E. Jartych, M. Mazurek, T. Pikula, J. Żurawicz

OPTYKA

Instrukcje wykonania zadań na zajęciach laboratoryjnych z fizyki

Zestaw instrukcji przygotowano na podstawie skryptów PL:

1. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka.* J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii.* H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K, Wójcik, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1994.

SPIS TREŚCI:

O 1.1. Wyznaczanie współczynnika załamania światła z pomiarów kąta załamania i kąta granicznego 3
O 1.2. Pomiar współczynnika załamania światła przy pomocy mikroskopu 5
O 1.3. Wyznaczanie współczynnika załamania światła w zależności od długości fali na podstawie pomiarów kąta najmniejszego odchylenia w pryzmacie 7
O 2.1. Wyznaczanie zależności współczynnika załamania światła od stężenia roztworu 11
O 3.1. Pomiary ogniskowych soczewek za pomocą lunety 14
O 3.2. Wyznaczanie ogniskowych soczewek na podstawie pomiarów odległości przedmiotu i obrazu od soczewki 17
O 3.3. Pomiary ogniskowych soczewek metodą Bessela 20
O 3.4. Wyznaczanie ogniskowych soczewek na podstawie pomiaru powiększenia liniowego 23
O 5.1. Skalowanie mikroskopu i pomiar małych przedmiotów 26
O 5.2. Pomiar powiększenia liniowego obrazu przedmiotu oglądanego przy użyciu mikroskopu 28
O 6.1. Pomiar względnej światłości żarówek elektrycznych 30
O 6.2. Pomiar sprawności świetlnej żarówek elektrycznych 32
O 6.3. Pomiar współczynnika pochłaniania światła w płytkach szklanych 34
O 6.4. Badanie charakterystyki kierunkowej promieniowania źródła światła 36
O 9.1. Wyznaczanie długości fal świetlnych przepuszczanych przez filtr, przy pomocy siatki dyfrakcyjnej 38
O 9.2. Wyznaczanie stałej siatki dyfrakcyjnej 41
O 10.2. Wyznaczanie skręcalności właściwej roztworów 43
O 10.3. Wyznaczanie stałej Verdeta 46
O 12.1. Wyznaczanie charakterystyki prądowo-napięciowej fotokomórki 49
O 12.2. Wyznaczanie charakterystyki prądowo-strumieniowej fotokomórki 52
O 12.3. Wyznaczanie charakterystyki prądowo-strumieniowej fotoogniwa 54
O 12.4. Wyznaczanie charakterystyki prądowo-strumieniowej fotorezystora 56
J 7.1. Pomiar rozkładu energii promieniowania w widmie dyfrakcyjnym światła pojedynczej szczeliny i szerokości tej szczeliny 58
J 7.2. Pomiar rozkładu natężenia światła w widmie dyfrakcyjno-interferencyjnym z dwu szczelin 60
J 7.3. Pomiar średnicy bardzo małych okrągłych otworów przy wykorzystaniu dyfrakcji światła 62

O 1.1. Wyznaczanie współczynnika załamania światła z pomiarów kąta załamania i kąta granicznego

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

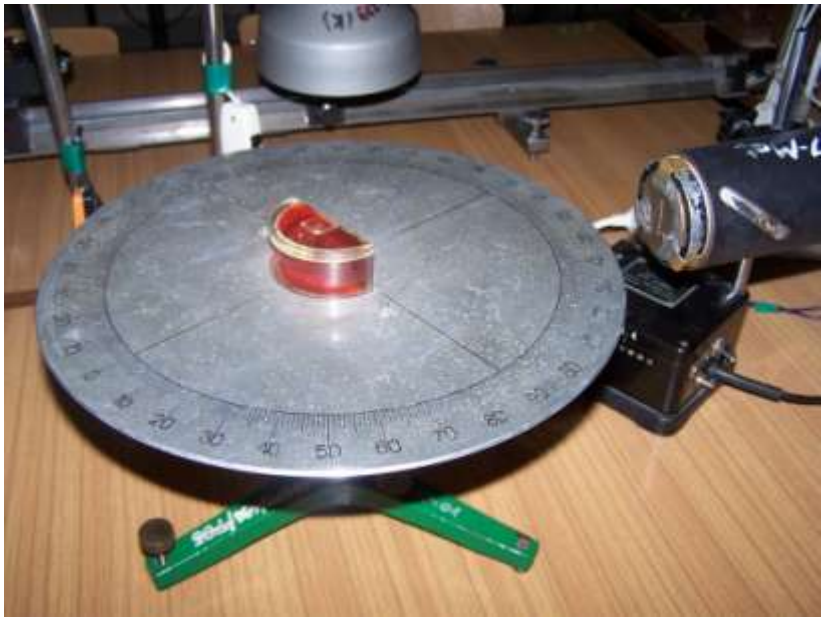
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Charakterystyka fali świetlnej (budowa, długość fali, prędkość)
2. Zasada Fermata
3. Definicja współczynnika złamania
4. Prawo odbicia i załamania światła (Snelliusa)
5. Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka.* J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej,* red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom IV.
4. Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna*. *Część IV Optyka,* WN Warszawa 1983.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe

1. Otrzymaną próbkę w kształcie półwalca umieścić na tarczy z podziałką kątową (Rys. 1) tak, aby płaska ściana boczna próbki pokrywała się ze średnicą tarczy.
2. Włączyć lampkę mikroskopową i skierować wąski strumień światła na punkt padania.
3. Przeprowadzić pomiary kąta padania (α) i załamania światła (β) zaczynając od 20°, zmieniać kąt padania co 5° aż do 70°.
4. Następnie oświetlając próbkę od strony wypukłej przeprowadzić pomiary kąta granicznego (γ) co najmniej 5-krotnie.
5. Otrzymane wyniki zestawić w tabeli.

6. Obliczyć współczynnik załamania próbki ze wzorów:

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

oraz

$$n_{21} = \frac{1}{\sin \gamma}$$

dla wszystkich pomiarów, wyliczyć wartość średnią i porównać wyniki obliczeń.
7. Do oszacowania niepewności wyznaczenia współczynnika załamania dla danej próbki zastosować metodę różniczkowania. Niepewność wyznaczenia kątów padania, załamania i kąta granicznego ($\Delta\alpha$, $\Delta\beta$, $\Delta\gamma$) wyrazić w mierze łukowej.

Autor instrukcji:

Elżbieta Jartych

O 1.2. Pomiar współczynnika załamania światła przy pomocy mikroskopu

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Charakterystyka fali świetlnej (budowa, długość fali, prędkość)
2. Definicja współczynnika złamania
3. Prawo odbicia i załamania światła
4. Przejście promienia świetlnego przez płytkę płaskorównoległą
5. Obraz rzeczywisty i pozorny

Literatura:

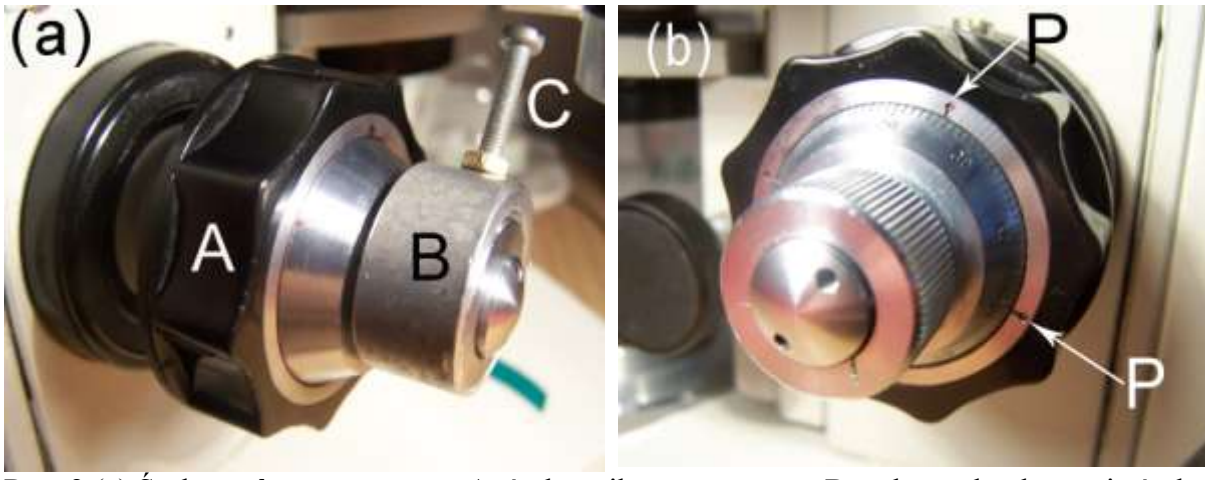
1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka.* J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej,* red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom IV.
4. Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna*. *Część IV Optyka,* WN Warszawa 1983.

Wykonanie zadania:

Rys. 1 Fotografia przedstawiająca mikroskop

1. Zmierzyć rzeczywistą grubość płytki (*d*) przy pomocy śruby mikrometrycznej (uważać, aby nie ścisnąć za mocno śruby i doprowadzić do pęknięcia płytki).
2. Na obydwu powierzchniach płytki zaznaczyć flamastrami dwie różniące się kolorem plamki przesunięte względem siebie.
3. Włączyć wtyczkę mikroskopu do zasilacza i przełącznikiem włączyć oświetlenie mikroskopu.
4. Umieścić płytkę na stoliku mikroskopu.
5. Śrubę mikrometryczną mikroskopu (B na Rys. 2 a) obrócić za pomocą uchwytu (C) w prawo do oporu (aż będzie słychać kliknięcie sprzęgiełka).

6. Posługując się śrubami makrometryczną (A) i mikrometryczną (B) (Rys. 2 a) ustawić mikroskop na ostre widzenie dolnej plamki.



Rys. 2 (a) Śruba makrometryczna – A, śruba mikrometryczna – B, uchwyt do obracania śruby mikrometrycznej – C; (b) Skala do odczytu położenia śruby mikrometrycznej, P – punkty odniesienia

7. Odczytać położenie początkowe śruby mikrometrycznej (*p*) obierając jeden z punktów P (Rys. 2b) za punkt odniesienia.
8. Następnie przy pomocy uchwytu C śruby mikrometrycznej przesuwać tubus, licząc jednocześnie liczbę obrotów (*N*), dotąd aż będzie ostro widoczna druga, górna plamka.
9. Odczytać wartość położenia końcowego śruby mikrometrycznej (*k*) względem obranego wcześniej punktu odniesienia.
10. Obliczyć grubość pozorną płytki (*h*) ze wzoru:

$$h = N \cdot 0{,}1mm + (k - p) \cdot \frac{0{,}1mm}{100}$$

gdzie wartość 0,1 mm oznacza skok śruby, zaś liczba 100 jest liczbą działek śruby mikrometrycznej.
11. Przeprowadzić pomiary 10-krotnie. Wyniki umieścić w tabeli.
12. Współczynnik załamania materiału, z którego wykonana jest płytka wyliczyć ze wzoru:

$$n = \frac{d}{h}$$

dla wszystkich pomiarów, a następnie obliczyć średnią arytmetyczną.
13. Do oszacowania niepewności wyznaczenia współczynnika załamania dla płytki płasko-równoległej zastosować metodę różniczkowania. Za niepewność odczytu ze śruby mikrometrycznej Δd przyjąć wartość odpowiadającą 1 działce mikrometru. Niepewność $\Delta h = 2(\Delta h_1 + \Delta h_2)$, gdzie błąd odczytu położenia śruby mikrometrycznej mikroskopu $\Delta h_1 = 0{,}1$ mm/100, natomiast $\Delta h_2 = \Delta n \cdot 0{,}1$ mm; wartość Δn należy wyznaczyć doświadczalnie, tj. podać liczbę działek odczytaną na śrubie mikrometrycznej mikroskopu, podczas zmiany położenia tubusa, przy której nie zauważono zmiany ostrości plamki.

<u>Autor instrukcji:</u>

Elżbieta Jartych

O 1.3. Wyznaczanie współczynnika załamania światła w zależności od długości fali na podstawie pomiarów kąta najmniejszego odchylenia w pryzmacie

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Charakterystyka fali świetlnej (długość fali, częstotliwość, prędkość)
2. Definicja współczynnika złamania
3. Prawo załamania światła
4. Przejście promienia świetlnego przez pryzmat
5. Zjawisko dyspersji

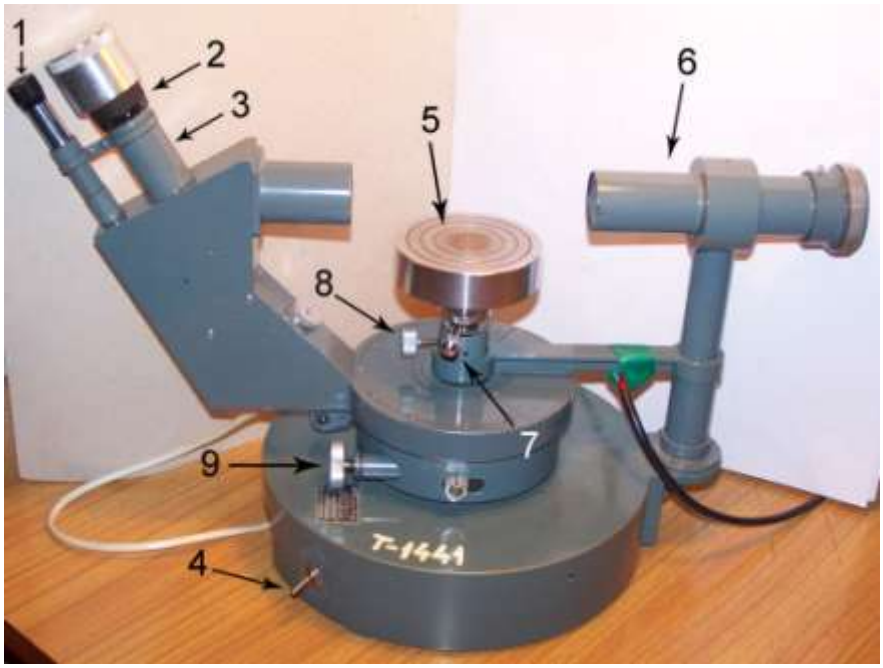
Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka.* J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej,* red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane, Lublin 1997.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom IV.
4. Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna*. *Część IV Optyka,* WN Warszawa 1983.

Wartości długości fali λ dla barwy:

Czerwonej	$6{,}71 \cdot 10^{-7}$ m	Zielono-niebieskiej	$4{,}92 \cdot 10^{-7}$ m
Żółtej	$5{,}78 \cdot 10^{-7}$ m	Niebieskiej	$4{,}36 \cdot 10^{-7}$ m
Zielonej	$5{,}46 \cdot 10^{-7}$ m	Fioletowej	$4{,}08 \cdot 10^{-7}$ m

Wykonanie zadania:

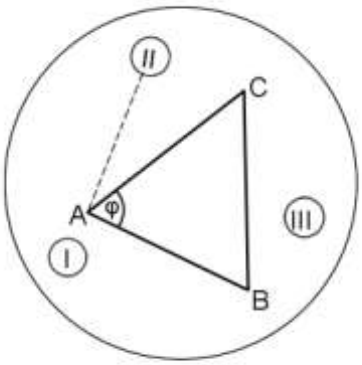


Rys. 1 Zewnętrzny wygląd goniometru. 1 – mikroskop odczytowy, 2 – pierścień okularu, 3 – luneta autokolimacyjna zaopatrzona w krzyż z nitek pajęczych, 4 – włącznik oświetlenia lunety, 5 – stolik, 6 – kolimator, 7 – zacisk umożliwiający po jego zwolnieniu obrót stolika, 8 – zacisk umożliwiający po jego zwolnieniu podnoszenie i opuszczanie stolika, 9 – leniwka

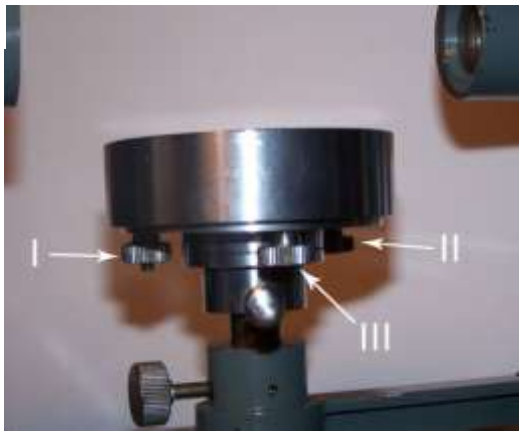
Wyznaczanie kąta łamiącego

1. Zapoznać się z budową goniometru (Rys. 1).
2. Włączyć oświetlenie lunety włącznikiem (4).
3. Ustawić ostrość widzenia w okularze (2) i mikroskopie odczytowym (1).
4. Otrzymany do pomiarów pryzmat ustawić na stoliku tak, aby jedna z jego ścian łamiących była prostopadła do linii łączącej pokrętła poziomujące stolik (I) i (II) – Rys. 2.

(a)

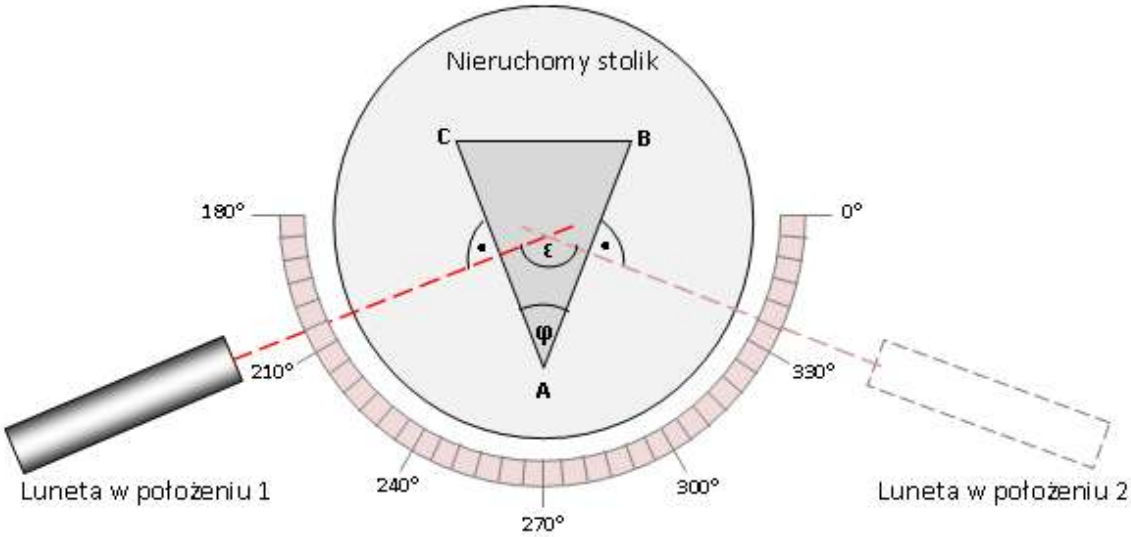


(b)



Rys. 2 Ustawienie pryzmatu na stoliku; I, II, III – pokrętła poziomujące stolik; (a) schemat, (b) fotografia

5. Ustawić lunetę tak, aby uzyskać w niej obraz krzyża dla promieni odbitych od powierzchni łamiącej AC (położenie 1 na Rys. 3).
6. Jeżeli krzyż i jego obraz nie pokrywają się, należy przy pomocy pokręteł (I) i (II) oraz lekko obracając stolik doprowadzić do ich nałożenia się.
7. Unieruchomić stolik (zaciski 7 i 8 powinny być zakręcone do oporu).
8. Obrócić lunetę do położenia, w którym uzyska się obraz krzyża otrzymany dla promieni odbitych od powierzchni AB (położenie 2 na Rys. 3).
9. Jeżeli krzyż i jego obraz nie pokrywają się, należy doprowadzić do ich nałożenia się <u>tylko</u> pokrętłem (III).



Rys. 3 Idea pomiaru kąta łamiącego pryzmatu

10. Czynności 5-6 i 8-9 przeprowadzić kilkakrotnie w celu dokładnego ustawienia stolika z pryzmatem. Przy prawidłowym ustawieniu stolika krzyż powinien pokrywać się ze swoim obrazem

dla obu położeń lunety. Dużych przesunięć lunety dokonywać ręką, dokładniejsze ustawienia uzyskiwać za pomocą leniwki (9).

11. Odczytywać pozycje lunety w mikroskopie odczytowym wg zasady przedstawionej na Rys. 3. Jeśli położenie odpowiadające większemu kątowi oznaczyć przez α_1, mniejszemu przez α_2, to kąt obrotu lunety wynosi $\varepsilon = \alpha_1 - \alpha_2$.

