>

Autor materiałów: Agnieszka Szymocha

Zakład Fizyki,

Uniwersytet Rolniczy

Kraków 09.2016

Ćwiczenie 48

A. Pomiary fotometryczne
Sprawdzenie fotometrycznego prawa odwrotnych kwadratów
B. Prawo absorpcji światła
Wyznaczenie krzywej absorpcji i wartości współczynnika absorpcji płytek szklanych

A. Pomiary fotometryczne
Sprawdzenie fotometrycznego prawa odwrotności kwadratów

Promieniowanie, które wywołuje u człowieka wrażenie wzrokowe, nazywamy promieniowaniem widzialnym (światłem). Zakres jego długości fal zawiera się od 380 nm do 780 nm. Skalę wrażeń dla padającego promieniowania ustala oko. Dlatego sposób funkcjonowania oka jako wybiórczego detektora widma elektromagnetycznego ma podstawowe znaczenie w fotometrii.

Fotometria jest działem fizyki zajmującym się opisem wielkości i ich związków dotyczących fal elektromagnetycznych emitowanych przez źródła światła.
Podstawowymi wielkościami opisującymi fale i ich źródła pod względem energetycznym są: moc źródła (całkowite natężenie źródła), strumień energii fali oraz natężenie fali.

Wielkości fotometryczne

Moc źródła P jest to ilość energii jaką w jednostce czasu wysyła w przestrzeń źródło fali. Wyrażamy ją w watach (W).

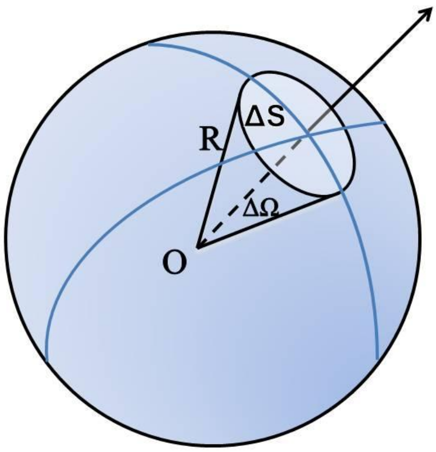
Ilość energii, jaka przepływa przez daną powierzchnię *S* w jednostce czasu, to *całkowity strumień energii* Φ_e. Podobnie jak moc źródła, mierzymy go w watach (W).

Natężenie fali E_e wyrażamy jako stosunek całkowitego strumienia energii, przechodzącego przez niewielki wycinek powierzchni, prostopadłej do kierunku promienia fali, do powierzchni tego wycinka. Jednostką natężenia fali jest W/m^2. W przypadku przedstawionym na rysunku 3, $E_e = \frac{\Phi_e}{\Delta S}$, przy założeniu, że Φ_e jest całkowitym strumieniem energii wypromieniowanym przez źródło Z_p.

Gęstość strumienia światła nie jest na ogół jednakowa we wszystkich kierunkach. Kierunkową charakterystykę źródła światła opisuje *natężenie energetyczne źródła światła* I_e definiowane jako część strumienia energii $\Delta\Phi_e$ wysyłanego przez źródło w niewielki kąt bryłowy $\Delta\Omega$:

$$\mathrm{I_e} = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta\Omega}. \tag{1}$$

Kąt bryłowy definiujemy następująco. Weźmy kulę o promieniu R i środku w punkcie O (Rysunek 2). Na powierzchni tej kuli wybieramy pewien jej fragment o powierzchni ΔS (mały wycinek). Kąt bryłowy jest to część przestrzeni ograniczona przez powierzchnię stożkową, czyli półprostymi wychodzącymi z jej wierzchołka w punkcie O i przechodzącymi przez ustaloną krzywą zamkniętą wycinającą na powierzchni kuli pole ΔS. Miarą *kąta bryłowego* $\Delta\Omega$ jest stosunek powierzchni ΔS wycinka kuli zawartego w tym kącie do kwadratu promienia kuli R: $\Delta\Omega = \frac{\Delta S}{R^2}$. Jednostką kąta bryłowego $\Delta\Omega$ jest steradian (sr).



Rysunek 2. Kąt bryłowy $\Delta\Omega$.

W zapisie różniczkowym (nieskończenie małych przyrostów) natężenie energetyczne źródła światła I_e jest pochodną strumienia po kącie bryłowym $\mathrm{I_e} = \frac{d\Phi}{d\Omega}$. Dla źródła izotropowego (emitującego we wszystkich kierunkach jednakowe natężenie światłą) natężenie wynosi $\mathrm{I_e} = \frac{\Phi}{4\pi}$, gdzie 4π to pełny kąt bryłowy, natomiast Φ jest całkowitym strumieniem świetlnym wypromieniowanym przez źródło.

Fotometria wizualna

Charakterystyka energetyczna fal elektromagnetycznych nie dostarcza informacji o subiektywnych wrażeniach wzrokowych (jasności i barwie) wywołanych działaniem światła na oko. O wrażeniach wzrokowych decyduje energia i rozkład widmowy (funkcja określająca w jaki sposób całkowita energia wypromieniowana przez źródło rozkłada się na fale o różnych częstotliwościach) widzialnej części promieniowania. Źródła światła o tym samym całkowitym natężeniu, mogą różnić się od siebie rozkładem widmowym energii promieniowania. Dlatego oceniając źródła światła na podstawie wrażeń wzrokowych używamy dodatkowych wielkości: *natężenia źródła światła* w określonym kierunku (światłość), *strumienia świetlnego* i *oświetlenia*.

Natężenie źródła światła (*światłość*) I jest to wielkość podstawowa w układzie jednostek SI. Jej jednostką jest kandela (cd). Określa się ją przez porównanie z natężeniem źródła wzorcowego. Kandela (cd) jest światłością, z jaką świeci w określonym kierunku źródło emitujące promieniowanie monochromatyczne o częstotliwości $5{,}4 \cdot 10^{14}$ Hz i wydajności energetycznej (mocy) w tym kierunku równej 1/683 W/sr (definicja używana od 1979 r.).

Strumień świetlny Φ opisuje całkowitą ilość światła promieniowaną przez źródło w przestrzeń. Wielkość tę określamy za pomocą kąta bryłowego. Jeśli w wierzchołku małego kąta bryłowego $\Delta\Omega$ (analogia do Rysunku 2) znajduje się **punktowe źródło światła**, czyli takie, które promieniuje we wszystkich kierunkach przestrzeni z równą światłością I, wówczas do oświetlonej nim powierzchni dotrze tylko jego część. Strumień światła $\Delta\Phi$ wysyłany przez to źródło w kąt bryłowy $\Delta\Omega$ wynosi:

$$\Delta\Phi = I\Delta\Omega\,. \qquad (2)$$

Jednostką strumienia świetlnego jest lumen (lm): 1lm = 1 cd ·1 sr.

Efektywność oświetlenia danej powierzchni przez źródło światła określa wielkość nazywana *natężeniem oświetlenia E*. Jest ona równa stosunkowi wielkości strumienia świetlnego $\Delta\Phi$ do wielkości powierzchni ΔS, na którą pada ono prostopadle:

$$\mathrm{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}\,. \qquad (3)$$

Jednostką wielkości E jest luks (lx): $1\mathrm{lx} = 1\mathrm{lm}/1\mathrm{m}^2$.

W przypadku punktowego źródła światła o natężeniu I, natężenie oświetlenia E elementu powierzchni ΔS, prostopadłej do strumienia świetlnego, wynosi zgodnie z równaniami (2) i (3):

$$\mathrm{E} = \frac{I\Delta\Omega}{\Delta S}\,. \qquad (4)$$

Dla przykładu w Tabeli 1 podane są natężenia światła pochodzące od różnych źródeł.

Tabela 1. Natężenie oświetlenia różnych źródeł światła.

Źródło światła	Natężenie oświetlenia [lx]
oświetlenie orientacyjne, szary zmrok	1
praca biurowa	30
oświetlenie (dobre) przy czytaniu lub pisaniu	100
oświetlenie w słoneczny dzień	1000
oświetlenie latem w południe w słońcu	100000
oświetlenie dawane przez Księżyc w pełni	0.2
powierzchni poziomej przez gwieździste niebo w nocy	$3 * 10^{-4}$

Wielkości i jednostki fotometryczne omówione powyżej zostały zebrane w Tabeli 2.

Tabela 2. Wielkości fotometryczne i ich jednostki miar w układzie SI.

energetyczne			wizualne		
wielkość	symbol	jednostka	wielkość	symbol	jednostka

		miary			miary
całkowity strumień energii	$\mathbf{\Phi_e}$	wat (W)	*strumień świetlny*	$\mathbf{\Phi}$	lumen (lm= sr ·cd)
energetyczne natężenia światła	$\mathbf{I_e}$	W/sr	*natężenie źródła światła (światłość)*	**I**	kandela (cd)
energetyczne natężenia fali	$\mathbf{E_e}$	W/m^2	*natężenia oświetlenie*	**E**	luks ($lx=lm/m^2$)

Przez porównanie oświetlenia powierzchni możemy wyznaczyć stosunek światłości źródeł światła. Do tego pomiaru służą fotometry. Wyróżnia się fotometry wizualne, w których pomiar jest porównawczy, a rejestratorem jest oko ludzkie oraz fotometry obiektywne (rejestracja elektroniczna). W użyciu są również spektrofotometry służące do badania jasności światła w funkcji długości fali świetlnej.