Uwaga ! Gdy pozycje α_1 i α_2 znajdują się po przeciwnych stronach ”0” skali mikroskopu odczytowego (np. $\alpha_1 = 330°$, $\alpha_2 = 30°$), to:

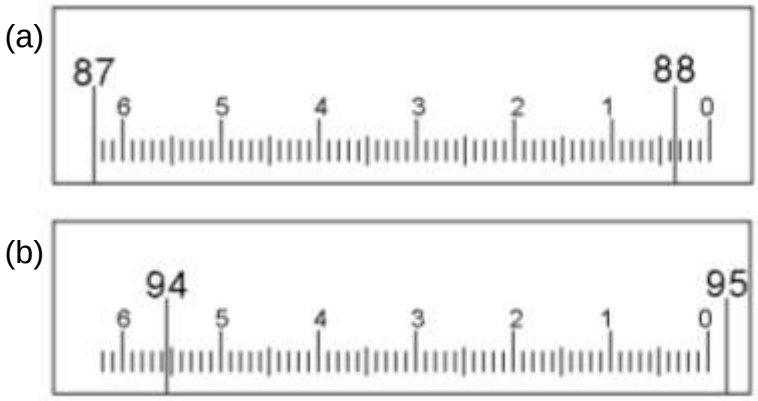
$$\varepsilon = (360° - \alpha_1) + \alpha_2.$$

Pomiary przeprowadzić 5-krotnie.

12. Kąt łamiący pryzmatu wyznaczyć ze wzoru:

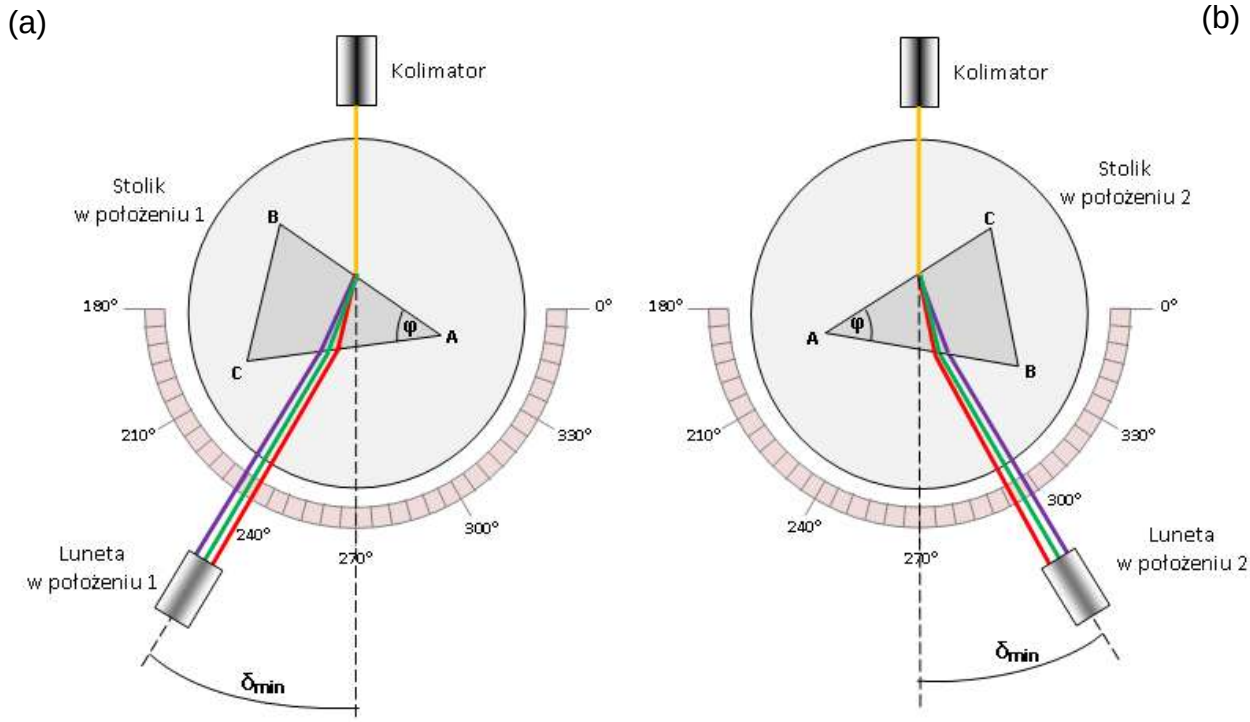
$$\varphi = 180^\circ - \varepsilon. \qquad (1)$$

13. Obliczyć średnią wartość kąta φ z 5-pomiarów.



Rys. 4 Pole widzenia mikroskopu odczytowego; właściwy odczyt: (a) 88°3,5’, (b) 94°55,5’

Wyznaczanie kąta najmniejszego odchylenia



Rys. 5 Idea pomiaru kąta najmniejszego odchylenia w pryzmacie;
(a) Wiązka światła skierowana na ścianę łamiącą AB
(b) Wiązka światła skierowana na ścianę łamiącą AC

1. Umieścić przed szczeliną kolimatora lampę rtęciową i włączyć ją.

2. Zwolnić zacisk (7) unieruchamiający stolik.
3. Stolik z pryzmatem oraz lunetę ustawić w pozycji przedstawionej na Rys 5a.
4. Zmieniając w niewielkim zakresie położenie lunety i stolika znaleźć obraz 6 linii widma rtęci o barwach: czerwona, żółta, zielona, zielono-niebieska, niebieska i fioletowa. Poprosić prowadzącego o ustawienie szerokości szczeliny w kolimatorze. Nie zmieniać położenia pryzmatu względem stolika.
5. Obserwując widmo w lunecie obracać delikatnie stolikiem – powinno spowodować to przesuwanie się widma w polu widzenia.
6. Widmo po przesunięciu się na pewną odległość zaczyna zawracać. Położenie zwrotne odpowiada kątowi najmniejszego odchylenia.
7. Ustawić stolik w położeniu zwrotnym i unieruchomić go. Zmieniając położenie lunety naprowadzić krzyż nici pajęczych na środek danej linii widmowej i odczytać położenie lunety w mikroskopie odczytowym. Dla każdej linii zanotować położenie jako kąt β_1. Pomiary przeprowadzić 3-krotnie dla każdej barwy.
8. Zwolnić zacisk (7) unieruchamiający stolik.
9. Stolik z pryzmatem oraz lunetę ustawić w pozycji przedstawionej na Rys 5b (**nie zmieniać położenia pryzmatu względem stolika**). Analogicznie wykonać czynności 4-8 dla drugiego ustawienia stolika i lunety, notując położenia kolejnych linii widmowych jako kąt β_2.
10. Obliczyć kąt najmniejszego odchylenia dla każdej długości fali stosując wzór:

$$\delta_{\min} = \frac{\beta_1 - \beta_2}{2} \qquad (2)$$

11. W sytuacji, gdy pozycje β_2 i β_1 znajdują się po przeciwnych stronach ”0” skali mikroskopu odczytowego, (np. $\beta_1 = 330°$, $\beta_2 = 30°$) należy przyjąć:

$$\delta_{\min} = \left(360^\circ - \beta_1\right) + \beta_2 . \qquad (4)$$

12. Wartości współczynników załamania wyznaczyć ze wzoru:

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2}\left(\delta_{\min} + \varphi\right)}{\sin \frac{1}{2}\varphi} . \qquad (5)$$

13. Sporządzić wykres zależności współczynnika załamania n od długości fali λ.
14. Do oszacowania niepewności wyznaczenia współczynnika załamania dla danej próbki zastosować metodę różniczkowania wzoru (5). Za niepewność wyznaczenia kątów: $\Delta(\delta_{\min} + \varphi)$ przyjąć 4-krotną wartość niepewności odczytu położenia lunety, dla $\Delta\varphi$ - 2-krotną wartość niepewności odczytu położenia lunety wyrażoną w mierze łukowej. Obliczenia przeprowadzić dla jednej z linii leżącej w środkowym obszarze widma.

Autor instrukcji:

Tomasz Pikula

O 2.1. Wyznaczanie zależności współczynników załamania światła od stężenia roztworu

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

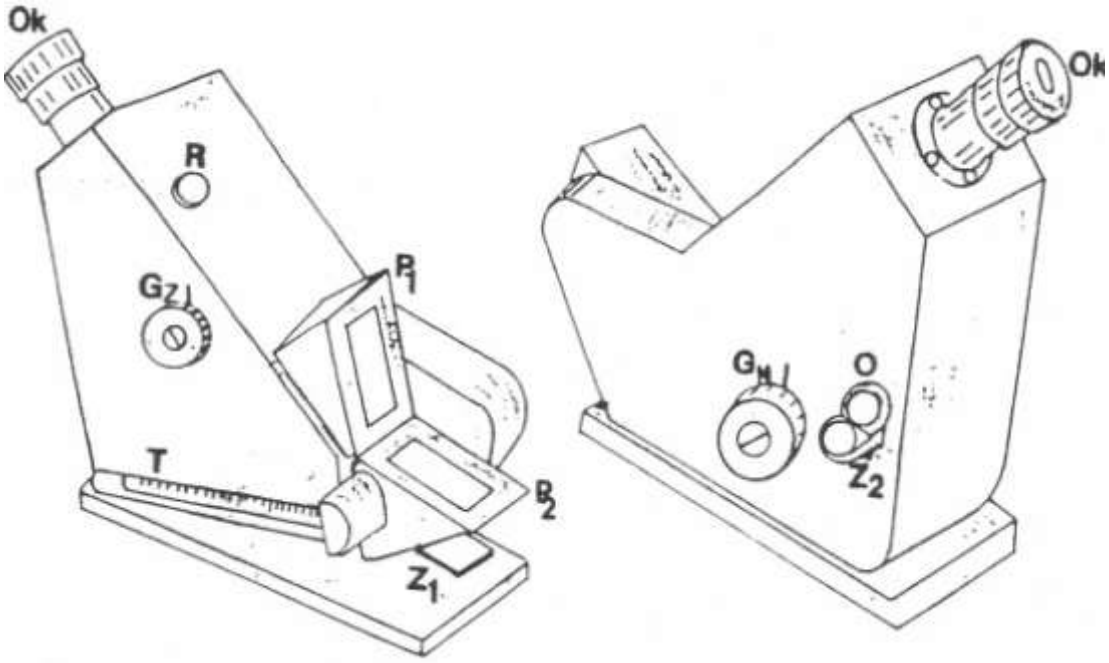
1. Zjawisko odbicia i załamania światła (refrakcja)
2. Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia
3. Zależność współczynnika załamania od długości fali światła (dyspersja), rozszczepienie światła białego

Literatura:

1. Cz. Bobrowski, *Fizyka – krótki kurs,* WNT, Warszawa 1996.
2. D. Halliday , R. Resnick , J. Walker, *Podstawy fizyki,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom IV.
3. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka,* J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
4. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błędu pomiarowego,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:

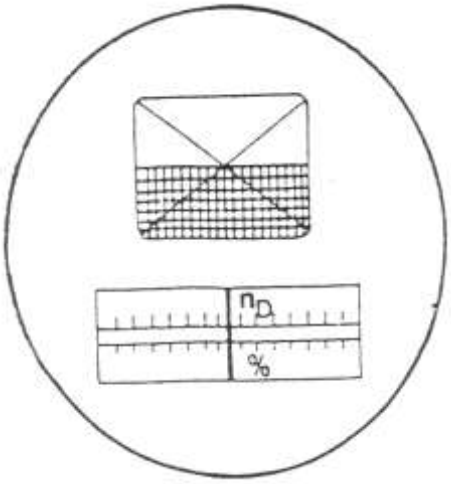
Pomiary współczynników załamania badanego ośrodka wykonuje się za pomocą przyrządu zwanego refraktometrem (Rys. 1). Przed przystąpieniem do właściwych pomiarów należy refraktometr wyregulować.



Rys. 1 Wygląd refraktometru. Ok – okular lunety, P_1 – pryzmat oświetlający, P_2 – pryzmat pomiarowy, Z_1 , Z_2 – zwierciadełka oświetlające, G_Z – gałka pokrętła kompensatora, G_N – gałka pokrętła skali n_D , R – przykrywka śrubki regulacyjnej, O – okienko skali, T – termometr

Regulacja refraktometru

1. *Przetrzeć powierzchnie pryzmatów P_1 i P_2 najpierw alkoholem, a następnie wodą destylowaną. Używać do tego celu waty.*
2. *Wprowadzić kilka kropel wody destylowanej na pryzmat P_2 i docisnąć oba pryzmaty do siebie.*
3. *Odchylić zwierciadełko przykrywające okienko O skali n_D tak, aby światło z umieszczonej obok żarówki mogło wpadać do tego okienka.*
4. *Odchylić przykrywkę pryzmatu P_1.*
5. *Włączyć lampkę mikroskopową, wyregulować oświetlenie pryzmatu i okienka skali (w okularze refraktometru powinna być widoczna podziałka skali, na której odczytuje się wartości współczynnika załamania oraz krzyż z nici pajęczych – jak na Rys. 2).*
6. *Obracając wziernikiem okularu ustawić ostrość widzenia podziałki i krzyża z nici pajęczych.*
7. *Zmierzyć temperaturę otoczenia i znaleźć w niżej podanej tabeli wartość współczynnika załamania n_D dla wody w tej temperaturze.*
8. *Gałką pokrętła G_N ustawić na skali znalezioną w tabeli wartość n_D.*
9. *Gałką pokrętła G_Z manipulować dotąd, aż uzyska się ostre, nie zabarwione rozgraniczenie jasnej i ciemnej części pola widzenia (Rys. 2).*
10. *Jeśli to rozgraniczenie nie przechodzi przez punkt przecięcia nici pajęczych, trzeba sprowadzić je tam przy pomocy śrubki regulacyjnej R. Należy przedtem odkręcić gwintowaną przykrywkę śrubki R i użyć do regulacji kluczyka, który wydaje prowadzący zajęcia.*
11. *Regulację refraktometru przeprowadzić trzykrotnie.*



Rys. 2 Pole widzenia w okularze refraktometru

Właściwe pomiary przeprowadzić w sposób następujący:

1. Wytrzeć pryzmaty refraktometru do sucha (watą) i wprowadzić kilka kropel otrzymanego roztworu o znanym stężeniu C (najmniejszym).
2. Gałkami pokręteł G_N i G_Z doprowadzić do prawidłowego ustawienia rozgraniczenia pola widzenia (nie zabarwione i przechodzące przez punkt przecięcia nici pajęczych).
3. Odczytać ze skali wartość współczynnika załamania n_D.
4. Prawidłowe ustawienie rozgraniczenia pola widzenia dla roztworu o danym stężeniu przeprowadzić trzykrotnie.
5. Analogiczne pomiary przeprowadzić dla każdego roztworu o coraz większym stężeniu. Przed każdą zmianą roztworów przemyć i osuszyć pryzmaty. Wartości stężenia kolejnych roztworów i zmierzonych wartości n_D wpisać do tabeli pomiarowej.

6. Przeprowadzić w taki sam sposób pomiary n_D dla roztworu o nieznanym stężeniu C_x, zapisując numer próbki.
7. Do tabeli z wynikami pomiarów wpisać również wartość n_D dla wody destylowanej. Odpowiada ona wartości stężenia C = 0 %.
8. Zapisać nazwę badanego roztworu.

Tabela 1

Zależność współczynników załamania światła żółtego (linii D sodu) od temperatury dla wody destylowanej.

t [^oC]	n_D	t [^oC]	n_D
16	1,33333	26	1,33241
18	1,33317	28	1,33219
20	1,33299	30	1,33192
22	1,33281	32	1,33164
24	1,33262	34	1,33136

Opracowanie wyników pomiarów:

1. Na podstawie wyników pomiarów dla roztworów o znanych stężeniach sporządzić wykres $n_D = f(C)$ w sposób następujący:
   - nanieść punkty doświadczalne;
   - obliczyć metodą najmniejszych kwadratów równanie opisujące zależność między zmierzonymi współczynnikami załamania n_D i stężeniami roztworów C:

$$n_D = aC + b \qquad (1)$$

   gdzie a – współczynnik kierunkowy, b – wyraz wolny;
   - narysować na wykresie prostą opisaną obliczonym równaniem.
2. Stężenie C_x wyznaczyć przekształcając równanie (1) i wykorzystując zmierzony dla roztworu o nieznanym stężeniu współczynnik załamania.
3. Niepewność bezwzględną obliczyć metodą różniczkowania wyrażenia, z którego było wyznaczane stężenie C_x..
4. Niepewności współczynników Δa i Δb obliczyć metodą najmniejszych kwadratów.
5. Niepewność pomiaru współczynnika załamania Δn_D wynika z dokładności skali refraktometru.

Autor instrukcji:

Jan Żurawicz

O 3.1. Pomiary ogniskowych soczewek za pomocą lunety

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

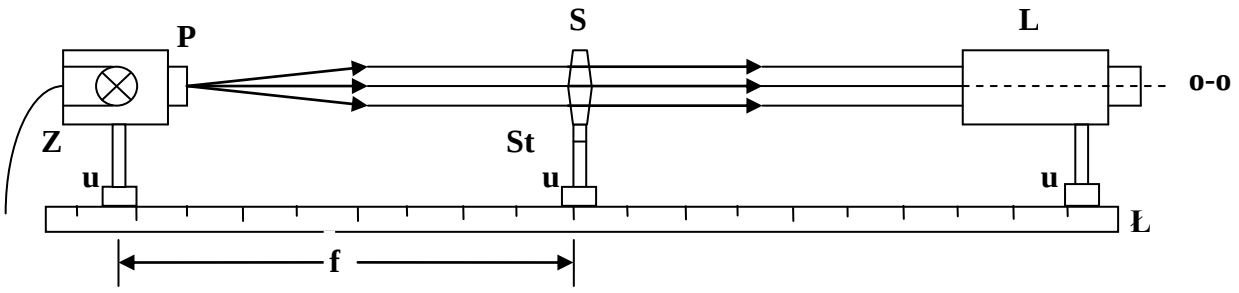
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Załamanie i odbicie światła
2. Rodzaje i zastosowanie soczewek
3. Powstawanie obrazu w soczewce skupiającej i rozpraszającej
4. Równanie soczewki
5. Metody wyznaczania ogniskowych soczewek

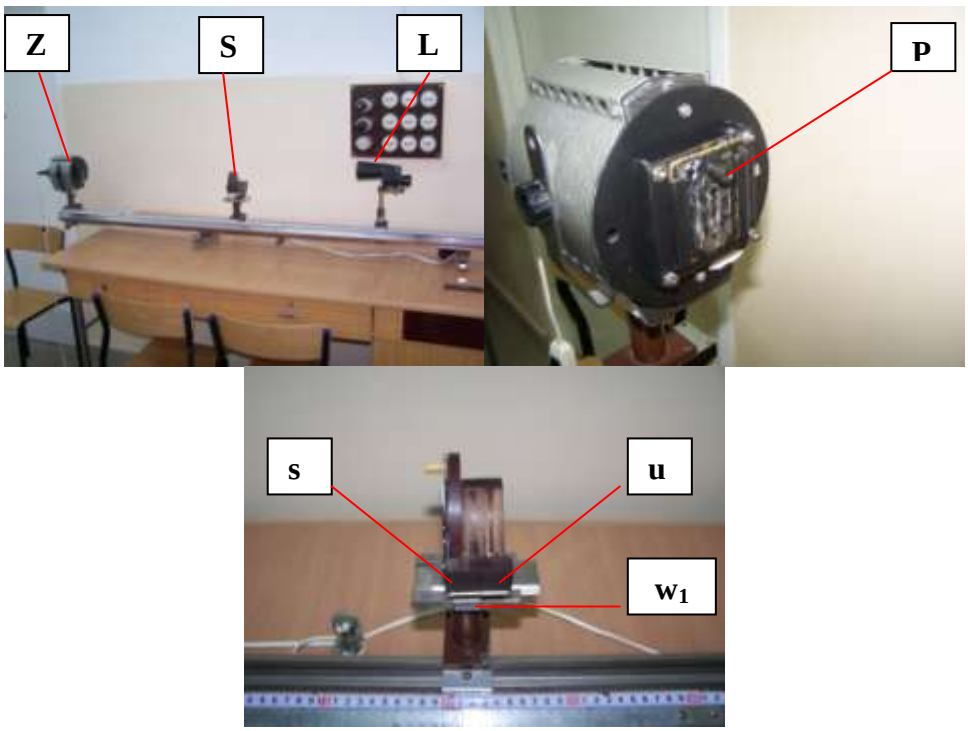
Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka*, J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 1983, tom II.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat ustawienia źródła światła Z, soczewki S (lub układu soczewek) i lunety L na ławie optycznej Ł, u – uchwyty, o-o – oś optyczna



Rys. 2 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe

a) Wyznaczanie ogniskowej soczewki skupiającej

1. Przymocować na ławie optycznej **Ł** w odpowiednich uchwytach **u** następujące przyrządy: lunetę **L**, źródło światła **Z**, przedmiot **P** (szkiełko – z zaznaczoną w części centralnej kropką), stolik **St**, soczewkę skupiającą **S** wg schematu na Rys. 1.
2. Umieścić soczewkę skupiającą na ruchomym stoliku względem uchwytu.
3. Przesunąć stolik z soczewką w prowadnicy uchwytu do momentu pokrycia się środka w_1 z punktem *s* uchwytu.
4. Wyregulować, wzdłuż osi optycznej o-o, w pionie i poziomie, położenia przedmiotu **P**, soczewki **S**, lunety **L**.
5. Ustawić lunetę **L** na nieskończoność tzn. na ostre widzenie przedmiotów bardzo odległych (w okularze lunety powinno być widać okrągłą plamkę).
6. Przesunąć uchwyt z soczewką **S** po ławie optycznej do momentu ujrzenia wyraźnego obrazu przedmiotu **P** w okularze lunety.
   Uwaga: Podczas przesuwania uchwytu obraz musi być widoczny w okularze, w przeciwnym przypadku powtórzyć czynności z punktu 3 i 4.
7. Zmierzyć odległość środka soczewki od przedmiotu, która w tym przypadku jest ogniskową soczewki skupiającej f_s.
8. Powtórzyć pomiary kilkakrotnie, przesuwając soczewkę zawsze w tym samym kierunku o niewielkie odległości (rzędu 1-3 *mm*).
9. Obliczyć średnią wartość zmierzonych odległości $\overline{f_s}$ soczewki skupiającej.

b) Wyznaczanie ogniskowej układu soczewek

1. Przesunąć stolik z soczewkami (skupiającą i rozpraszającą – zestawione razem muszą być układem skupiającym) w prowadnicy uchwytu do momentu pokrycia się środka w_1 z punktem *u* uchwytu.
2. Wyregulować, wzdłuż osi optycznej o-o, w pionie i poziomie, położenia przedmiotu **P**, soczewki **S**, lunety **L**.
3. Ustawić lunetę **L** na nieskończoność.
4. Przesunąć uchwyt z układem soczewek po ławie optycznej do momentu ujrzenia wyraźnego obrazu przedmiotu **P** w okularze lunety.
   Uwaga: Podczas przesuwania uchwytu obraz musi być widoczny w okularze, w przeciwnym przypadku powtórzyć czynności z punktu 2 i 3.
5. Zmierzyć odległość środka stolika z soczewkami od przedmiotu, która w tym przypadku jest ogniskową f_u układu soczewek.
6. Pomiary powtórzyć kilkakrotnie.
7. Wyliczyć średnią wartość ogniskowej $\overline{f_u}$ układu soczewek na podstawie przeprowadzonych pomiarów.
8. Wyznaczyć ogniskową soczewki rozpraszającej ze wzoru:

$$\frac{1}{f_u} = \frac{1}{f_r} + \frac{1}{f_s} \qquad (1)$$

9. Z otrzymanych wartości $\overline{f_s}$ i $\overline{f_u}$ oraz przy wykorzystaniu wzoru (1) obliczyć $\overline{f_r}$
10. Zestawić w tabeli wyniki pomiarów i obliczeń.
11. Obliczyć dla jednego z wykonanych pomiarów niepewność popełnioną względem wartości średniej oraz niepewność względną maksymalną. Uwzględnić przy tym dokładność wyskalowania podziałki ławy optycznej (niedokładność odczytu) i wielkość przedziału położeń soczewki, w którym nie zauważamy zmiany ostrości obrazu widzialnego w lunecie.
12. Porównać wyliczone wartości obu niepewności względnych.
13. Niepewności pomiarowe opracować metodą różniczkowania.