Prawo odwrotnych kwadratów

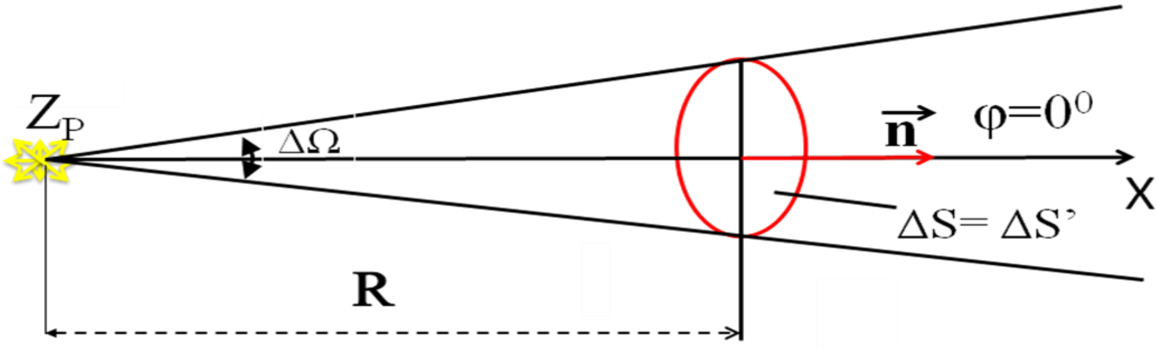
Weźmy powierzchnię ΔS, która jest oświetlona przez strumień światła (Rysunek 3a, b). Wektor normalny do tej powierzchni, czyli taki, który jest ustawiony prostopadle do niej oznaczamy przez $\vec{n}$. Wtedy wektor powierzchni definiujemy następująco: $\Delta\vec{S} = \vec{n}\Delta S$. Jeśli strumień światła pada na powierzchnię ustawioną prostopadle, czyli jest to sytuacja, gdzie wektor $\vec{n}$ jest równoległy do osi X i tworzy z nią kąt φ=0 (Rysunek 3a), wówczas natężenie E jest wprost proporcjonalne do natężenia źródła światła I i odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości R oświetlanej powierzchni od źródła (na podstawie równania (4) definicji kąta bryłowego):

$$\mathrm{E} = \frac{I}{R^2}. \qquad (5)$$

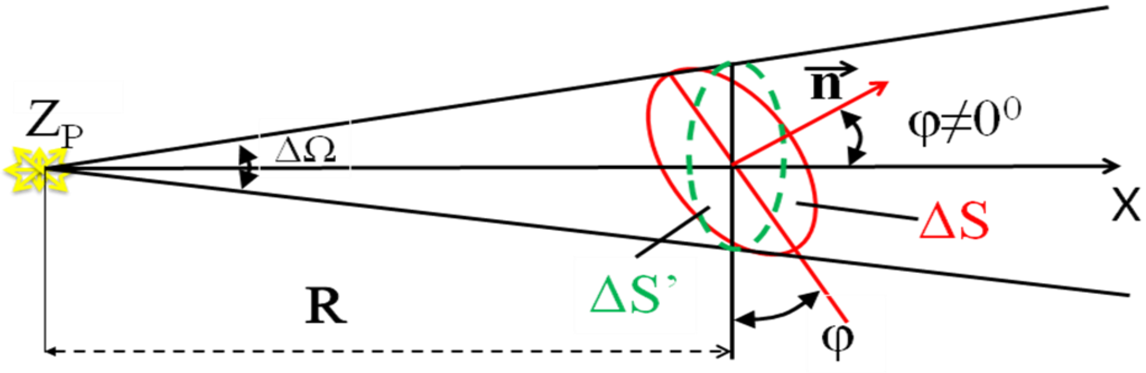
W przypadku, gdy oświetlona powierzchnia nie jest ustawiona prostopadle, czyli wektor $\vec{n}$ tworzy z osią X kąt $\varphi \neq 0$ (Rysunek 3b), wówczas: $\Delta\Omega = \frac{\Delta S'}{R^2} = \frac{\Delta S\cos\varphi}{R^2}$. Wstawiając powyższą zależność do równania (4), otrzymujemy wzór opisujący natężenie oświetlenia powierzchni ustawionej pod zadanym kątem φ:

$$E = \frac{I\cos\varphi}{R^2}. \qquad (6)$$

a)



b)



Rysunek 3. Punktowe źródło światła Z_p promieniujące energię świetlną w kąt bryłowy $\Delta\Omega$, a. dla kąta $\varphi = 0$, b. dla kąta $\varphi \neq 0$.