Autor instrukcji:

Mariusz Mazurek

O 3.2. Wyznaczanie ogniskowych soczewek na podstawie pomiarów odległości przedmiotu i obrazu od soczewki

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

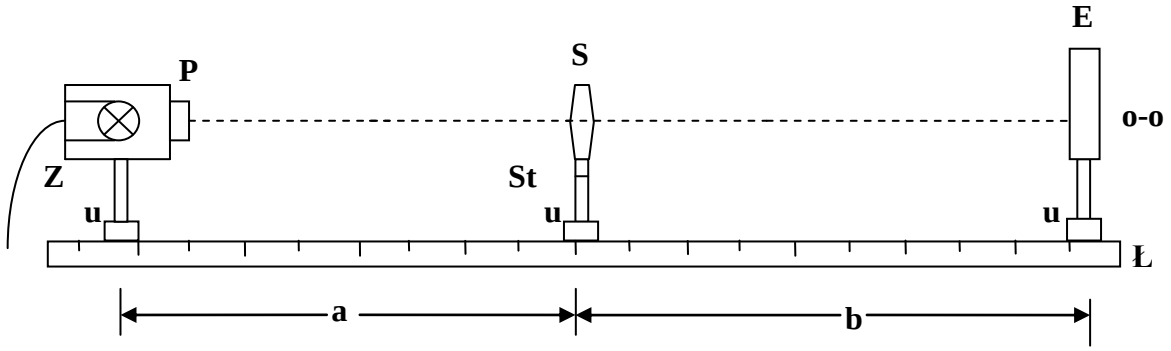
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Załamanie i odbicie światła
2. Rodzaje i zastosowanie soczewek
3. Powstawanie obrazu w soczewce skupiającej i rozpraszającej (ognisko, zdolność skupiająca soczewki)
4. Równanie soczewki
5. Metody wyznaczania ogniskowych soczewek

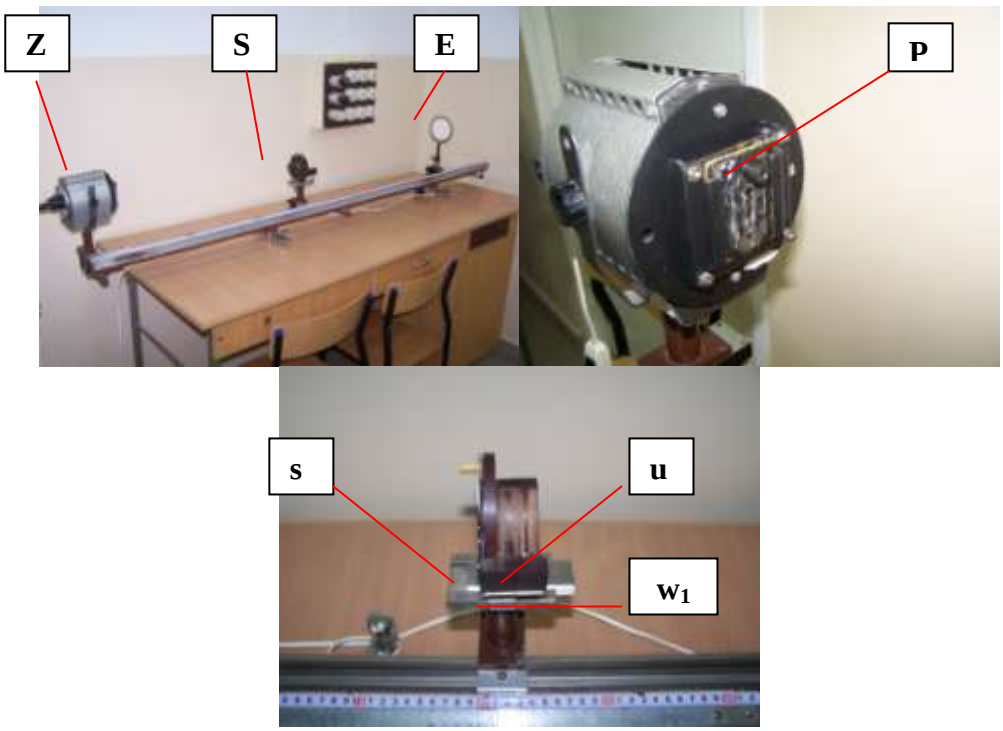
Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka*, J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 1983, tom II.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat rozmieszczenia przyrządów na ławie optycznej Ł w celu znalezienia ogniskowej *f* z pomiaru odległości *a* i *b*; Z – źródło światła, S – soczewka (lub układ soczewek), E – ekran, u – uchwyty, o-o – oś optyczna, St – ruchomy stolik, P – przedmiot



Rys. 2 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe

a) Wyznaczenie ogniskowej soczewki skupiającej

1. Przymocować na ławie optycznej **Ł** w odpowiednich uchwytach **u** następujące przyrządy: źródło światła **Z**, przedmiot **P** (szczelina z żyletki), stolik **St**, biały, nieodblaskowy ekran **E**, soczewkę skupiającą **S** wg schematu na Rys. 1.
2. Przesunąć stolik z soczewką w prowadnicy uchwytu do momentu pokrycia się środka w_1 z punktem *s* uchwytu.
3. Wyregulować, wzdłuż osi optycznej o-o, w pionie i poziomie, położenia przedmiotu **P**, soczewki **S**, ekranu **E**.
4. Przesunąć uchwyt z soczewką wzdłuż ławy optycznej do miejsca, w którym na ekranie powstanie ostry obraz przedmiotu **P**.
   Uwaga: Podczas przesuwania uchwytu obraz powinien być widoczny na ekranie, w przeciwnym przypadku powtórzyć czynności z punktu 2 i 3.
5. Zapisać odległości **a** (odległość przedmiot-soczewka) i **b** (odległość soczewka-obraz) z dokładnością 0,001 *m*.
6. Obliczyć wartość ogniskowej f_s soczewki skupiającej na podstawie wzoru:

$$\frac{1}{f_s} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \qquad (1)$$

7. Powtórzyć pomiary dla innych położeń ekranu na ławie optycznej.
   Uwaga: Podczas ustawiania ostrości obrazu soczewkę **S** przesuwać zawsze w tę samą stronę.
8. Obliczyć zdolność skupiającą (załamująca) soczewki ze wzoru:

$$z_s = \frac{n_0}{f_s} \qquad (2)$$

gdzie n_o jest współczynnikiem załamania ośrodka (dla powietrza n_o =1).

b) Wyznaczanie ogniskowej układu soczewek

1. Przesunąć stolik z soczewkami (skupiającą i rozpraszającą – zestawione razem muszą być układem skupiającym) w prowadnicy uchwytu do momentu pokrycia się środka w_1 z punktem *u* uchwytu.
2. Wyregulować, wzdłuż osi optycznej o-o, w pionie i poziomie, położenia przedmiotu **P**, układu soczewek **S** i ekranu **E**.
3. Przesunąć uchwyt z soczewką wzdłuż ławy optycznej do miejsca, w którym na ekranie powstanie ostry obraz przedmiotu **P**.
   Uwaga: Podczas przesuwania uchwytu obraz powinien być widoczny na ekranie, w przeciwnym przypadku powtórzyć czynności z punktu 2 i 3.
4. Zapisać odległości **a** (odległość przedmiot-soczewka) i **b** (odległość soczewka-obraz) z dokładnością 0,001 *m*.
5. Powtórzyć pomiary dla innych położeń ekranu na ławie optycznej.
   Uwaga: Podczas ustawiania ostrości obrazu soczewkę **S** przesuwać zawsze w tę samą stronę.
6. Obliczyć średnią wartość ogniskowej f_u z równania:

$$\frac{1}{f_u} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \qquad (3)$$

7. Obliczyć zdolność skupiającą układu z_u:

$$z_u = \frac{n_0}{f_u}$$

8. Mając z_s z wcześniejszych pomiarów obliczyć z układu równań z_r i f_r:

$$z_u = z_s + z_r$$

$$z_r = \frac{n_0}{f_r}$$

9. Zestawić w tabeli wyniki pomiarów i obliczeń. Narysować wykres zależności *b = f (a)* dla soczewki skupiającej.

10. Obliczyć dla jednego z wykonanych pomiarów niepewność popełnioną względem wartości średniej oraz niepewność względną maksymalną. Uwzględnić przy tym dokładność wyskalowania podziałki ławy optycznej (niedokładność odczytu) i wielkość przedziału położeń soczewki, w którym nie zauważamy zmiany ostrości obrazu widzialnego na ekranie.

11. Niepewność pomiaru ogniskowej f_s oszacować metodą różniczkowania wzoru (1).

Autor instrukcji:

Mariusz Mazurek

O 3.3. Pomiary ogniskowych soczewek metodą Bessela

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

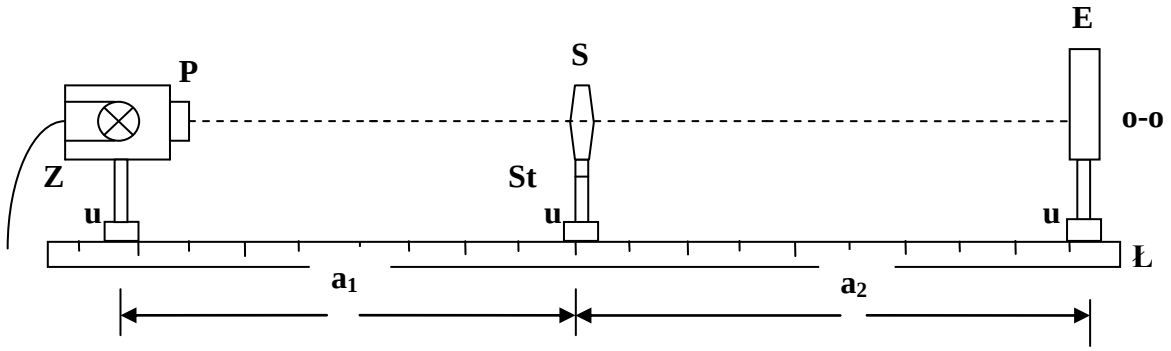
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Powstawanie obrazu w soczewce skupiającej i rozpraszającej (ognisko, zdolność skupiająca soczewki)
2. Rodzaje soczewek
3. Równanie soczewki
4. Metody wyznaczania ogniskowych soczewek

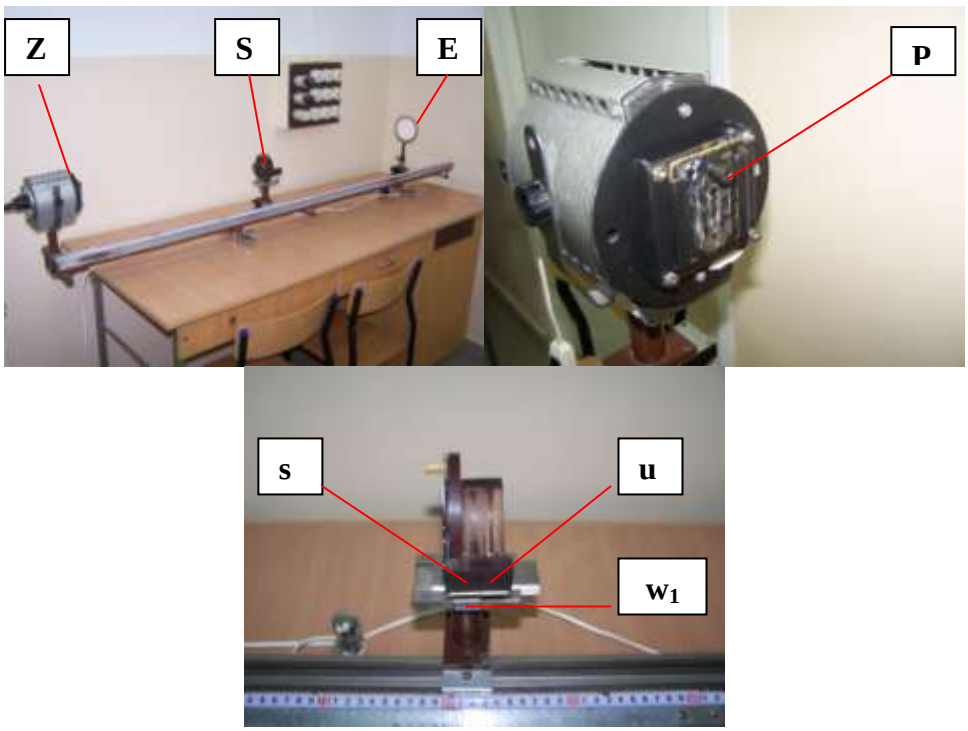
Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka*, J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 1983, tom II.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat rozmieszczenia przyrządów na ławie optycznej Ł: Z – źródło światła, S – soczewka (lub układ soczewek), u – uchwyty, o-o – oś optyczna, St – ruchomy stolik, P – przedmiot, a_1, a_2 – położenia soczewki



Rys. 2 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe

a) Wyznaczenie ogniskowej soczewki skupiającej

1. Przymocować na ławie optycznej **Ł** w odpowiednich uchwytach **u** następujące przyrządy: źródło światła **Z**, przedmiot **P** (szczelina z żyletki), stolik **St**, ekran **E**, soczewkę skupiającą **S** wg schematu na Rys. 1.
2. Ustawić na ławie optycznej **Ł** przedmiot **P** i ekran **E** tak, aby dla badanej soczewki spełniona była nierówność: $c > 4f$, (c – odległość przedmiotu **P** od ekranu **E**, f określamy szacunkowo przez obserwację miejsca zogniskowania promieni przechodzących przez badaną soczewkę, z odległego źródła).
3. Umieścić badaną soczewkę w oprawie.
4. Przesunąć stolik z soczewką w prowadnicy uchwytu do momentu pokrycia się środka w_1 z punktem s uchwytu.
5. Wyregulować, wzdłuż osi optycznej o-o, w pionie i poziomie, położenia przedmiotu **P**, soczewki **S**, ekranu **E**.
6. Przesuwając soczewkę wzdłuż ławy optycznej znaleźć takie położenie soczewki $\mathbf{a_1}$ (odległość przedmiot-soczewka), w którym na ekranie powstanie ostry powiększony obraz przedmiotu.
7. Analogicznie znaleźć położenie $\mathbf{a_2}$ (odległość soczewka-obraz) soczewki, w którym powstaje ostry pomniejszony obraz przedmiotu.
8. Powtórzyć kilkakrotnie pomiary położenia $\mathbf{a_1}$ i $\mathbf{a_2}$ dla innej odległości **c** przedmiotu od ekranu.
9. Zapisać wartości **s** i **c** (z dokładnością 0,001m), gdzie $s = a_2 - a_1$.
10. Obliczyć wartość ogniskowej soczewki skupiającej na podstawie wzoru:

$$f = \frac{c^2 - s^2}{4c} \qquad (1)$$

11. Obliczyć zdolność skupiającą (załamująca) soczewki ze wzoru:

$$z = \frac{n_o}{f} \qquad (2)$$

gdzie n_o jest współczynnikiem załamania ośrodka (dla powietrza n_o =1).

b) Wyznaczanie ogniskowej układu soczewek

1. Przymocować na ławie optycznej **Ł** w odpowiednich uchwytach **u** następujące przyrządy: źródło światła **Z**, przedmiot **P**, stolik **St**, ekran **E**, układ soczewek **S** (skupiająca i rozpraszająca). (Rys. 1).
2. Ustawić na ławie optycznej **Ł** przedmiot **P** i ekran **E** tak, aby dla badanej soczewki spełniona była nierówność: $c > 4f$, (f określamy szacunkowo przez obserwację miejsca zogniskowania promieni przechodzących przez badaną soczewkę, z odległego źródła).
3. Wybrać soczewkę rozpraszającą o ogniskowej f_r tak, aby po umieszczeniu jej z soczewką uprzednio badaną układ obu soczewek był układem skupiającym.
4. Przesunąć stolik z soczewkami w prowadnicy uchwytu do momentu pokrycia się środka w_1 z punktem *u* uchwytu.
5. Wyregulować, wzdłuż osi optycznej o-o, w pionie i poziomie, położenia przedmiotu **P**, soczewek **S**, ekranu **E**.
6. Przeprowadzić analogiczne pomiary położenia $\mathbf{a_1}$ i $\mathbf{a_2}$ dla układu soczewek jak w pkt. a
7. Powtórzyć czterokrotnie pomiary położenia $\mathbf{a_1}$ i $\mathbf{a_2}$ dla innej odległości **c** przedmiotu od ekranu.
8. Zapisać wartości wielkość **s**, **c** i f_u dla układu soczewek.
9. Obliczyć średnią wartość ogniskowej f_u z równania:

$$\frac{1}{f_s} + \frac{1}{f_r} = \frac{1}{f_u} \qquad (3)$$

10. Obliczyć zdolność skupiającą układu z_u:

$$z_u = \frac{n_0}{f_u}$$

11. Mając z_s z wcześniejszych pomiarów obliczyć z układu równań z_r i f_r:

$$z_u = z_s + z_r$$

$$z_r = \frac{n_0}{f_r}$$

12. Zestawić w tabeli wyniki pomiarów i obliczeń.
13. Obliczyć dla jednego z wykonanych pomiarów niepewność popełnioną względem wartości średniej oraz niepewność względną maksymalną. Uwzględnić przy tym dokładność wyskalowania podziałki ławy optycznej (niedokładność odczytu) i wielkość przedziału położeń soczewki, w którym nie zauważamy zmiany ostrości obrazu widzialnego na ekranie.
14. Niepewność pomiaru ogniskowej f_s oszacować metodą różniczkowania wzoru (1).