Równanie (6) nazywane jest w fotometrii **prawem odwrotnych kwadratów**. Jest ono precyzyjnie spełnione jedynie dla źródeł światła o niewielkich wymiarach (tzw. punktowych), które oświetlają niewielką powierzchnię. Dla wielu konstrukcji o rozciągłych powierzchniach emitujących światło, odstępstwa od prawa odwrotnych kwadratów mogą być istotne.

Zastosowanie wielkości fotometrycznych

Pomiar strumienia świetlnego jest niezwykle ważnym zadaniem producentów źródeł światła. Odpowiednio zmierzone i certyfikowane źródło jest opisane na opakowaniu. Należy pamiętać, że moc podana w watach jest tylko mocą pobieraną z zasilania. Skuteczność przetworzenia zasilania (najczęściej elektrycznego) na strumień świetlny bywa niska. Jeśli chcemy nabyć źródło światła, powinniśmy sprawdzić ile wynosi strumień świetlny (podany w lumenach) i porównać zużycie energii do efektywnej „jasności".

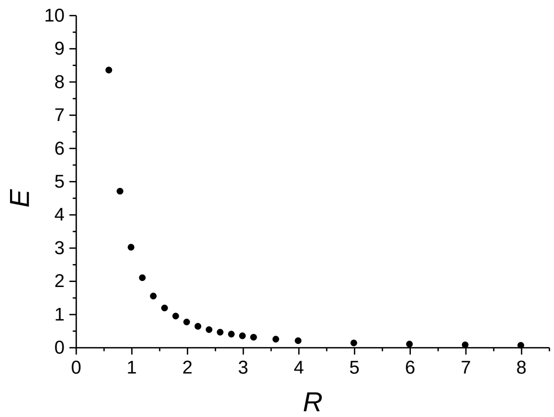
Ponadto, producenci niektórych źródeł światła, szczególnie lamp ulicznych LED, informują swoich klientów ile luxów będzie na określonej powierzchni, jeśli lampę zamontujemy na danej wysokości. Jest to ważny parametr, ponieważ projekty architektoniczne muszą spełniać określone normy. Na przykład oświetlenie powierzchni sklepowej powinno wynosić 500 lx. W przypadku oświetlenia stadionów wymagania najnowszych kamer HD są na tyle wysokie, że musi być przynajmniej 1300 luxów, by telewizja mogła przeprowadzać transmisje.

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest ustalenie w jakim stopniu, w badanym układzie fotometrycznym, spełnione jest fotometryczne prawo odwrotnych kwadratów opisane równaniem (6) (przy założeniu, że kąt $\varphi = 0$, czyli $\cos\varphi = 1$): $E = \frac{I}{R^2}$.

Zasada pomiaru

Zgodnie z równaniem (6) natężenie oświetlenia E zmienia się z odległością jak $\frac{1}{R^2}$. Przykładową eksperymentalną zależność $E(R)$, którą chcemy ocenić, czy przebiega według funkcji typu $\frac{1}{R^2}$, przedstawia Rysunek 4.



Rysunek 4. Zależność natężenia oświetlenia *E* od odległości *R* od źródła światła.

Interpretacja naszkicowanego wykresu nie jest łatwa (istnieje dużo parametrów dopasowania). Warto więc postarać się o sprowadzenie funkcji z równania (6) (zakładając kąt $\varphi = 0$) do innej, równoważnej zależności funkcyjnej, łatwiejszej w interpretacji. W tym przypadku zastosowanie logarytmu (patrz dodatek), daje możliwość otrzymania funkcji liniowej, gdzie mamy dwa parametry dopasowania: współczynnik kierunkowy prostej i wyraz wolny.

Logarytmujemy obustronnie równanie $E = \frac{I}{R^2}$ (stosujemy logarytm naturalny – dodatek):

$\ln E = \ln\left(\frac{I}{R^2}\right)$;

korzystając z Tw.2 (dodatek) o logarytmie ilorazu, rozpisujemy prawą stronę powyższego równania:

$\ln E = -\ln R^2 + \ln I$;

stosując Tw.3 (dodatek) do elementu $\ln R^2$ otrzymujemy:

$\ln E = -2\ln R + \ln I$.

Przyjmując oznaczenie $y = \ln E$ i $x = \ln R$, uzyskuje się liniowy związek pomiędzy nowymi zmiennymi *y* i *x*, dla którego współczynnik kierunkowy wynosi -2, a wyraz wolny jest równy $\ln I$:

$$y = -2x + \ln I . \qquad (7)$$

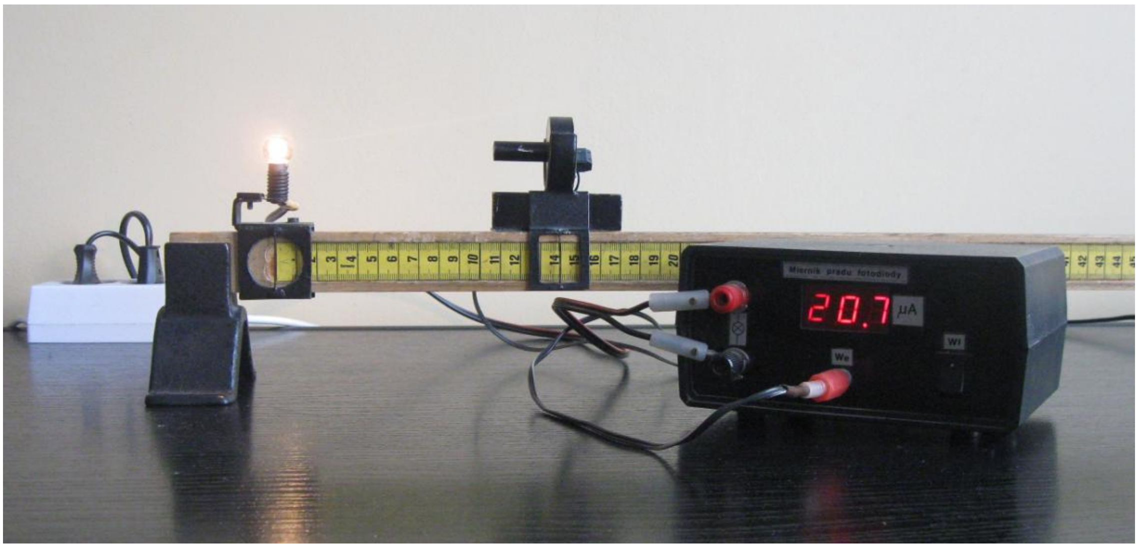
Równanie (7) jest podstawą do analizy danych w naszym doświadczeniu.

Aby wykorzystać równanie (7) należy zlogarytmować dane doświadczalne z wykresu na Rysunku 4, otrzymując punkty pomiarowe opisane nowymi współrzędnymi $x = \ln R$ oraz $y = \ln E$. Następnie, zamiast wykresu *E*(*R*), sporządzamy równoważny mu wykres *y*(*x*) (Rysunek 6). Jeżeli *y*(*x*) okaże się być zależnością liniową o współczynniku kierunkowym *a*, oznacza to, że *E*(*R*) jest funkcją potęgową typu $E \sim R^a$.

Wartość współczynnika kierunkowego *a* otrzymanej prostej zbliżona do wartości -2, wskazuje na zgodność z fotometrycznym prawem odwrotnych kwadratów (równanie (6) dla kąta $\varphi = 0$).

Zestaw pomiarowy

Fotometr składa się ze źródła światła (żaróweczki o wyjątkowo skupionym żarniku), półprzewodnikowego fotoogniwa i cyfrowego miernika natężenia prądu *i* fotoogniwa. Prąd ten jest proporcjonalny do natężenia oświetlenia powierzchni fotoogniwa E ($i \sim E$). Źródło światła i fotoogniwo umieszczone są na ławie optycznej umożliwiającej pomiar zmian odległości pomiędzy nimi. Powierzchnia czynna fotoogniwa jest prostopadła do ławy i jednocześnie prostopadła do strumienia światła docierającego ze źródła. Fotometr pozwala na ustalenie doświadczalnej zależności $E(R)$, pomiędzy natężeniem oświetlenia E powierzchni fotoogniwa, a jego odległością R od źródła światła. Zestaw pomiarowy przedstawia Rysunek 5.



Rysunek 5. Ława optyczna z umieszczonym źródłem światła (w położeniu zero cm) i fotoogniwem (w położeniu 14 cm). Po prawej stronie włączony miernik prądu fotodiody.

Wykonanie ćwiczenia.