Autor instrukcji:

Mariusz Mazurek

O 3.4. Wyznaczanie ogniskowych soczewek na podstawie pomiaru powiększenia liniowego

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

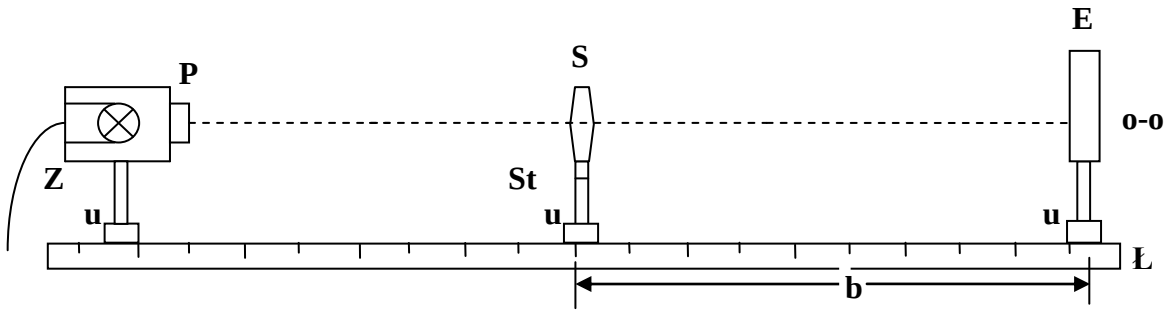
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Definicja współczynnika powiększenia obrazu
2. Związek między ogniskową soczewki i jej powiększeniem
3. Wyprowadzenie równanie soczewki, zależność ogniskowej soczewki od współczynnika załamania
4. Rodzaje i zastosowanie soczewek
5. Powstawanie obrazu w soczewce skupiającej i rozpraszającej

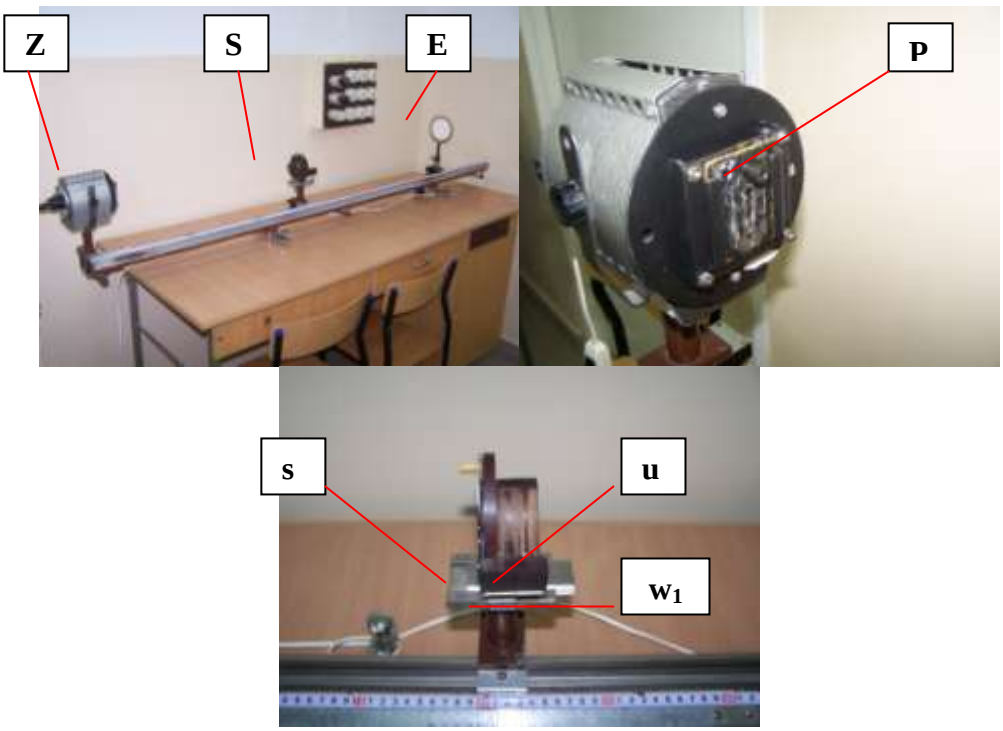
Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka*, J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 1983, tom II.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat rozmieszczenia przyrządów na ławie optycznej Ł; Z – źródło światła, S – soczewka (lub układ soczewek), E – ekran, u – uchwyty, o-o – oś optyczna, St – ruchomy stolik, P – przedmiot



Rys. 2 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe

a) Wyznaczanie ogniskowej soczewki skupiającej

1. Przymocować na ławie optycznej **Ł** w odpowiednich uchwytach **u** następujące przyrządy: źródło światła **Z**, przedmiot **P** (podziałka milimetrowa), stolik **St**, ekran ze skalą milimetrową **E**, soczewkę skupiającą **S** wg schematu na Rys. 1.
2. Przesunąć stolik z soczewką w prowadnicy uchwytu do momentu pokrycia się środka w_1 z punktem *s* uchwytu.
3. Dobrać odległość ekranu tak, aby zaobserwować na nim ostry obraz podziałki milimetrowej przedmiotu **P**. Skala milimetrowa ekranu **E** i podziałka przedmiotu **P** powinny znajdować się równolegle względem siebie.
4. Przyporządkować odległość np. **L** = 10 *mm* na podziałce przedmiotu odpowiednią odległość **L'** na skali milimetrowej ekranu E (z dokładnością 0,5 działki tej skali) oraz zapisać odległość **b** ekranu od soczewki (z dokładnością 0,001 *m*).
5. Powtórzyć pomiar kilkakrotnie dla innych położeń ekranu **E** na ławie optycznej.
6. Obliczyć wartość liczbową f_s ze wzoru:

$$f = \frac{b}{1-\frac{L'}{L}} \qquad (1)$$

Uwaga: Obserwując obraz przez soczewkę przesuwać ją zawszę w tę samą stronę!

7. Obliczyć zdolność skupiającą (załamująca) soczewki ze wzoru:

$$z = \frac{n_o}{f} \qquad (2)$$

gdzie n_o jest współczynnikiem załamania ośrodka (dla powietrza n_o =1).

b) Wyznaczanie ogniskowej układu soczewek

1. Przymocować na ławie optycznej **Ł** w odpowiednich uchwytach **u** następujące przyrządy: źródło światła **Z**, przedmiot **P** (podziałka milimetrowa), stolik **St**, ekran ze skalą milimetrową **E**, układ soczewek **S** (skupiająca i rozpraszająca).
2. Wybrać soczewkę rozpraszającą o ogniskowej f_r tak, aby po umieszczeniu jej z soczewką uprzednio badaną układ obu soczewek był układem skupiającym.
3. Przesunąć stolik z soczewkami w prowadnicy uchwytu do momentu pokrycia się środka w_1 z punktem *u* uchwytu.
4. Dobrać odległość ekranu tak, aby zaobserwować na nim ostry obraz podziałki milimetrowej przedmiotu **P**. Skala milimetrowa ekranu **E** i podziałka przedmiotu **P** powinny znajdować się równolegle względem siebie.
5. Zmierzyć wartość **L** oraz **L'** skali milimetrowej ekranu **E** (z dokładnością 0,5 działki tej skali) i zapisać odległość **b** ekranu od soczewki (z dokładnością 0,001*m*).
6. Powtórzyć pomiary kilkakrotnie dla innych położeń ekranu **E** na ławie optycznej.
7. Obliczyć wartość liczbową ogniskowej układu f_u stosując wzór (1).

   Uwaga: Obserwując obraz przez soczewkę przesuwać ją zawszę w tę samą stronę!
8. Obliczyć średnią wartość ogniskowej f_u z równania:

$$\frac{1}{f_s} + \frac{1}{f_r} = \frac{1}{f_u} \qquad (3)$$

9. Obliczyć zdolność skupiającą układu z_u:

$$z_u = \frac{n_0}{f_u}$$

10. Mając z_s z wcześniejszych pomiarów obliczyć z układu równań z_r i f_r:

$$z_u = z_s + z_r$$

$$z_r = \frac{n_0}{f_r}$$

11. Przedstawić wyniki w tabeli.
12. Obliczyć dla jednego z wykonanych pomiarów niepewność popełnioną względem wartości średniej oraz niepewność względną maksymalną. Pomiar **L'** zależy od dokładności odczytu Δ**L'** na skali ekranu oraz ustawienia na ostrość skali **L'**. Ostrość widzenia skali **L**, jako obrazu **L'** na ekranie, regulujemy odległością **b**.
13. Niepewność pomiaru ogniskowej f_s oszacować metodą różniczkowania wzoru (1).

Autor instrukcji:

Mariusz Mazurek

O 5.1. Skalowanie mikroskopu i pomiar małych przedmiotów

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

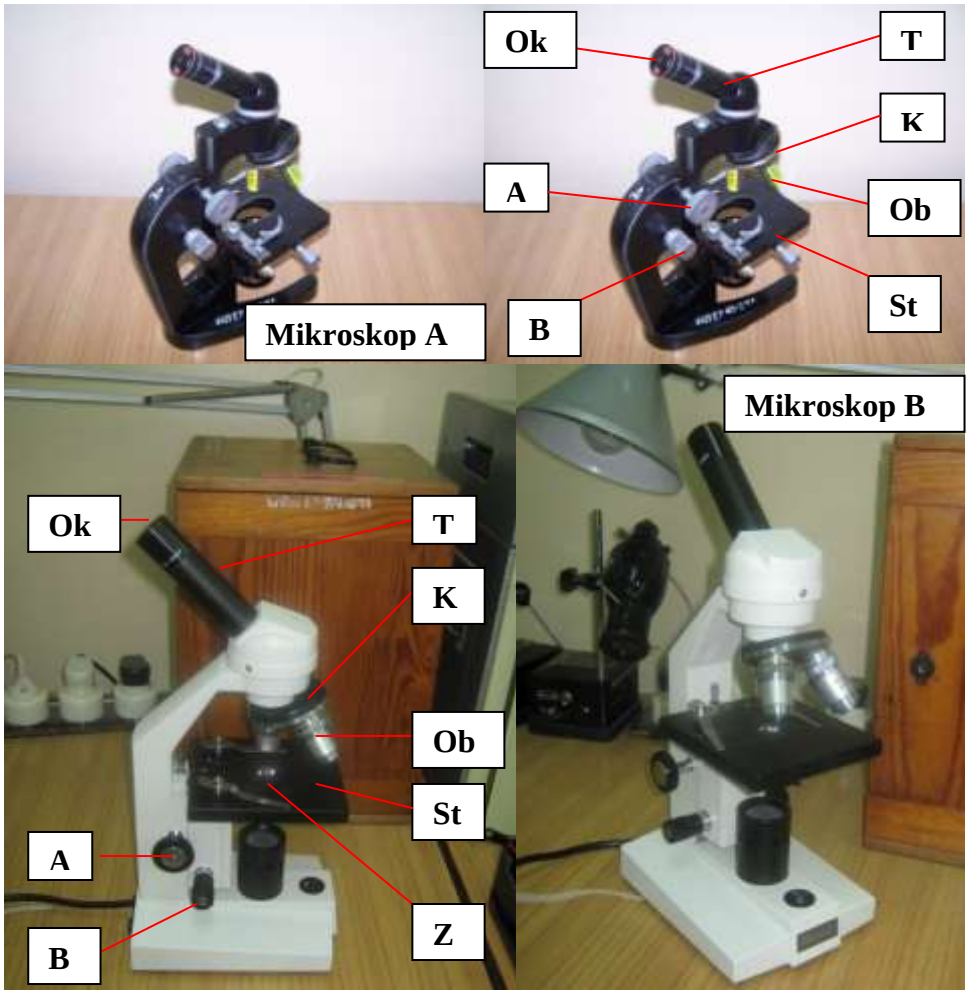
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Budowa mikroskopu
2. Wady optyczne soczewek
3. Powstawanie obrazów w soczewkach i w mikroskopie
4. Parametry charakteryzujące mikroskop

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka*, J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 1983, tom II.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Wygląd zewnętrzny mikroskopów A i B; T – tubus, Ok – okular, Ob – obiektyw, A – klemariera do opuszczania i podnoszenia tubusa, B – mikrośruba do opuszczania i podnoszenia tubusa, St – stolik, K – kondensor, Z – zwierciadło

a) Skalowanie mikroskopu

1. W oprawę tubusa zamiast okularu zwykłego wstawić okular z podziałką.
2. Umieścić skalę mikrometryczną na stoliku mikroskopu.
3. Ustawić ostre widzenie obu skal.
4. Patrzeć przez okular na skalę mikrometryczną porównać najdłuższy odcinek tej skali z odpowiednim odcinkiem skali okularowej.
5. Odczytać ile działek skali mikrometrycznej **n** pokrywa się z działkami skali okularu **b**.
6. Obliczyć długość działki skali okularu **k** według wzoru:

$$k = \frac{n}{100b}\ mm \qquad (1)$$

7. Przeprowadzić skalowanie mikroskopu trzykrotnie dla pary: okular – obiektyw.
8. Obliczyć średnią długość działki skali okularu $\bar{k}$.
9. Zestawić wyniki pomiarów w tabeli.

b) Określenie rozmiaru przedmiotu

1. Umieścić na stoliku przedmiot, którego rozmiary należy określić.
2. Obliczyć rozmiary przedmiotu za pomocą działek skali okularu **k** według wzoru:

$$l = k \cdot z, \qquad (2)$$

   gdzie **z** to liczba działek.
3. Policzyć średni rozmiar przedmiotu w działkach okularu $\bar{z}$.
4. Zapisać wyniki pomiaru w tabeli.
5. Niepewność pomiaru **l** oszacować metodą różniczkowania wzoru (2), uwzględniając wzór (1) na **k** oraz przyjmując $\Delta n = 0{,}5$ dz. i $\Delta b = 0{,}5$ dz.

Autor instrukcji:

Mariusz Mazurek

O 5.2. Pomiar powiększenia liniowego obrazu przedmiotu oglądanego przy użyciu mikroskopu

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Budowa mikroskopu
2. Powiększenie wizualne
3. Powiększenie poprzeczne
4. Okular mikrometryczny
5. Zdolność rozdzielcza mikroskopu

Literatura:

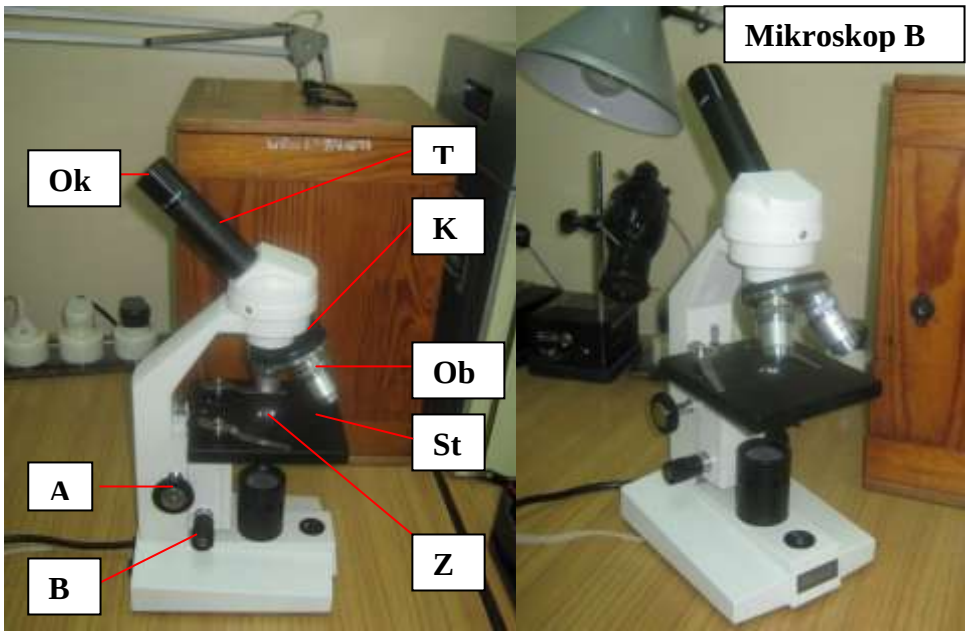
1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka*, J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej*, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 1983, tom II.

Wykonanie zadania:

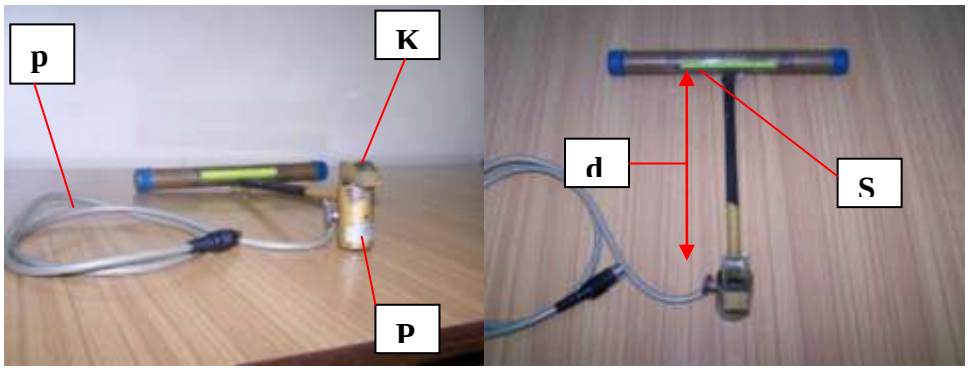
1. Umieścić na stoliku mikroskopu B skalę mikrometryczną (Rys. 1 i Rys. 2.)
2. Umieścić okular **B3** lub **B4** w oprawie tubusu.
3. Oświetlić skalę mikrometryczną oświetlaczem i przesuwając pokrętłem tubusu mikroskopu ustawić go na ostre widzenie skali.
   Uwaga: Aby nie zgnieść szkiełka ze skalą mikrometryczną, należy, obserwując z boku, opuszczać ostrożnie tubus mikroskopu do położenia, w którym obiektyw prawie się styka ze skalą. Patrząc przez okular ustawić mikroskop na ostre widzenie skali przesuwając tubus do góry.
4. Nałożyć na koniec tubusu **T** skalę z nasadką (Rys. 2) za pomocą pierścienia mocującego **P** i podświetlić skalę milimetrową, podłączając przewód zasilający **p** do zasilacza.
5. Ustawić skalę mikrometryczną i milimetrową blisko siebie i równolegle.
6. Wyregulować podświetlenie obu skal i ostrość ich widzenia.
7. Odczytać ile całkowitych działek podziałki milimetrowej **m** przypada na całkowitą liczbę działek podziałki mikrometrycznej **n**, obserwowanej przez mikroskop.
8. Pomiar wykonać trzykrotnie dla różnych wartości **m** i **n**.
9. Obliczyć powiększenie mikroskopu na podstawie wzoru:

$$p = \frac{m}{0{,}01\,n} \qquad (1)$$

10. Powtórzyć pomiary dla innych obiektywów i okularów wskazanych przez prowadzącego.
11. Obliczyć średnią wartość powiększenia $\overline{p}$.
12. Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tabeli.
13. Niepewność pomiaru powiększenia liniowego oszacować metodą różniczkowania wzoru (1), przyjmując $\Delta m = 0{,}5$ dz. i $\Delta n = 0{,}5$ dz.



Rys. 1. Wygląd zewnętrzny i przekrój mikroskopu B; T – tubus, Ok – okular, Ob – obiektyw, A – klemariera do opuszczania i podnoszenia tubusu, B – mikrośruba do opuszczania i podnoszenia tubusa, St – stolik, K – kondensor, Z – zwierciadło



Rys. 2 Skala z nasadką na okular mikroskopu służąca do pomiaru zdolności powiększającej; S – skala w mm, d = 25 *cm*, p – przewód zasilający, P – pierścień mocujący, K – kostka sklejona z dwóch pryzmatów

<u>Autor instrukcji:</u>

Mariusz Mazurek

O 6.1. Pomiar względnej światłości żarówek elektrycznych

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Światło jako fala elektromagnetyczna
2. Wielkości i jednostki fotometryczne:
   a) Natężenie światła
   b) Strumień świetlny
   c) Oświetlenie
   d) Światłość
   e) Jasność
3. Fotometr – budowa, zasada działania, rodzaje

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka*, J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. I.W. Sawieliew, *Wykłady z fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998, tom II.
3. Cz. Bobrowski, *Fizyka - krótki kurs*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Napięcie zasilania żarówek wzorcowych i badanych U = 230V

Moc żarówek:

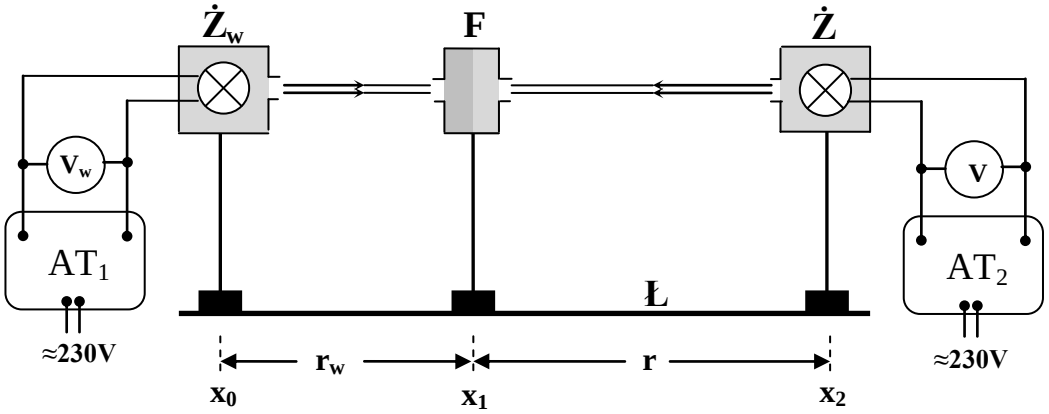
WZ1: 75W WZ2: 60W

NR1: 15W NR2: 25W NR3 40W NR4: 75W

NR5: 60W

Wykonanie zadania:

1. W skład zestawu doświadczalnego wchodzą: ława fotometryczna (Ł), fotometr (F), wzorcowe źródło światła ($Ż_w$), badane źródło światła (Ż), dwa autotransformatory (AT_1, AT_2), dwa woltomierze (V_w, V) zestawione według schematu przedstawionego na Rys. 1.