1. Umieścić źródło światła (żaróweczka z uchwytem) na ławie optycznej tak, by włókno żarówki znajdowało się nad początkiem (zerową działką) skali pomiarowej.
2. Umieścić fotoogniwo na ławie optycznej w odległości R_1 =10 cm.
3. Przygotować tabelkę do zapisu wyników:

Lp.	R [cm]	i	$\ln R$	$\ln i$
1.	10			
2.	15			
3.	20			
…	…	…	…	…

4. Włączyć miernik prądu fotoogniwa.

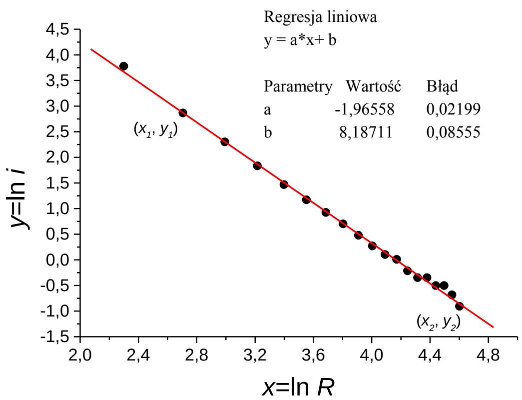
UWAGA: Podczas pomiaru należy wyłączyć lampkę na biurku.

5. Odczytać wskazanie na mierniku i zanotować wynik w pierwszym wierszu kolumny i.
6. Zwiększając co 5 cm odległość R pomiędzy źródłem światła, a fotoogniwem notować kolejne wskazania miernika. Pomiar kontynuować do momentu, kiedy wskazanie miernika będzie ok.1 µA.
7. Wyłączyć miernik prądu fotoogniwa.

Opracowanie ćwiczenia

1. Uzupełnić tabelkę pomiarów wyliczając ln R oraz ln i.

2. Przedstawić wykres zależność ln *i* od ln *R* (analogicznie jak na Rysunku 6).
3. Wyznaczyć współczynnik kierunkowy otrzymanej prostej graficznie lub numerycznie stosując metodę najmniejszych kwadratów. (Wskazówka w broszurce: ”Wprowadzenie do metod opracowania wyników pomiarów”).
   W przypadku metody graficznej na naszkicowanej prostej (na papierze milimetrowym) wyznaczamy współrzędne dwóch punktów leżących na niej (nie muszą to być punkty doświadczalne) (x_1,y_1), (x_2,y_2). Współczynnik kierunkowy prostej wyliczamy następująco: $a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ (jest on ujemny, gdyż funkcja jest malejąca).
4. Sprawdzić, czy otrzymany współczynnik kierunkowy spełnia fotometryczne prawo odwrotnych kwadratów, przez obliczenie względnej różnicy pomiędzy uzyskaną wartością współczynnika kierunkowego *a*, a teoretyczną wartością -2:
   $\delta = |-2 - a| / |-2|$.
   Współczynnik jest wyznaczony poprawnie, jeśli $\delta \leq 0.1$.



Rysunek 6. Zależność logarytmu naturalnego natężenia prądu *i* od logarytmu naturalnego odległości *R* źródła światła od fotoogniwa: dane doświadczalne (punkty) oraz prosta dopasowana metodą najmniejszych kwadratów. Otrzymany w tym przykładzie współczynnik kierunkowy prostej wynosi *a*=-1,966+/-0,022.

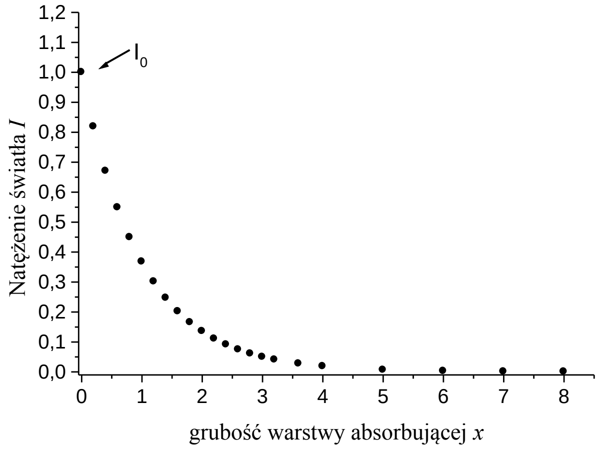
Prawo absorpcji światła. Wyznaczenie krzywej absorpcji i wartości współczynnika absorpcji płytek szklanych