Rys. 1 Schemat zestawu do badania względnej światłości żarówek elektrycznych

2. Umieścić żarówki (wzorcową i badaną) w osłonach na nie przeznaczonych.
3. Ustawić źródła światła oraz fotometr w jednej osi optycznej.

4. Włączyć zasilanie autotransformatorów.
5. Ustawić napięcie zasilania obu żarówek na 230V (napięcie nominalne) lub według wskazań prowadzącego zajęcia. **Uwaga**! Wartość napięcia zasilania należy odczytywać ze wskazań odpowiednich woltomierzy. Skale autotransformatorów mają charakter pomocniczy.
6. Obserwując przez okular głowicę fotometryczną dobrać takie położenie x_1 fotometru F, (przy stałych położeniach x_0 i x_2) (patrz Rys.1) dla którego oświetlenia obu części widzenia zrównują się ze sobą. Odczytu położenia x_1 dokonać przynajmniej dwukrotnie a do wyliczeń wstawić wartość średnią $\bar{x}_1$.
7. Zmienić położenie żarówki x_2 zmniejszając go o 5-10 cm. Ponownie dobrać takie położenie fotometru F, dla którego oba pola głowicy fotometru są jednakowo oświetlone.
8. Powyższą czynność powtórzyć dla 5-6 różnych położeń x_2 źródła badanego.
9. Obliczyć odległości poszczególnych źródeł światła od fotometru:
   $r_w = x_1 - x_0$ $\qquad$ $r = x_2 - x_1$
10. Światłość względną badanego źródła wyliczyć ze wzoru:

$$I_z = \frac{r^2}{r_w^2} \tag{1}$$

11. Niepewność wyliczenia światłości względnej oszacować metodą różniczkowania wzoru (1). Jako błąd bezpośredni pomiaru odległości źródeł światła od fotometru $\Delta r_{w\max}$, $\Delta r_{\max}$ należy przyjąć sumę błędu wynikającego z odczytu ze skali milimetrowej $\Delta r_{1\max}$ oraz błędu wynikającego z czułości oka ludzkiego na zmianę jasności oświetlenia pól widzenia fotometru $\Delta r_{2\max}$. Jako $\Delta r_{2\max}$ należy przyjąć wartość przesunięcia głowicy fotometru, dla której nie obserwowana jest zmiana jasności pól widzenia.

<u>Autor instrukcji:</u>

Tomasz Pikula

O 6.2. Pomiar sprawności świetlnej żarówek elektrycznych

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Światło jako fala elektromagnetyczna
2. Wielkości i jednostki fotometryczne:
   f) Sprawność świetlna
   g) Natężenie światła
   h) Strumień świetlny
   i) Oświetlenie
   j) Światłość
   k) Jasność
3. Fotometr – budowa, zasada działania, rodzaje

Literatura:

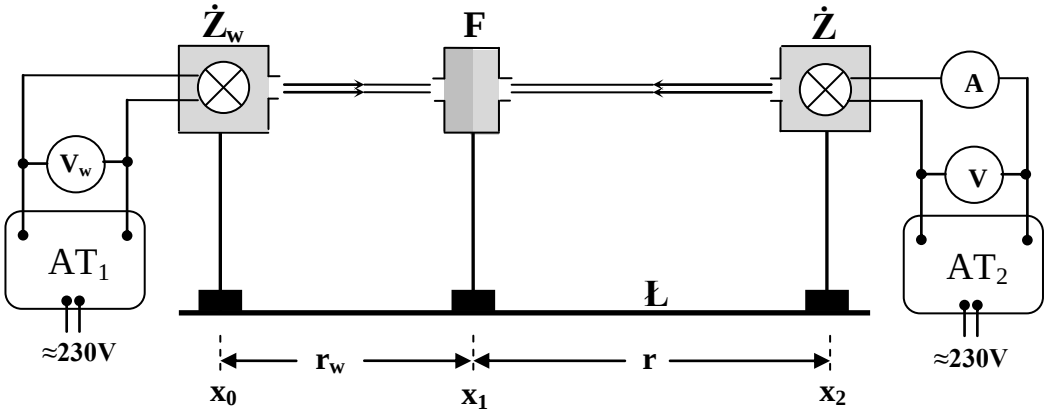
1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka*, J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. I.W. Sawieliew, *Wykłady z fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998, tom II.
3. Cz. Bobrowski, *Fizyka - krótki kurs*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Napięcie zasilania żarówek wzorcowych U = 230V
Moc żarówek:
WZ1: 75W WZ2: 60W
NR1: 15W NR2: 25W NR3 40W NR4: 75W
NR5: 60W

Wykonanie zadania:

1. W skład zestawu doświadczalnego wchodzą: ława fotometryczna (Ł), fotometr (F), wzorcowe źródło światła ($Ż_w$), badane źródło światła (Ż), dwa autotransformatory (AT_1, AT_2), dwa woltomierze (V_w, V), amperomierz (A), zestawione według schematu przedstawionego na Rys. 1.



Rys. 1 Schemat zestawu do pomiaru sprawności świetlnej żarówek elektrycznych

2. Umieścić żarówki (wzorcową i badaną) w osłonach na nie przeznaczonych.
3. Ustawić źródła światła oraz fotometr w jednej osi optycznej.

4. Włączyć zasilanie autotransformatorów.
5. Ustawić napięcie zasilania żarówki wzorcowej na jej napięcie nominalne (230V) lub zgodnie z sugestią prowadzącego zajęcia.
6. Ustawić napięcie zasilania żarówki badanej na 180V. **Uwaga!** Wartości napięć zasilania odczytujemy posługując się odpowiednimi woltomierzami, skale autotransformatorów traktujemy pomocniczo.
7. Dobrać takie położenie x_1 fotometru F, (przy stałych położeniach x_0 i x_2) (patrz Rys.1) dla którego oba pola widzenia głowicy fotometru są oświetlone jednakowo. Odczytu x_1 dokonać przynajmniej dwukrotnie a do obliczeń wstawić wartość średnią.
8. Odczytać wartość natężenia prądu I płynącego w obwodzie żarówki badanej.
9. Pkt. 6-8 powtarzać zmieniając wartość napięcia zasilania U żarówki badanej w zakresie 180-240V co 10V.
10. Obliczyć odległości poszczególnych źródeł światła od fotometru:
    $r_w = x_1 - x_0$ $\qquad$ $r = x_2 - x_1$
11. Względną sprawność świetlną żarówki badanej dla każdej wartości U wyliczyć ze wzoru:

$$\eta_z = \frac{r^2}{r_w^2 \cdot U \cdot I} \tag{1}$$

12. Wyliczyć średnią wartość względnej sprawności świetlnej $\overline{\eta}_z$.
13. Niepewność wyznaczenia względnej sprawności świetlnej oszacować metodą różniczkowania wzoru (1) względem zmiennych r, r_w, U, I. Jako błąd bezpośredni pomiaru odległości źródeł światła od fotometru $\Delta r_{w\max}$, $\Delta r_{\max}$ należy przyjąć sumę błędu wynikającego z odczytu ze skali milimetrowej $\Delta r_{1\max}$ oraz błędu wynikającego z czułości oka ludzkiego na zmianę jasności oświetlenia pól widzenia fotometru $\Delta r_{2\max}$. Jako $\Delta r_{2\max}$ należy przyjąć wartość przesunięcia głowicy fotometru, dla której nie obserwowana jest zmiana jasności pól widzenia.

<u>Autor instrukcji:</u>

Tomasz Pikula

O 6.3. Pomiar współczynnika pochłaniania światła w płytkach przezroczystych

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Światło jako fala elektromagnetyczna
2. Wielkości i jednostki fotometryczne:
   l) Sprawność świetlna
   m) Natężenie światła
   n) Strumień świetlny
   o) Oświetlenie
   p) Światłość
   q) Jasność
3. Współczynnik pochłaniania światła
4. Fotometr – budowa, zasada działania, rodzaje

Literatura:

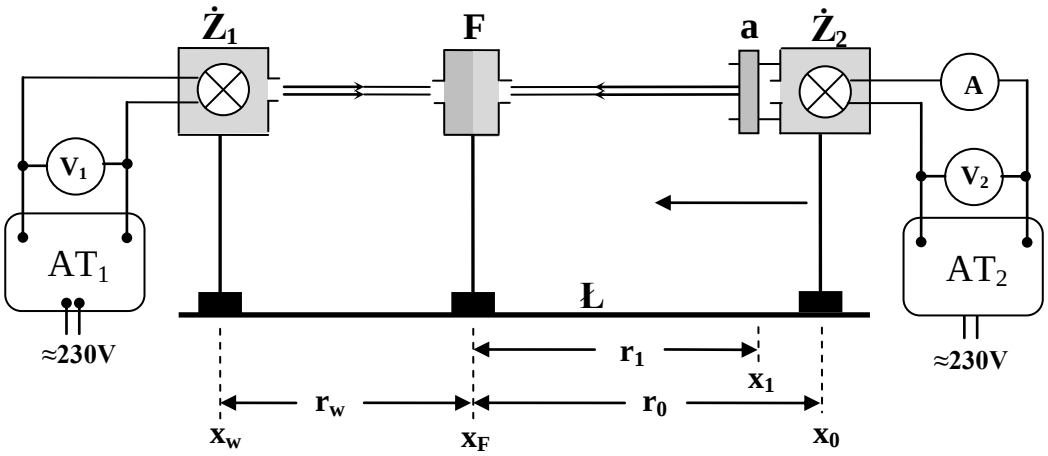
1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka*, J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. I.W. Sawieliew, *Wykłady z fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998, tom II.
3. Cz. Bobrowski, *Fizyka - krótki kurs*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Napięcie zasilania żarówek U = 230V
Moc żarówek: 60W

Wykonanie zadania:

1. W skład zestawu doświadczalnego wchodzą: ława fotometryczna (Ł), fotometr (F), dwa źródła światła (żarówki) o jednakowych mocach ($\dot{Z}_1$) i ($\dot{Z}_2$), dwa autotransformatory (AT_1, AT_2), dwa woltomierze (V_1, V_2), amperomierz (A), zestaw absorbentów (a), zestawione według schematu przedstawionego na Rys.1.



Rys. 1 Schemat zestawu do pomiaru współczynnika pochłaniania światła

2. Umieścić żarówki w osłonach na nie przeznaczonych.
3. Ustawić źródła światła oraz fotometr w jednej osi optycznej.
4. Włączyć zasilanie autotransformatorów.
5. Ustawić napięcia zasilania żarówek na napięcia nominalne (230V) lub zgodnie z sugestią prowadzącego zajęcia.
6. Źródła światła ustawić w jednakowych odległościach od fotometru $r_0 = r_w$ (Rys.1).
7. Patrząc w okular fotometru wyregulować nieznacznie wartości napięć zasilających żarówki U_1, U_2 aż do uzyskania jednakowego oświetlenia obu pól głowicy fotometru.
8. Odczytać położenia x_0, x_w, x_F.
9. Umieścić pierwszą (najcieńszą) płytkę absorbentu (a) o grubości l_1 przed źródłem $\dot{Z}_2$. Do zamocowania absorbentu służą specjalne uchwyty na obudowie źródła $\dot{Z}_2$.
10. Nie zmieniając wartości napięć zasilających U_1, U_2 zbliżyć układ ($\dot{Z}_2$) (a) do fotometru na odległość r_1 w celu ponownego osiągnięcia równości oświetleń obu pól widzenia. Czynność tę wykonać przynajmniej dwukrotnie a do obliczeń wstawić wartość średnią $\bar{r}_1$. Położenia x_w, x_F żarówki ($\dot{Z}_1$) oraz fotometru (F) pozostają niezmienione.
11. Analogiczne pomiary przeprowadzamy umieszczając kolejno absorbenty o coraz większych grubościach l_2, l_3, l_4 … i odpowiednio zbliżając układ ($\dot{Z}_2$) (a) do fotometru. Za każdym razem notować odległość r_2, r_3, r_4… układu ($\dot{Z}_2$) (a) od fotometru.
12. Wartość względnego współczynnika pochłaniania światła μ_i wyliczyć dla każdej serii pomiarowej ze wzoru:

$$\mu_i = \frac{\ln\left(\dfrac{0{,}9216 \cdot r_w^2}{r_i^2}\right)}{l_i}, \qquad (1)$$

pamiętając że: $r_i = \bar{x}_i - x_F$.

13. Na podstawie otrzymanych wyników wykreślić zależność funkcyjną:

$$\ln\left(\frac{0{,}9216 \cdot r_w^2}{r_i^2}\right) = f(l_i) \qquad (2)$$

Szukanym względnym współczynnikiem pochłaniania światła jest współczynnik kierunkowy μ wyrysowanej prostej.

14. Niepewność pojedynczego pomiaru μ_i oszacować metodą różniczkowania wzoru (1). Równanie prostej (2) oraz niepewność wyznaczenia μ wyliczyć metodą najmniejszych kwadratów.

<u>Autor instrukcji:</u>

Tomasz Pikula

O 6.4. Badanie charakterystyki kierunkowej promieniowania źródła światła

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Światło jako fala elektromagnetyczna
2. Wielkości i jednostki fotometryczne:
   r) Natężenie światła
   s) Strumień świetlny
   t) Oświetlenie
   u) Światłość
   v) Jasność
3. Fotometr rozkładowy
4. Ogniwo fotoelektryczne
5. Zależność natężenia prądu fotoelektrycznego od natężenia oświetlenia fotoogniwa.

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka*, J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. I.W. Sawieliew, *Wykłady z fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998, tom II.
3. Cz. Bobrowski, *Fizyka - krótki kurs*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

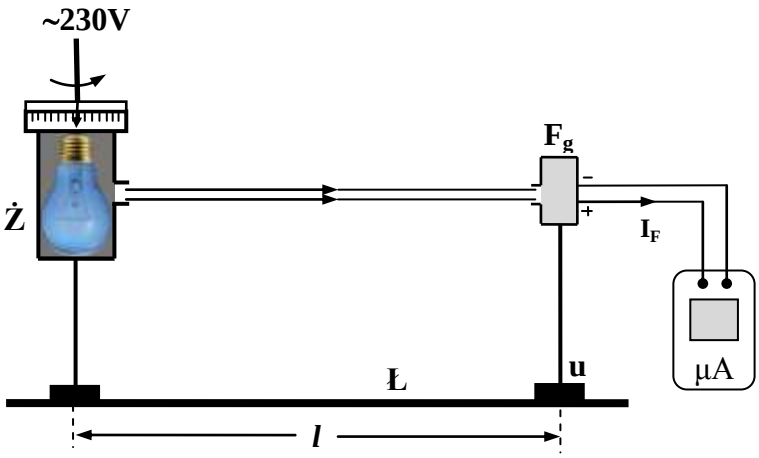
Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Odległość fotoogniwa od źródła światła l = 60-90 cm
Moc żarówek:

WZ1:	75W	WZ2:	60W				
NR1:	15W	NR2:	25W	NR3	40W	NR4:	75W
NR5:	60W						

Wykonanie zadania:

1. W ćwiczeniu wykorzystywany jest fotometr rozkładowy. W jego skład wchodzą: ława fotometryczna (Ł), źródło światła (Ż) (żarówka w obrotowej obudowie z podziałką kątową), ogniwo fotoelektryczne (F_g), mikroamperomierz (μA).



Rys. 1 Schemat zestawu do pomiaru sprawności świetlnej żarówek elektrycznych

2. Przyrządy zestawić według schematu przedstawionego na Rys.1.
3. Umieścić badaną żarówkę w obudowie oraz podłączyć jej zasilanie.
4. Umieścić fotoogniwo w uchwycie (u).
5. Ustawić źródło światła oraz otwór fotoogniwa w jednej osi.
6. Podłączyć mikroamperomierz do fotoogniwa w sposób pokazany na rysunku.
7. Ustawić fotoogniwo w odległości 60-90 cm od źródła światła.
8. Zmieniać kąt β ustawienia żarówki względem fotoogniwa w zakresie *0-360°* co *10°*. Dla każdego położenia notować wartość natężenia fotoprądu I_F.
9. Pomiary przeprowadzić dla przynajmniej dwóch różnych odległości *l* fotoogniwa od źródła światła.
10. Wykreślić w układzie biegunowym charakterystykę kierunkową promieniowania źródła światła $I_F = f(\beta, l)$. Charakterystyki sporządzone dla różnych odległości *l* umieścić na jednym wykresie. W centrum wykresu wyrysować ułożenie włókna żarówki.
11. Wyciągnąć wnioski dotyczące kształtu charakterystyk. Porównać charakterystyki otrzymane dla różnych odległości *l*.
12. Oszacować niepewności odczytu $\Delta\beta_{\max}$, $\Delta I_{F\max}$, $\Delta l_{\max}$, biorąc pod uwagę dokładności wykorzystanych przyrządów.

<u>Autor instrukcji:</u>

Tomasz Pikula

O 9.1. Wyznaczanie długości fal świetlnych przepuszczanych przez filtr, przy pomocy siatki dyfrakcyjnej

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Światło jako fala elektromagnetyczna
2. Zjawisko dyfrakcji i interferencji światła, doświadczenie Younga
3. Światło monochromatyczne, światło białe, spójność fali
4. Siatka dyfrakcyjna
5. Filtry optyczne

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka*, J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom IV.
3. I.W. Sawieliew, *Wykłady z fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998, tom II.
4. Cz. Bobrowski, *Fizyka - krótki kurs*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

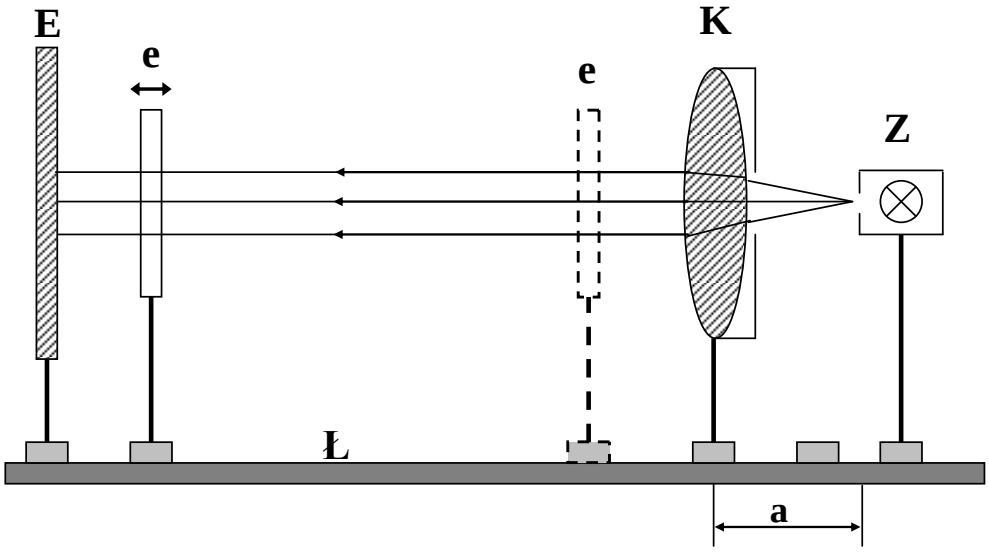
Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Stałe siatek dyfrakcyjnych:

$d_1 = 3{,}38\mu m$ $\quad d_2 = 1{,}61\mu m$ $\quad d_3 = 5{,}27\mu m$

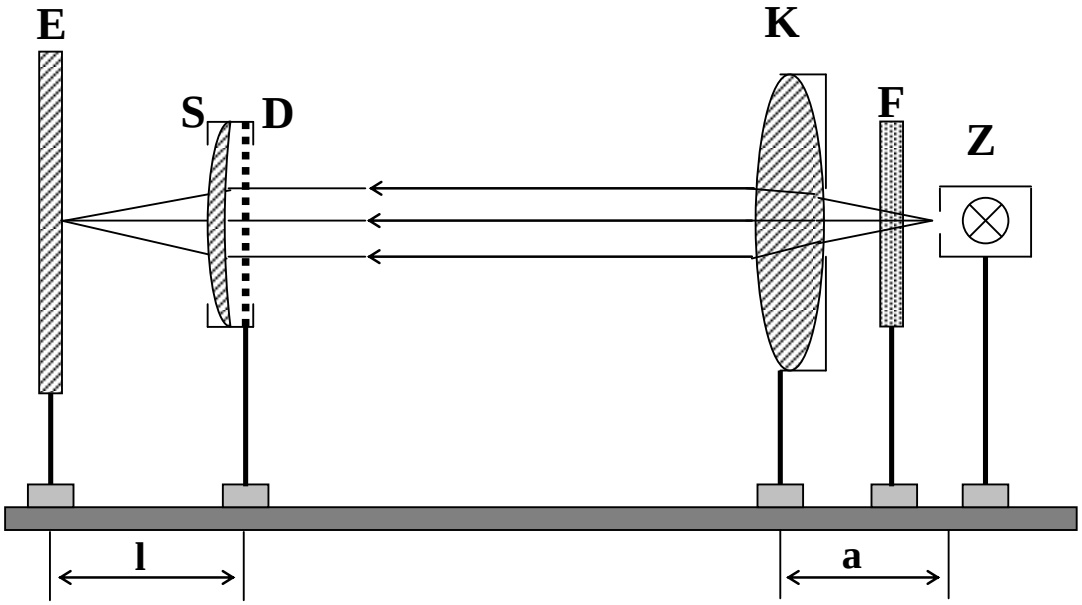
Wykonanie zadania:

1. Przed przystąpieniem do wykonania ćwiczenia 9.1 z użyciem źródła światła białego należy najpierw sprawdzić równoległość wiązki światła. Układ do sprawdzania równoległości wiązki składa się z: ławy optycznej (Ł), źródła światła-lampki mikroskopowej (Z), kondensora (K), ekranu ruchomego (e) oraz ekranu stałego (E). Przyrządy należy ustawić według schematu przedstawionego na Rys. 1.



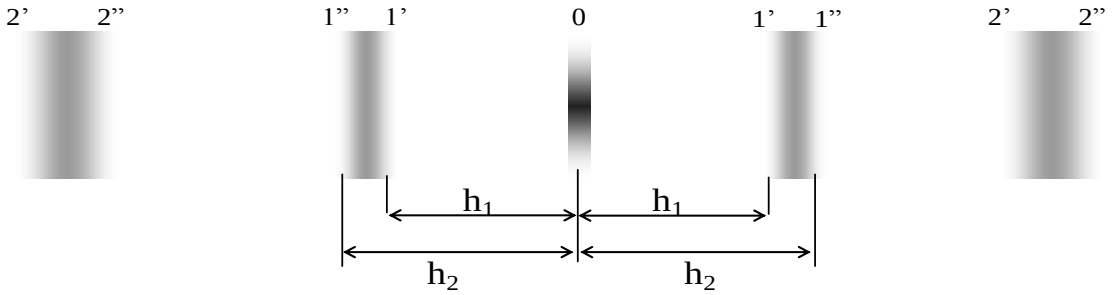
Rys. 1 Zestaw do sprawdzania równoległości wiązki światła białego

2. Odległość kondensora (K) od ekranu stałego (E) ustalić na około 90 – 100 cm.
3. Ustalić odległość *a* od szczeliny źródła światła (Z) do kondensora (K) na około 15-20 cm.
4. Przesuwając ruchomy ekran (e) w lewo i w prawo wzdłuż ławy optycznej sprawdzić, czy obraz wiązki na tym ekranie nie ulega zwężeniu lub poszerzeniu (może „rozmywać się" na pionowych granicach, lecz powinien zajmować szerokość obszaru zakreskowanego na ekranie ruchomym).
5. W przypadku stwierdzenia braku równoległości wiązki światła skorygować odległość *a* i powtórzyć pkt. 4.
6. Po stwierdzeniu równoległości wiązki światła białego na miejsce ekranu ruchomego (e) wstawić siatkę dyfrakcyjną (D) wraz z soczewką (S) (Rys.2).
7. Wstawić filtr (F) pomiędzy źródło światła (Z) i kondensor (K) (Rys.2).



Rys. 2 Zestaw do wyznaczania długości fal świetlnych przepuszczanych przez filtr

8. Dobrać odległość *l* pomiędzy ekranem (E) a układem (S) (D) tak, aby obraz prążka rzędu „0" w obrazie dyfrakcyjnym obserwowanym na ekranie (Rys. 3) był ostry (odległość ta powinna być równa ogniskowej soczewki (S) wypisanej na jej obudowie).
9. Dokonać pomiarów odległości brzegów prążków dyfrakcyjnych h_1 i h_2 kolejnych rzędów od prążka centralnego tak jak pokazuje to Rys 3.
10. W celu zmniejszenia niepewności pomiaru h_1 i h_2 należy odczytywać odległości pomiędzy brzegami prążków (1' – 1' oraz 1" – 1") a otrzymany wynik podzielić na dwa. Podobnie należy postąpić odczytując odległości dla prążków wyższych rzędów, o ile są one widoczne. (Rys. 3)



Rys. 3 Obraz dyfrakcyjny

11. Stosując poniższe wzory wyliczyć długości fal λ_1 λ_2 odpowiadające granicom części widma światła przepuszczanego przez filtr:

$$\lambda_1 = \frac{d \cdot h_1}{m\sqrt{h_1^2 + l^2}}, \qquad \lambda_1 = \frac{d \cdot h_2}{m\sqrt{h_2^2 + l^2}}, \tag{1}$$

gdzie: d – stała siatki dyfrakcyjnej,
m – rząd widma,
l – odległość układu soczewka siatka(S)(D) od ekranu (E).

12. Wyliczyć szerokość części widma przepuszczanej przez filtr stosując wzór:

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$$

13. Oceny niedokładności wyznaczenia $\Delta\lambda$ dokonać metodą różniczkowania wzorów (1) przyjmując jako zmienne h_1 , h_2, oraz l.

<u>Autor instrukcji:</u>

Tomasz Pikula

O 9.2. Wyznaczanie stałej siatki dyfrakcyjnej

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Światło jako fala elektromagnetyczna
2. Zjawisko dyfrakcji i interferencji światła, doświadczenie Younga
3. Światło monochromatyczne, światło białe, spójność fali
4. Własności i powstawanie światła laserowego
5. Siatka dyfrakcyjna

Literatura:

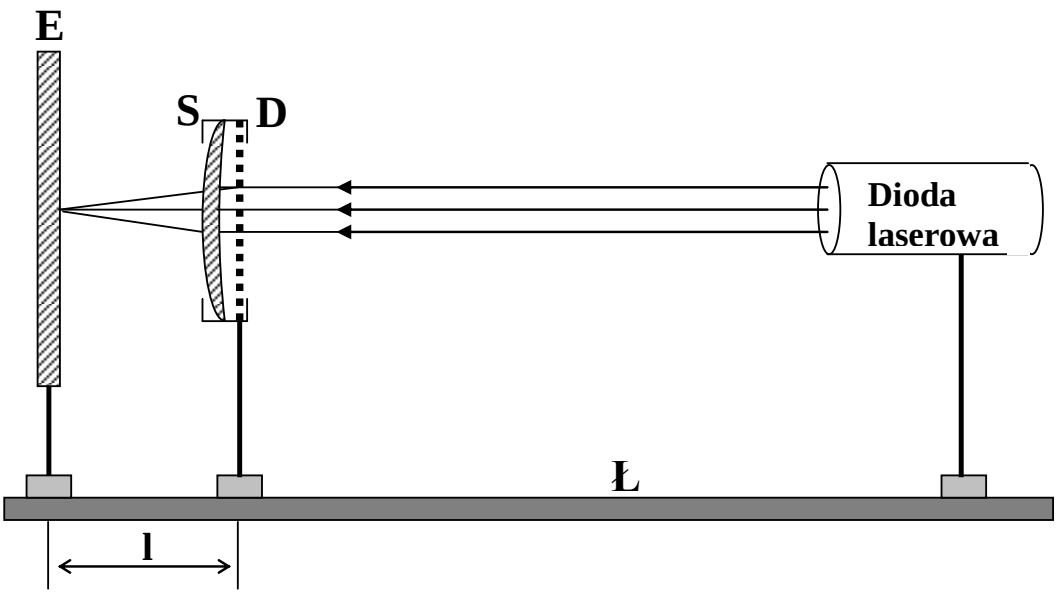
1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka*, J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom IV.
3. I.W. Sawieliew, *Wykłady z fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998, tom II.
4. Cz. Bobrowski, *Fizyka - krótki kurs*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Długość fali światła laserów używanych w ćwiczeniu:
λ_1= 650 nm λ_2= 635 nm

Wykonanie zadania:

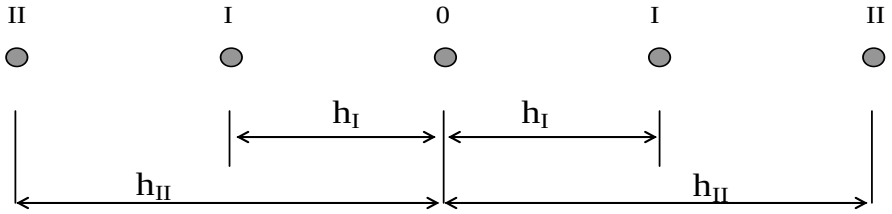
1. Układ pomiarowy składa się z ławy optycznej (Ł), diody laserowej, siatki dyfrakcyjnej (D), soczewki (S) oraz ekranu (E) ustawionych według schematu przedstawionego na Rys. 1.



Rys. 1 Zestaw do wyznaczania stałej siatki dyfrakcyjnej

2. Dobrać odległość *l* pomiędzy ekranem (E) a układem (S) (D) tak, aby obraz prążków interferencyjnych na ekranie był ostry (odległość ta powinna być równa w przybliżeniu ogniskowej soczewki (S) wypisanej na jej obudowie).

3. Obraz dyfrakcyjny obserwowany na ekranie powinien wyglądać jak na Rys. 2.



Rys. 2 Obraz dyfrakcyjny

4. Dokonać pomiarów odległości h_m poszczególnych prążków dyfrakcyjnych od prążka centralnego tak jak pokazuje Rys. 2.
5. W celu zmniejszenia błędu pomiaru odczytywać odległości pomiędzy środkami prążków rzędu pierwszego I-I, drugiego II-II itd. a wynik podzielić przez dwa.
6. Stałą siatki dyfrakcyjnej wyliczyć ze wzoru:

$$d = m\frac{\sqrt{l^2 + h_m^2}}{h_m}\lambda\,, \qquad (1)$$

gdzie: m – rząd widma,
λ - długość fali światła laserowego,
l - odległość układu (S)(D) od ekranu (E).

7. Oceny niepewności pomiaru stałej siatki dyfrakcyjnej dokonać metodą różniczkowania wzoru (1) przyjmując jako zmienne l oraz h_m.

<u>Autor instrukcji:</u>

Tomasz Pikula

O 10.2. Wyznaczanie skręcalności właściwej roztworów

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Charakterystyka fali świetlnej (długość fali, częstotliwość, prędkość)
2. Sposoby polaryzacji światła
3. Polaryzacja liniowa i kołowa
4. Skręcenie płaszczyzny polaryzacji przez substancje optycznie czynne
5. Zasada działania polarymetru

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka.* J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej,* red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane, Lublin 1997.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom IV.
4. Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna*. *Część IV Optyka,* WN Warszawa 1983.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Długość rurki polarymetrycznej: l = 0.09504 m

Wykonanie zadania:

Rys. 1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe

1. Z otrzymanej od prowadzącego zajęcia substancji (glukoza lub sacharoza) sporządzić sześć roztworów wodnych o znanych stężeniach. W tym celu, po wypoziomowaniu wagi, odważyć

kolejno masy m = 1 g, 2 g, … 6 g badanej substancji używając bibułki. Odważoną substancję wsypać do cylindra o pojemności V = 25 cm^3, napełnić do połowy wodą destylowaną i rozpuścić całkowicie substancję. Następnie uzupełnić cylinder wodą destylowaną do 25 cm^3, wymieszać i przelać sporządzony roztwór do probówki. Stężenie kolejnych roztworów obliczyć ze wzoru:

$$c = \frac{m}{V}$$

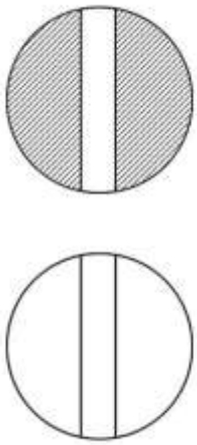
i wyrazić w kg/m^3.

2. Włączyć źródło światła, tj. lampę sodową. Ustawić ostrość widzenia za pomocą pokrętła P (Rys. 2a) i wyznaczyć „zero" polarymetru. W tym celu za pomocą pokrętła A (Rys. 2 a) ustawić analizator w takie położenie, dla którego wszystkie trzy części pola widzenia (Rys. 2 b) wydają się jednakowo oświetlone (Rys. 2 c). Kąt obrotu analizatora α_1, czyli „zero" polarymetru, odczytać z noniusza kołowego N przez okienko M (Rys. 2 a). Pomiary α_1 wykonać 3-krotnie i obliczyć średnią arytmetyczną.

(a)

(b)

(c)



Rys. 2 (a) Górna część polarymetru: P – pokrętło do ustawiania ostrości, A- pokrętło do obrotu analizatora, N – noniusz, M – okienko do odczytu z noniusza; (b) trójdzielne pole widzenia; (c) jednakowo oświetlone pole widzenia

3. Napełnić rurkę polarymetryczną pierwszym roztworem tak, aby wewnątrz rurki nie było pęcherzyków powietrza. Można tego uniknąć napełniając cieczą rurkę po brzegi i uzyskując menisk wypukły. Następnie należy nasunąć na menisk płytkę szklaną, ścinając go i usuwając nadmiar cieczy. Na wierzch nakręcić kapturek mocujący.

4. Wstawić rurkę z cieczą do wyzerowanego polarymetru. W razie potrzeby skorygować ostrość widzenia pokrętłem P. Części pola widzenia powinny być niejednakowo oświetlone. Obracając delikatnie analizator doprowadzić do jednakowego oświetlenia trzech części pola widzenia. Odczytać kąt α_2. Pomiary przeprowadzić trzykrotnie, za każdym razem delikatnie rozregulowując pokrętło A. Obliczyć średnią arytmetyczną z otrzymanych wyników.

5. Wylać zbadany roztwór, przepłukać rurkę małą ilością kolejnego roztworu. Przeprowadzić pomiary kąta α_2 kolejno dla wszystkich sporządzonych roztworów.

6. Obliczyć kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla każdego z roztworów stosując wzór:

$$\alpha = \overline{\alpha}_2 - \overline{\alpha}_1, \qquad (1)$$

a następnie wyrazić go w mierze łukowej.

Opracowanie wyników pomiarów (sposób I)

1. Wartość współczynnika charakteryzującego skręcenie płaszczyzny polaryzacji przez badany roztwór obliczyć dla kolejnych stężeń stosując wzór:

$$k = \frac{\alpha}{cl} \tag{2}$$

2. Obliczyć wartość średnią współczynnika *k*.
3. Niepewność wyznaczenia współczynnika *k* oszacować metodą różniczkowania wzoru:

$$k = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\frac{m}{V} l} \tag{3}$$

przyjmując za niepewność Δm – masę najmniejszego odważnika w zestawie, ΔV – połowę najmniejszej działki cylindra, zaś $\Delta\alpha_1$ i $\Delta\alpha_2$ wyrazić w mierze łukowej.

Opracowanie wyników pomiarów (sposób II)

1. Sporządzić wykres zależności kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji od stężenia roztworu $\alpha(c)$.
2. Zgodnie ze wzorem (2) zależność ta będzie opisana funkcją liniową:

$$\alpha(c) = kl \cdot c \tag{4}$$

ze współczynnikiem kierunkowym A:

$$A = kl \tag{5}$$

3. Stosując metodę najmniejszych kwadratów wpasować prostą w punkty pomiarowe.
4. Mając wyznaczony współczynnik kierunkowy prostej wyliczyć wartość współczynnika *k* :

$$k = \frac{A}{l} \tag{6}$$

5. Niepewność wyznaczenia współczynnika kierunkowego ΔA oszacować zgodnie z metodą najmniejszych kwadratów. Niepewność wyznaczenia współczynnika *k* oszacować metodą różniczkowania wzoru (6) po zmiennej *A*.

Autor instrukcji:

Tomasz Pikula

O 10.3. Wyznaczanie stałej Verdeta

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Charakterystyka fali świetlnej (długość fali, częstotliwość, prędkość)
2. Sposoby polaryzacji światła
3. Efekt Faraday'a
4. Stała Verdeta
5. Zasada działania polarymetru

Literatura:

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka.* J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane, Lublin 1995.
2. B. Kuśmiderska, J. Meldizon, *Podstawy rachunku błędów w pracowni fizycznej,* red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane, Lublin 1997.
3. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom IV.
4. Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna*. *Część IV Optyka,* WN Warszawa 1983.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia:

Współczynnik przenikalności magnetycznej próżni $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ N/A^2
Parametry solenoidu: l = 0,2 m; R = 0,045 m; N = 900 zwojów; d = 0,21 m

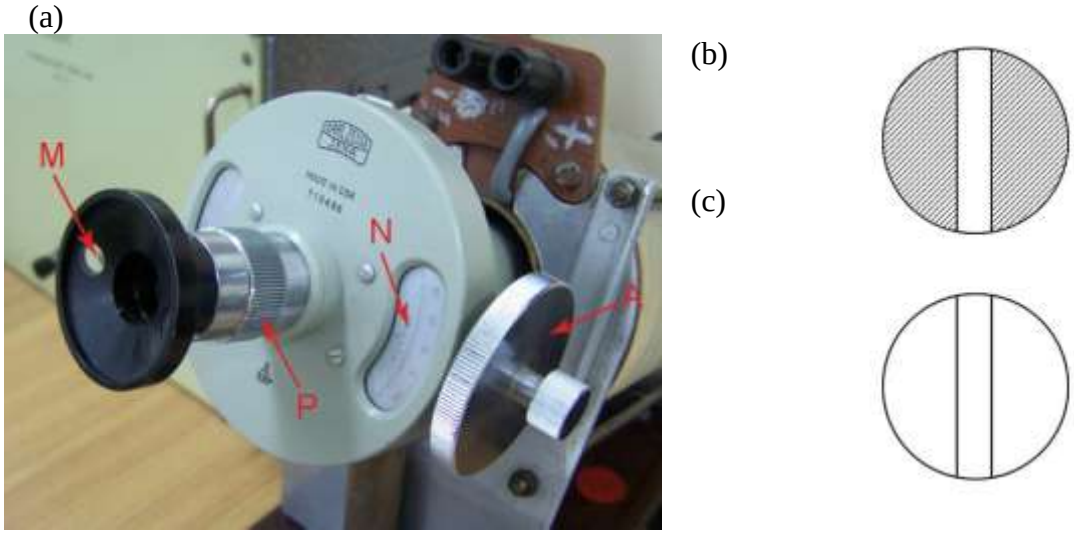
lub współczynnik $K = \dfrac{\sqrt{4R^2 + d^2}}{\mu_0 l N}$ = 1010 A/(Tm)

Natężenie prądu płynącego przez solenoid: *i = 4 – 16 A*

Wykonanie zadania:

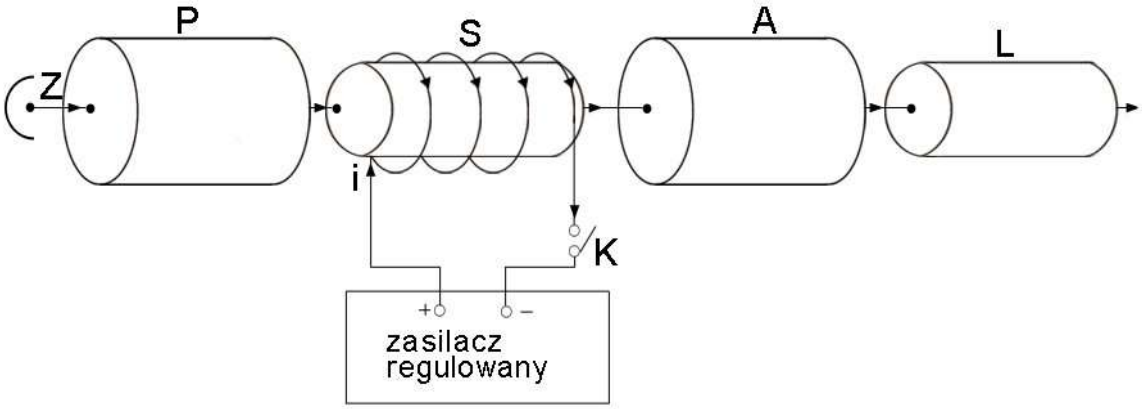
Rys. 1 Fotografia przedstawiająca stanowisko pomiarowe

1. Otrzymaną do badań rurkę polarymetryczną z cieczą umieścić wewnątrz polarymetru, który następnie należy wsunąć do środka solenoidu.
2. Włączyć zasilanie lampy sodowej, odczekać chwilę do jej nagrzania a następnie skierować strumień światła na analizator.
3. Za pomocą pokrętła P (Rys. 2a) ustawić ostrość trójdzielnego pola widzenia i wyznaczyć „zero" polarymetru. W tym celu za pomocą pokrętła A (Rys. 2 a) ustawić analizator w takie położenie, dla którego wszystkie trzy części pola widzenia (Rys. 2 b) wydają się jednakowo oświetlone (Rys. 2 c), tj. jednakowo ciemne. Kąt obrotu analizatora α_1, czyli „zero" polarymetru, odczytać z noniusza kołowego N za pomocą okienka M (Rys. 2 a). Pomiary α_1 wykonać 10-krotnie i obliczyć średnią arytmetyczną.