Absorpcja światła

Absorpcja światła polega na pochłaniania energii światła przez ośrodek wskutek czego, osłabieniu ulega natężenia *I* wiązki światła przechodzącego przez ośrodek materialny. (Przez natężenie światła *I* rozumie się w tym przypadku moc promieniowania przecinającego jednostkową prostopadłą powierzchnię). W wyniku tego procesu część energii światła ulega zamianie na energię innego rodzaju, np. wzrasta energia wewnętrzna ośrodka. W przypadku ośrodków jednorodnych, tzn. takich, dla których współczynnik absorpcji ma w każdym punkcie ośrodka taką samą wartość (dla danej długości fali), osłabienie natężenia wiązki światła wskutek absorpcji światła podlega prawu Bouguera-Lamberta:

$$I = I_0 e^{-kx}, \tag{8}$$

gdzie:
I_0 - natężenie światła padające na ośrodek absorbujący,
I - natężenie światła po przejściu przez warstwę absorbenta,
x - grubość absorbenta,
e - podstawa logarytmu naturalnego (dodatek),
k - współczynnik absorpcji światła (pochłaniania). Jednostką k jest odwrotność jednostki odległości np. [1/m].



Rysunek 7. Wykładnicza zależność natężenia światła *I* od grubości absorbenta *x* według prawu Bouguera-Lamberta (równanie (8)).

Miarą zdolności ośrodka do absorpcji światła jest współczynnik absorpcji światła. Zależy on od własności ośrodka, ale również od długości fali (częstotliwości drgań) światła w ośrodku. Ze wzoru (8) wynika, że natężenie światła po przejściu przez warstwę absorbentu maleje wykładniczo w funkcji grubości *x*. W przypadku, gdy grubość absorbentu jest zero (x=0), wówczas natężenie światła I jest równe natężeniu I_0 (Rysunek 7).

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie krzywej absorpcji na podstawie prawa Bouguera-Lamberta oraz wartości współczynnika absorpcji *k* zestawu płytek szklanych.

Zasada pomiaru

Badanym materiałem jest szkło, które absorbuje jednakowo silnie wszystkie długości fal światła widzialnego (współczynnik absorpcji nie zależy od długości fali). Możliwy jest zatem pomiar współczynnika absorpcji w fotometrze, wykorzystując źródło światła białego. Ponieważ pojedynczy pomiar może być obarczony wysokim błędem przypadkowym, przeprowadza się serię pomiarów zwiększając stopniowo grubość warstwy absorbującej. Wzrost grubości absorbentu uzyskuje się zwiększając liczbę płytek szklanych na drodze analizowanej przez fotometr wiązki światła. Należy pamiętać, że wiązka światła przechodząc przez ośrodek podlega rozproszeniu, odbiciu i załamaniu na powierzchniach granicznych płytek. Dla uproszczenia analizy badanego efektu absorpcji, nie wyliczamy wkładu pochodzącego od tych zjawisk.

Wartość współczynnika absorpcji *k* dla szkła uzyskuje się na podstawie doświadczalnej zależności $I(x)$, zakładając, że jest ona zgodna z prawem Bouguera-Lamberta opisanym równaniem (8). Analogicznie jak w części A doprowadzamy badaną zależność do postaci funkcji liniowej. W tym celu logarytmujemy obie strony równania (8) oraz rozpisujemy otrzymaną prawą stronę stosując Tw.1 (dodatek):

$\ln I = \ln e^{-kx} + \ln I_0$.

Korzystając z własności logarytmów ($\log_e e = 1$) oraz Tw.3 (dodatek) rozpisujemy pierwszy składnik sumy otrzymując:

$\ln I = -kx + \ln I_0$.

Podstawiając $y = \ln I$ równanie to przybiera postać funkcji liniowej:

$$y = -kx + \ln I_0 . \qquad (9)$$

Bezwzględna wartość współczynnika kierunkowego zależności *y* od *x* jest równa współczynnikowi absorpcji *k* (wyraz wolny tej zależności to $\ln I_0$).

Zestaw pomiarowy

Zestaw pomiarowy służący do wyznaczenia krzywej absorpcji i wartości współczynnika absorpcji płytek szklanych jest taki sam jak w części A. Dodatkowym elementem jest podstawka pod ośrodek absorbujący - płytki szklane o grubości 0,305 cm każda.

Wykonanie ćwiczenia

1. Umieścić źródło światła (żaróweczka z uchwytem) na ławie optycznej tak, by włókno żarówki znajdowało się nad początkiem (zerową działką) skali pomiarowej.
2. Umieścić fotoogniwo na ławie optycznej w takiej odległości, aby wskazywanie multimetru wynosiło około 15,0 - 20.0 μA. Zanotować wskazanie miernika *i* ($i \sim I$).
3. Przygotować tabelkę do zapisu wyników:

Lp.	x [cm]	i[μA]	$\ln i$
1.	0		
2.	0.305		
3.	0.610		
…	…	…	…

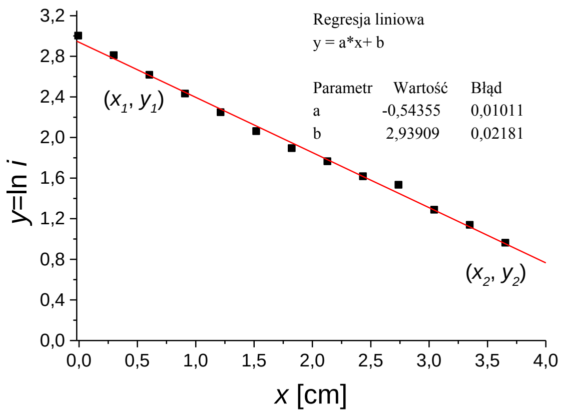
4. Pomiędzy źródłem światła, a fotoogniwem umocować na ławie podstawkę pod płytki absorbujące.

UWAGA: Podczas pomiaru należy wyłączyć lampkę na biurku.

5. Włączyć miernik prądu fotoogniwa.
6. Wprowadzając kolejno płytki szklane do podstawki (pionowo), notować wskazania miernika. Pierwsza grubość absorbentu jest równa: x_1=0.305cm. Kolejne grubości absorbentu są wielokrotnością tej grubości: x_2=2*0.305cm, x_3=3*0.305cm. Pomiary przeprowadzić dla wszystkich płytek.
7. Wyłączyć miernik prądu fotoogniwa.

Opracowanie ćwiczenia

1. Uzupełnić tabelkę pomiarów wyliczając $\ln i$.
2. Przedstawić wykres zależność $y = \ln i$ od x (analogicznie jak na Rysunku 8).
3. Wyznaczyć z wykresu współczynnik absorpcji płytek szklanych k, równy bezwzględnej wartości współczynnika a nachylenia otrzymanej prostej doświadczalnej. Podać jednostkę współczynnika.
   Współczynnik nachylenia można otrzymać metodą graficzną lub numerycznie stosując metodę najmniejszych kwadratów. (Wskazówka w broszurce: ”Wprowadzenie do metodo pracowania wyników pomiarów”).
   W przypadku metody graficznej na naszkicowanej prostej (na papierze milimetrowym) wyznaczamy współrzędne dwóch punktów leżących na niej (nie muszą to być punkty doświadczalne) (x_1,y_1), (x_2,y_2). Współczynnik kierunkowy prostej wyliczamy następująco: $a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ (jest on ujemny, gdyż funkcja jest malejąca).



Rysunek 8. Zależność logarytmu naturalnego natężenia prądu i (proporcjonalnego do natężenia światła I) od grubości absorbentu x, punkty doświadczalne oraz numerycznie dopasowana prosta.

Dodatek

LOGARYTM

Definicja

Logarytm dodatniej liczby *b* przy podstawie *a* (a jest liczbą rzeczywistą dodatnią, różną od 1), jest to wykładnik potęgi, do której należy podnieść *a*, aby otrzymać *b*. Możemy przedstawioną definicję zapisać następująco:

$\log_a b = z \Leftrightarrow a^z = b$.

Logarytmy naturalne są to logarytmy, których podstawą jest liczba niewymierna *e* określona wzorem:

$e = \lim_{n\to\infty}\left(1+\frac{1}{n}\right)^n$, $n \in N$. W przybliżeniu je wartość wynosi: *e*=2,71828. Logarytm naturalny liczby dodatniej *b* zapisujemy następująco: $\log_e b$, co jest równoważne zapisowi $\ln b$.

Twierdzenia

Z określenia logarytmu wynika, że $\log_a a = 1$ oraz $\log_e e = 1$.

Twierdzenia o logarytmach, użyteczne przy opracowaniu pomiarów:

Tw1. $\log_a bc = \log_a b + \log_a c$,

Tw2. $\log_a \frac{b}{c} = \log_a b - \log_a c$,

Tw3. $\log_a b^r = r\log_a b$.

Literatura:

1. „Podstawy fotometrii" E. Helbig, Wydawnictwo Naukowo –Techniczne, W-wa 1975.
2. „Fizyka dla klas III technikum i liceum zawodowego" Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, W-wa 1984
3. „Fizyka dla kandydatów na wyższe uczelnie" J. Blinowski, J. Trylski, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, W-wa, 1983.
4. „Fizyka doświadczalna część IV" Sz. Szczeniowski, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, W-wa 1983
5. „Podstawy fizyki" M. Herman, A. Kalestyński, L. Widomski, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, W-wa 1984
6. Słownik Fizyczny, Wydawnictwo „Wiedza Powszechna" W-wa 1996.
7. „Matematyczne chemiczne fizyczne astronomiczne tablice", Sponsor & Apew, 1994.