Rys. 2 Górna część polarymetru: P – pokrętło do ustawiania ostrości, A- pokrętło do obrotu analizatora, N – noniusz, M – okienko do odczytu z noniusza; (b) trójdzielne pole widzenia; (c) jednakowo oświetlone pole widzenia

4. Zestawić obwód elektryczny według schematu przedstawionego na Rys. 3.



Rys. 3 Zestaw pomiarowy do wyznaczania stałej Verdera; Z – źródło światła, P – polaryzator, S – solenoid, A – analizator, L – luneta, K – klucz

5. Poprosić prowadzącego o sprawdzenie obwodu oraz podanie wartości natężenia prądu *i* przepływającego przez solenoid. Wartości *i* ustawiać za pomocą pokręteł na zasilaczu i odczytywać na amperomierzu wbudowanym w zasilacz.
6. Podczas przepływu prądu o danym natężeniu, trzymając klucz w przełączniku, obracać analizator tak, aby trójdzielne pole widzenia w polarymetrze było jednakowo oświetlone. Po zwolnieniu

klucza odczytać kąt α_2 na skali noniusza. Dla danego natężenia prądu pomiary przeprowadzić co najmniej 5-krotnie i obliczyć średnią arytmetyczną α_2.
7. Pomiary wykonywać zmieniając natężenie prądu w zakresie 4-16 A, co 2 A.
8. Obliczyć kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji ze wzoru:

$$\alpha = \overline{\alpha}_2 - \overline{\alpha}_1 \tag{1}$$

Opracowanie wyników pomiarów (sposób I)

1. Stałą Verdeta wyliczyć ze wzoru:

$$V = \frac{\alpha K}{i}, \tag{2}$$

gdzie i – natężenie prądu (w amperach), zaś

$$K = \frac{\sqrt{4R^2 + d^2}}{\mu_0 l N}, \tag{3}$$

przy czym N – liczba zwojów solenoidu, R – średni promień solenoidu, d – długość solenoidu, l – grubość warstwy skręcającej płaszczyznę polaryzacji.
2. Niepewność wyznaczenia stałej Verdeta oszacować metodą różniczkowania wzoru:

$$V = \frac{(\alpha_2 - \alpha_1)K}{i}, \tag{4}$$

przyjmując K = const.. $\Delta\alpha_1$ i $\Delta\alpha_2$ wyrazić w mierze łukowej, Δi wynika z klasy amperomierza.

Opracowanie wyników pomiarów (sposób II)

1. Sporządzić wykres zależności kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji od natężenia prądu *α(i).*
2. Zgodnie ze wzorem (2) zależność ta będzie opisana funkcją liniową postaci:

$$\alpha(i) = \frac{V}{K} \cdot i \tag{5}$$

ze współczynnikiem kierunkowym A:

$$A = \frac{V}{K} \tag{6}$$

3. Stosując metodę najmniejszych kwadratów wpasować prostą w punkty pomiarowe.
4. Mając wyznaczony współczynnik kierunkowy A prostej *α(i)* wyliczyć wartość stałej Verdeta ze wzoru :

$$V = A \cdot K \tag{7}$$

5. Niepewność wyznaczenia współczynnika kierunkowego *ΔA* oszacować zgodnie z metodą najmniejszych kwadratów. Niepewność wyznaczenia stałej Verdeta *V* oszacować metodą różniczkowania wzoru (7) po zmiennej *A.*

Autor instrukcji:

Tomasz Pikula

O 12.1. Wyznaczanie charakterystyki prądowo – napięciowej fotokomórki

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

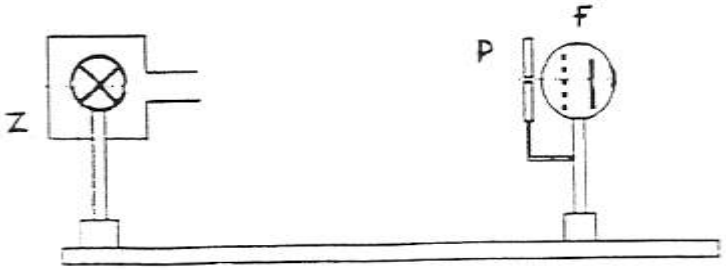
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne: równanie Einsteina, empiryczne prawa zjawiska fotoelektrycznego
2. Zasada działania fotokomórki próżniowej i gazowanej

Literatura:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom V.
2. Cz. Bobrowski, *Fizyka – krótki kurs,* WNT, Warszawa 1996.
3. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka,* J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla , Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1997.
4. J. R, Taylor, *Wstęp do analizy błędu pomiarowego,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:



Rys.1 Zestaw przyrządów. F – fotokomórka, P – przesłona, Z – żarówka

1. Na ławie optycznej ustawić fotokomórkę zaopatrzoną w przesłonę z otworami o różnych wielkościach (Rys.1). Wielkość otworu (numer) i odległość fotokomórki od źródła światła *d* dobrać zgodnie z zaleceniami prowadzącego zajęcia.
2. Zestawić obwód elektryczny fotokomórki według schematu przedstawionego na Rys. 2.
3. Połączyć żarówkę oświetlającą fotokomórkę z zasilaczem (Rys. 3).
4. Ćwiczenie polega na znalezieniu zależności natężenia prądu płynącego w obwodzie fotokomórki od napięcia przyłożonego do fotokomórki czyli charakterystyki prądowo-napięciowej i = f(U). Napięcie należy zmieniać od 0V do 100V co 5V za pomocą potencjometru zasilacza znajdującego się w obwodzie fotokomórki. Natężenie prądu płynącego w obwodzie fotokomórki należy odczytywać na mikroamperomierzu (Rys. 2).
5. Pomiary należy wykonać dla trzech różnych strumieni świetlnych padających na fotokomórkę. Można to robić dwoma sposobami:

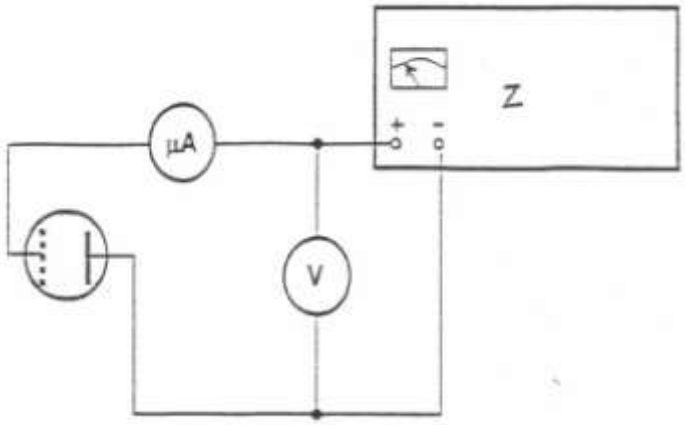
   Sposób pierwszy:

   - ustawić stałą wielkość przesłony i wykonać pomiary zależności i = f(U) dla trzech odległości *d* fotokomórki od źródła światła.

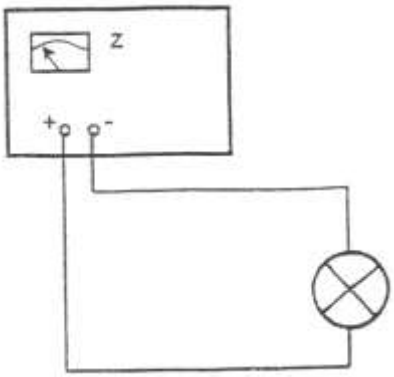
   Sposób drugi:

   -ustawić fotokomórkę w stałej odległości *d* od źródła światła i wykonać pomiary zależności i = f(U) dla trzech różnych wielkości otworów w przesłonie.

Sposób wykonania pomiarów należy ustalić z prowadzącym zajęcia.



Rys. 2 Schemat obwodu fotokomórki. Z – zasilacz typu IZS – 5/71



Rys. 3 Schemat obwodu zasilającego żarówkę. Z – zasilacz typu 5352M

Opracowanie wyników pomiarów

Na podstawie otrzymanych z pomiarów wyników sporządzić trzy charakterystyki i = f(U) w jednym układzie współrzędnych. Przy każdej charakterystyce zaznaczyć dla jakiej wielkości otworu przesłony *S* i jakiej odległości *d* została ona wykonana.

Pola powierzchni *S* otworów przesłony są następujące:

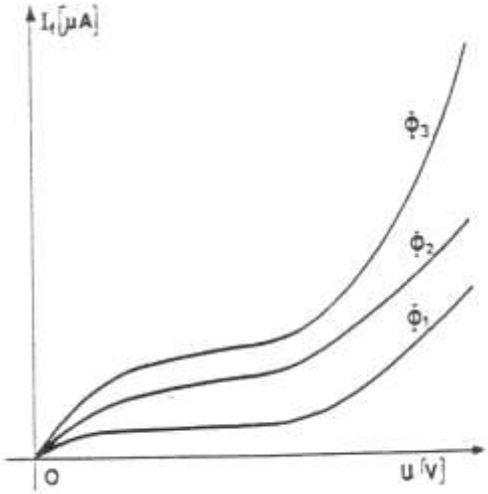
Nr otworu	1	2	3	4	5	6
Pole powierzchni S [m^2] x 10^{-6}	15,2	28,3	54,1	81,7	121,0	158,3

Uwaga!

W ćwiczeniu jest wykorzystana fotokomórka gazowana. Różni się ona tym od próżniowej, że jest wypełniona rozrzedzonym gazem szlachetnym np. argonem. Powoduje to zwiększenie natężenia prądu wewnątrz fotokomórki. Dzieje się tak dlatego, że wybite z katody elektrony jonizują podczas zderzeń cząsteczki gazu, dzięki czemu wzrasta ilość nośników prądu.

Fotokomórkę gazowaną cechuje brak prądu nasycenia, gdyż wraz ze wzrostem napięcia wzrasta stopień jonizacji gazu. Przy napięciu U = 0 natężenie prądu w fotokomórce spada do zera,

ponieważ na skutek zderzeń z cząsteczkami gazu elektrony nie docierają do anody. Z tego powodu nie można zmierzyć wartości napięcia hamującego. Charakterystyka prądowo – napięciowa fotokomórki gazowanej jest przedstawiona na Rys. 4.



Rys. 4 Charakterystyka prądowo-napięciowa fotokomórki gazowanej

Oszacowanie niepewności pomiarów

1. Wybrać kilka punktów pomiarowych ze wszystkich trzech charakterystyk i = f(U). Ilość wybranych punktów ustalić z prowadzącym zajęcia.
2. Dla współrzędnych tych punktów (i, U) podać niepewności pomiaru Δi oraz ΔU wynikające z klasy mierników i dokładności odczytu z ich skali.
3. Każdy z wybranych punktów otoczyć prostokątem niepewności pomiarowej.

Autor instrukcji:

Jan Żurawicz

O 12.2. Wyznaczanie charakterystyki prądowo-strumieniowej fotokomórki

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

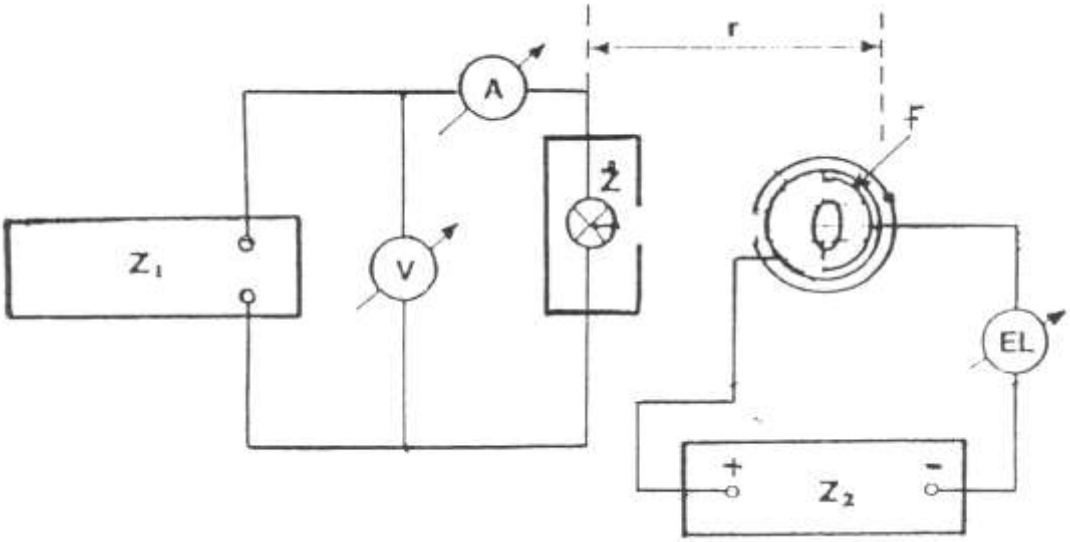
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne: równanie Einsteina, empiryczne prawa zjawiska fotoelektrycznego
2. Zasada działania fotokomórki

Literatura:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom V.
2. Cz. Bobrowski, *Fizyka – krótki kurs*, WNT Warszawa 1996.
3. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka,* J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
4. J. R. Taylor, *Wstęp do analizy błędu pomiarowego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat obwodu fotokomórki i żarówki oświetlającej fotokomórkę. F – fotokomórka, Z_1 – zasilacz w obwodzie żarówki, Z_2 – zasilacz w obwodzie fotokomórki, Ż – żarówka, V – woltomierz, A – amperomierz, EL – mikroamperomierz.

1. Na ławie optycznej ustawić fotokomórkę zaopatrzoną w przesłonę z otworami o różnych wielkościach. Wielkość otworu (numer) i odległość fotokomórki od źródła światła r dobrać zgodnie z zaleceniami prowadzącego zajęcia.
2. Zestawić obwód elektryczny fotokomórki wg schematu pokazanego na Rys. 1. Napięcie pracy fotokomórki wynosi 120 V (zasilacz Z_2).
3. Zestawić obwód żarówki oświetlającej fotokomórkę wg schematu pokazanego na Rys. 1.

4. Ćwiczenie polega na znalezieniu zależności natężenia prądu i_f płynącego w obwodzie fotokomórki od wielkości strumienia świetlnego Φ padającego na fotokomórkę.
5. Strumień świetlny padający na fotokomórkę zmieniać w następujący sposób:
   - zmniejszać napięcie zasilania U żarówki przy pomocy pokrętła zasilacza Z_1 od 6,6 V do 5,4 V co 0,2 V;
   - przy każdej wartości napięcia U odczytać na amperomierzu A natężenie prądu I płynącego przez żarówkę.
6. Natężenie prądu i_f płynącego w obwodzie fotokomórki odczytywać na skali mikroamperomierza EL (przy każdej wartości napięcia zasilania żarówki U).
7. Pamiętać o zapisaniu wartości odległości r i numeru otworu w przesłonie fotokomórki.

Opracowanie wyników pomiarów:

1. Wstawiając do wzoru (1) zmierzone wartości U oraz I obliczyć wartości strumienia świetlnego Φ padającego na fotokomórkę.
2. Strumień świetlny Φ padający na fotokomórkę wyrażony w lumenach wyraża się wzorem:

$$\Phi = \frac{UIS}{4\pi 0{,}00155 r^2} \quad [lumen] \qquad (1)$$

gdzie S jest powierzchnią otworu w przesłonie fotokomórki.

Pola powierzchni S otworów przesłony są następujące:

Nr otworu	1	2	3	4	5	6
Pole powierzchni S [m^2] x 10^{-6}	15,2	28,3	54,1	81,7	121,0	158,3

3. Wykorzystując obliczone wartości strumienia Φ oraz zmierzone wartości prądu płynącego przez fotokomórkę i_f sporządzić wykres $i_f = f(\Phi)$ czyli charakterystykę prądowo – strumieniową fotokomórki.

Oszacowanie niepewności pomiarowej:

1. Na wykresie wybrać kilka punktów pomiarowych (ich ilość ustalić z prowadzącym zajęcia).
2. Dla współrzędnych tych punktów (i_f , Φ) podać niepewności pomiaru Δi_f oraz $\Delta \Phi$.
3. Każdy z wybranych punktów otoczyć prostokątem niepewności pomiarowej.
4. Niepewność pomiaru Δi_f wynika z klasy miernika i dokładności odczytu z jego skali.
5. Niepewność pomiaru $\Delta \Phi$ obliczyć metodą różniczkowania wzoru (1), biorąc pod uwagę dokładność pomiaru napięcia U i natężenia prądu I w obwodzie zasilającym żarówkę, oraz dokładność pomiaru odległości r.

Autor instrukcji:

Jan Żurawicz

O 12.3. Wyznaczanie charakterystyki prądowo strumieniowej fotoogniwa

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

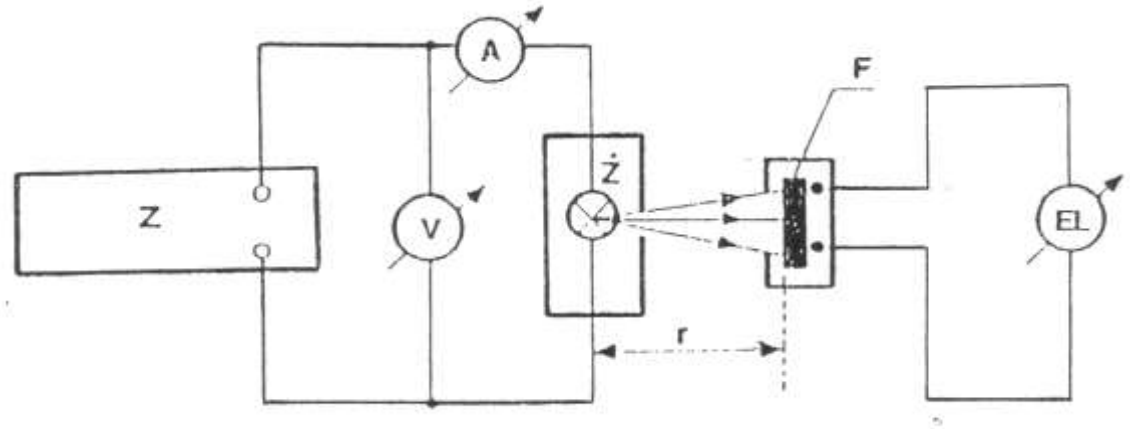
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Zjawisko fotowoltaiczne
2. Zasada działania fotoogniwa

Literatura:

1. Cz. Bobrowski , *Fizyka – krótki kurs.* WNT Warszawa 1996.
2. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka,* J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
3. J. R. Taylor, W*stęp do analizy błędu pomiarowego,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Układ doświadczalny. F – fotoogniwo, EL – mikroamperomierz, Z – zasilacz w obwodzie żarówki, Ż – żarówka, V – woltomierz, A – amperomierz.

1. Na ławie optycznej ustawić fotoogniwo. Odległość r fotoogniwa od żarówki oświetlającej ustalić z prowadzącym zajęcia. Zapisać numer fotoogniwa.
2. Zestawić obwód elektryczny fotoogniwa oraz obwód żarówki oświetlającej fotoogniwo wg schematu przedstawionego na Rys. 1.
3. Ćwiczenie polega na znalezieniu zależności natężenia prądu płynącego w obwodzie fotoogniwa i_f od wielkości strumienia świetlnego Φ padającego na fotoogniwo.
4. Strumień świetlny padający na fotoogniwo zmieniać w następujący sposób:
   - zmniejszać napięcie zasilania U żarówki przy pomocy pokrętła zasilacza Z od 6,6 V do 5,4 V co 0,2 V;
   - przy każdej wartości napięcia U odczytywać na amperomierzu A natężenie prądu I płynącego przez żarówkę.
5. Natężenie prądu i_f płynącego w obwodzie fotoogniwa odczytywać na skali mikroamperomierza EL (przy każdej wartości napięcia zasilania żarówki U).

Opracowanie wyników pomiarów

1. Wstawiając do wzoru (1) zmierzone wartości U oraz I obliczyć wartości strumienia świetlnego Φ padającego na fotoogniwo.
2. Strumień świetlny Φ padający na fotoogniwo wyrażony w lumenach wyraża się wzorem:

$$\Phi = \frac{UIS}{4\pi 0{,}00155 r^2} \quad [lumen] \qquad (1)$$

gdzie S jest powierzchnią otworu w obudowie fotoogniwa.

Pola powierzchni S otworów w obudowie są następujące:

Nr fotoogniwa	E 1	E 3
Pole powierzchni S [m^2] x 10^{-6}	9,0	86,5

3. Wykorzystując obliczone wartości strumienia Φ oraz zmierzone wartości prądu płynącego w obwodzie fotoogniwa i_f sporządzić wykres $i_f = f(\Phi)$ czyli charakterystykę prądowo – strumieniową fotoogniwa.
4. Na podstawie sporządzonego wykresu obliczyć czułość K badanego fotoogniwa, zdefiniowaną jako stosunek zmiany natężenia prądu fotoogniwa do przyrostu strumienia świetlnego, który wywołuje tę zmianę prądu:

$$K = \frac{i_{f2} - i_{f1}}{\Phi_2 - \Phi_1}, \qquad (2)$$

gdzie:
i_{f1} jest natężeniem prądu płynącego w obwodzie fotoogniwa przy strumieniu Φ_1,
i_{f2} jest natężeniem prądu płynącego w obwodzie fotoogniwa przy strumieniu Φ_2.

Oszacowanie niepewności pomiarowej

1. Na wykresie wybrać kilka punktów pomiarowych (ich ilość ustalić z prowadzącym zajęcia).
2. Dla współrzędnych tych punktów (i_f , Φ) podać niepewności pomiaru Δi_f oraz $\Delta \Phi$.
3. Każdy z wybranych punktów otoczyć prostokątem niepewności pomiarowej.
4. Niepewność pomiaru Δi_f wynika z klasy miernika i dokładności odczytu z jego skali.
5. Niepewność pomiaru $\Delta \Phi$ obliczyć metodą różniczkowania wzoru (1), biorąc pod uwagę dokładność pomiaru napięcia U i natężenia prądu I w obwodzie zasilającym żarówkę, oraz dokładności pomiaru odległości r.

Autor instrukcji:

Jan Żurawicz

O 12.4. Wyznaczanie charakterystyki prądowo – strumieniowej fotorezystora

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

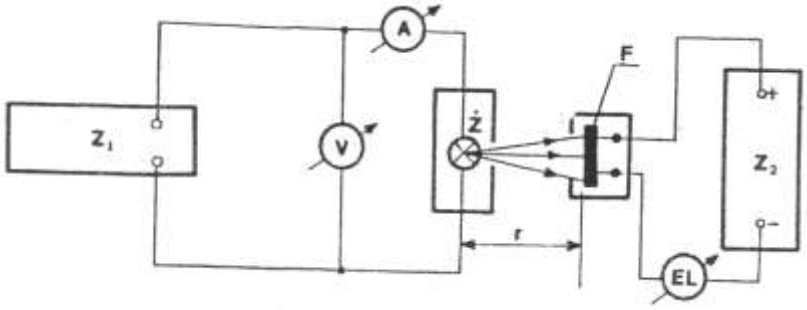
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Zjawisko fotoelektryczne wewnętrzne
2. Zasada działania fotorezystora

Literatura:

1. Cz. Bobrowski, *Fizyka – krótki kurs.* WNT, Warszawa 1996.
2. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Optyka,* J. Kowalik, M. Wiertel, R. Żołnierczuk, red. E. Śpiewla , Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1995.
3. J. R. Taylor, W*stęp do analizy błędu pomiarowego,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:



Rys. 1. Układ doświadczalny. F – fotorezystor, Z_2 – zasilacz w obwodzie fotorezystora, EL – mikroamperomierz, Ż – żarówka oświetlająca fotorezystor, Z_1 – zasilacz w obwodzie żarówki, V – woltomierz, A – amperomierz

1. Na ławie optycznej ustawić fotorezystor w osłonie z okienkiem o powierzchni *S*. Odległość *r* fotorezystora od żarówki oświetlającej dobrać zgodnie z zaleceniem prowadzącego zajęcia.
2. Zestawić obwód elektryczny fotorezystora oraz obwód żarówki oświetlającej fotorezystor wg schematu przedstawionego na Rys. 1.
3. Przy zasłoniętym okienku fotorezystora ustawić na zasilaczu Z_2 jego napięcie nominalne ($U_{nom} = 6$ V).
4. Przy zasłoniętym okienku fotorezystora dobrać odpowiedni zakres mikroamperomierza EL i dokonać pomiaru prądu płynącego przez fotorezystor (prąd ciemny I_c).
5. Pomiary mają na celu znalezienie zależności natężenia prądu i_f płynącego w obwodzie fotorezystora od wielkości strumienia świetlnego Φ padającego na fotorezystor.
6. Strumień świetlny Φ zmieniać w następujący sposób:
   - zmniejszać napięcie zasilania *U* żarówki przy pomocy pokrętła zasilacza Z_1 od 6,6 V do 5,4 V co 0,2 V;
   - przy każdej wartości napięcia *U* odczytać na amperomierzu A natężenie prądu *I* płynącego przez żarówkę.

7. Natężenie prądu i_f płynącego w obwodzie fotorezystora odczytywać na skali mikroamperomierza EL (przy każdej wartości napięcia zasilania żarówki U).

Opracowanie wyników pomiarów:

1. Wstawiając do wzoru (1) zmierzone wartości U oraz I obliczyć wartości strumienia świetlnego Φ padającego na fotoogniwo.
2. Strumień świetlny Φ padający na fotoogniwo wyrażony w lumenach wyraża się wzorem:

$$\Phi = \frac{UIS}{4\pi 0{,}00155 r^2} \quad [lumen] \qquad (1)$$

gdzie S = 86,5 x 10^{-6} m^2 jest powierzchnią otworka w osłonie fotorezystora.

3. Wykorzystując obliczone wartości strumienia Φ oraz zmierzone wartości prądu płynącego przez fotorezystor i_f sporządzić wykres $i_f = f(\Phi)$ czyli charakterystykę prądowo – strumieniową fotorezystora.
4. Obliczyć średnią czułość K badanego fotorezystora, zdefiniowaną jako:

$$K = \frac{i_{fm} - I_c}{\Phi_m} \quad [mA/lumen] \qquad (2)$$

gdzie: I_c - prąd ciemny; Φ_m - maksymalny strumień; i_{fm} - prąd płynący przez fotorezystor przy Φ_m.

Oszacowanie niepewności pomiarowej

1. Niepewność wyznaczenia K obliczyć metodą różniczkowania wzoru (2).
2. Niepewności pomiaru Δi_{fm} oraz ΔI_c wynikają z klasy mierników i dokładności odczytu z ich skali.
3. Niepewność pomiaru $\Delta \Phi_m$ obliczyć metodą różniczkowania wzoru (1), biorąc pod uwagę dokładność pomiaru napięcia U i natężenia prądu I w obwodzie zasilającym żarówkę, oraz dokładność pomiaru odległości r.

Autor instrukcji:

Jan Żurawicz

J 7.1. Pomiar rozkładu promieniowania w widmie dyfrakcyjnym światła pojedynczej szczeliny i szerokości tej szczeliny

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

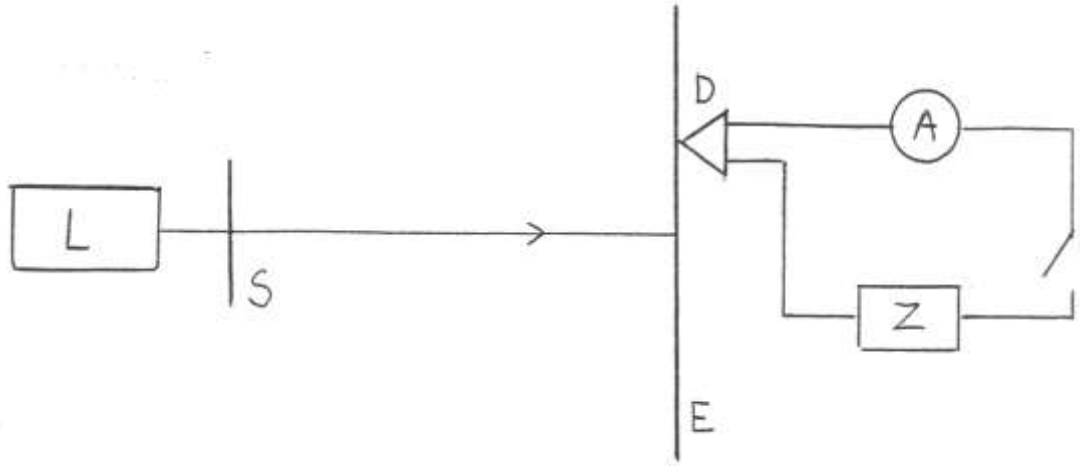
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Własności światła laserowego
2. Dyfrakcja światła na pojedynczej szczelinie

Literatura:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.
2. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii*, H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K, Wójcik, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1994.
3. J. R. Taylor, W*stęp do analizy błędu pomiarowego,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat zestawu pomiarowego. L – laser, S – szczelina, E – ekran, D – detektor, A – amperomierz, Z – zasilacz

1. Źródłem światła padającego na szczelinę jest laser. Pomiaru natężenia światła w widmie dyfrakcyjnym dokonuje się za pomocą fotooporu (detektor D). Natężenie prądu płynącego w układzie fotooporu, mierzone za pomocą miernika A (Rys.1), jest miarą natężenia światła padającego na fotoopór.
2. Podzespoły na stanowisku pomiarowym są połączone wg schematu przedstawionego na Rys. 1. Należy jedynie sprawdzić prawidłowość połączeń.
3. Umieścić przesłonę z regulowaną szczeliną w uchwycie znajdującym się przed laserem.
4. Włączyć zgodnie z instrukcją techniczną następujące podzespoły: zasilacz w układzie detektora, miernik natężenia prądu oraz zasilanie lampek oświetlających przyrządy pomiarowe.
5. Poprosić prowadzącego zajęcia o uruchomienie i ustawienie lasera oraz o ustawienie odpowiedniej szerokości szczeliny.
6. Dobrać właściwy zakres miernika prądu (mikroamperomierz A) w następujący sposób: opuścić ekranik E i przesunąć za pomocą śruby detektor D na środek prążka zerowego rzędu w widmie

dyfrakcyjnym (detektor jest na środku, gdy mikroamperomierz wskazuje maksymalną wartość prądu), dobrać wtedy taki zakres mikroamperomierza, aby wskazówka wychylała się pod koniec skali.

7. Podnieść ekranik tak, aby detektor był zasłonięty , zgasić lampkę oświetlającą skalę na której odczytuje się położenie detektora i wyzerować mikroamperomierz.
8. Po tych czynnościach przystąpić do pomiarów. Pomiary rozpocząć od ponownego ustawienia detektora na środek prążka zerowego (natężenie prądu ma być maksymalne). Opuścić ekranik. Zmierzyć natężenie prądu I_o płynącego w obwodzie detektora. Podnieść ekranik i odczytać położenie detektora.
9. Przesuwać detektor wzdłuż skali za każdym razem o odcinek 1 mm i mierzyć natężenie prądu I. Detektor powinien być zawsze przesuwany w tę samą stronę.
10. W miarę zmniejszania się natężenia światła w widmie dyfrakcyjnym (a co za tym idzie natężenia prądu) zmieniać zakresy mikroamperomierza.
11. **Uwaga! Przy wykonywaniu pomiarów zwracać uwagę, aby na detektor padało tylko światło z lasera. Ze względu na bezpieczeństwo położenie detektora odczytywać tylko przy podniesionym ekraniku.**
12. Zmierzyć rozkład natężenia w widnie dyfrakcyjnym z jednej strony, aż do prążka IV rzędu.
13. Ponownie ustawić detektor na środek prążka zerowego rzędu. Jeśli natężenie prądu wskazywanego przez mikroamperomierz jest inne niż I_o , należy zgłosić ten fakt prowadzącemu zajęcia.
14. Zmierzyć rozkład natężenia w widmie dyfrakcyjnym z drugiej strony tak jak opisano wyżej.

Opracowanie wyników pomiarów

1. Przyjąć położenie detektora ustawionego na środku prążka zerowego rzędu jako x = 0.
2. Położenie po jednej stronie x = 0 przyjąć za dodatnie a po drugiej za ujemne.
3. Obliczyć stosunek natężenia prądu I przy położeniu x do natężeniu prądu I_o przy położeniu x = 0.
4. Narysować wykres przedstawiający zależność:

$$\frac{I}{I_o} = f(x) \qquad (1)$$

5. Z wykresu odczytać szerokość maksimum zerowego rzędu Δx czyli odległość między minimami I rzędu .
6. Obliczyć szerokość szczeliny *a* korzystając ze wzoru:

$$\Delta x = \frac{2r\lambda}{a} \qquad (2)$$

gdzie: λ = 0,6328 μm jest długością światła laserowego;
r = 0,90 m jest odległością od szczeliny do ekranu.

7. Niepewność pomiaru szerokości szczeliny obliczyć metodą różniczkowania przekształconego wzoru (2).

Autor instrukcji:

Jan Żurawicz

J 7.2. Pomiar rozkładu promieniowania w widmie dyfrakcyjno-interferencyjnym z dwu szczelin

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

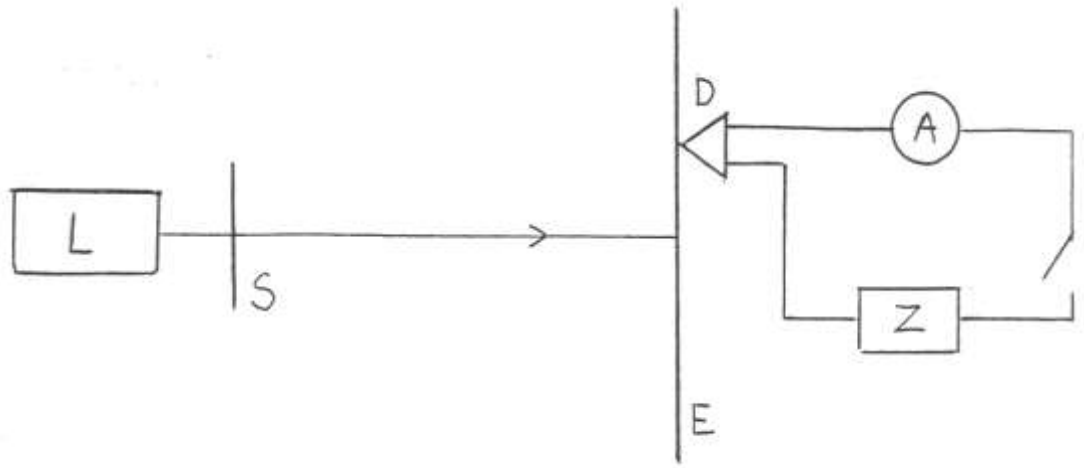
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

1. Własności światła laserowego
2. Dyfrakcja światła
3. Interferencja światła

Literatura:

1. D. Halliday, R. Resnick, J.Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.
2. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii*, H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K. Wójcik, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1994.
3. J. R. Taylor, W*stęp do analizy błędu pomiarowego,* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:



Rys. 1 Schemat zestawu pomiarowego. L – laser, S – szczeliny, E – ekran, D – detektor, A – amperomierz, Z – zasilacz

1. Źródłem światła padającego na szczelinę jest laser. Pomiaru natężenia światła w widmie dyfrakcyjnym dokonuje się za pomocą fotooporu (detektor D).Natężenie prądu płynącego w układzie fotooporu, mierzone za pomocą miernika A (Rys.1), jest miarą natężenia światła padającego na fotoopór.
2. Podzespoły na stanowisku pomiarowym są połączone wg schematu przedstawionego na Rys. 1. Należy jedynie sprawdzić prawidłowość połączeń.
3. Umieścić przesłonę z regulowanymi dwiema szczelinami w uchwycie znajdującym się przed laserem.

4. Włączyć zgodnie z instrukcją techniczną następujące podzespoły: zasilacz w układzie detektora, miernik natężenia prądu oraz zasilanie lampek oświetlających przyrządy pomiarowe.
5. Poprosić prowadzącego zajęcia o uruchomienie i ustawienie lasera oraz o ustawienie odpowiedniej szerokości szczelin.
6. Dobrać właściwy zakres miernika prądu (mikroamperomierz A) w następujący sposób: opuścić ekranik E i przesunąć za pomocą śruby detektor D na środek prążka interferencyjnego zerowego rzędu (detektor jest na środku, gdy mikroamperomierz wskazuje maksymalną wartość prądu), dobrać wtedy taki zakres mikroamperomierza, aby wskazówka ustawiła się przy końcu skali.
7. Podnieść ekranik tak, aby detektor był zasłonięty , zgasić lampkę oświetlającą skalę na której odczytuje się położenie detektora i wyzerować mikroamperomierz.
8. Po tych czynnościach przystąpić do pomiarów. Pomiary rozpocząć od ponownego ustawienia detektora na środek prążka zerowego (natężenie prądu ma być maksymalne). Opuścić ekranik. Zmierzyć natężenie prądu I_o płynącego w obwodzie detektora. Podnieść ekranik i odczytać położenie detektora.
9. Przesuwać detektor wzdłuż skali tak, aby znajdował się na środku kolejnych maksimów interferencyjnych, zapisywać jego położenie i mierzyć natężenie prądu I. Detektor powinien być zawsze przesuwany w tę samą stronę.
10. W miarę zmniejszania się natężenia światła w widmie (a co za tym idzie natężenia prądu) zmieniać zakresy mikroamperomierza.
11. **Uwaga! Przy wykonywaniu pomiarów zwracać uwagę, aby na detektor padało tylko światło z lasera. Ze względu na bezpieczeństwo położenie detektora odczytywać tylko przy podniesionym ekraniku.**
12. Pomiary natężenia maksimów interferencyjnych przeprowadzić w obszarze prążków zerowego, pierwszego i drugiego rzędu.
13. Ponownie ustawić detektor na środek prążka zerowego rzędu. Jeśli natężenie prądu wskazywanego przez mikroamperomierz jest inne niż I_o , należy zgłosić ten fakt prowadzącemu zajęcia.
14. Zmierzyć rozkład natężenia w widmie dyfrakcyjno-interferencyjnym z drugiej strony tak jak opisano wyżej.

Opracowanie wyników pomiarów

1. Przyjąć położenie detektora ustawionego na środku prążka zerowego rzędu jako x = 0.
2. Położenie po jednej stronie x = 0 przyjąć za dodatnie a po drugiej za ujemne.
3. Obliczyć stosunek natężenia prądu I przy położeniu x do natężeniu prądu I_o przy położeniu x = 0.
4. Przyjąć, że w minimach interferencyjnych natężenia prądu maleje do zera.
5. Narysować wykres przedstawiający zależność:

$$\frac{I}{I_o} = f(x) \qquad (1)$$

Autor instrukcji:

Jan Żurawicz

J 7.3. Pomiar średnicy bardzo małych okrągłych otworów przy wykorzystaniu dyfrakcji światła

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne:

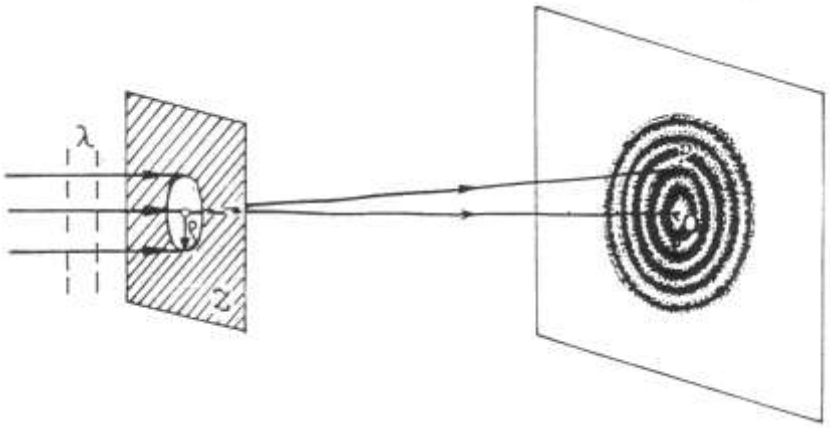
1. Własności światła laserowego
2. Dyfrakcja światła na pojedynczej szczelinie
3. Dyfrakcja na otworze kołowym (dyfrakcja Fraunhofera)

Literatura:

1. Halliday D. Resnick R. Walker J. *Podstawy fizyki. T. 4.* PWN Warszawa
2. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii,* H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K. Wójcik, red. E. Śpiewla, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1994
3. J. R. Taylor, W*stęp do analizy błędu pomiarowego, Wydawnictwo Naukowe* PWN, Warszawa 1999.

Wykonanie zadania:

1. Źródłem światła padającego na mały okrągły otwór jest laser. Obraz dyfrakcyjny obserwowany jest na ekranie umieszczonym na ścianie.
2. W celu wykonania pomiarów należy umieścić przesłonę z otworami w uchwycie znajdującym się przed laserem.
3. Poprosić prowadzącego zajęcia o uruchomienie i ustawienie lasera oraz o wybranie odpowiedniego otworu. Na ekranie umieszczonym na ścianie powinien być widoczny obraz dyfrakcyjny w postaci jasnego krążka (Airy'ego) i otaczających go pierścieni ciemnych i jasnych.
4. Zmierzyć na ekranie odległość od środka krążka Airy'go (punkt O na Rys.1) do punktu P_1 leżącego w środku szerokości krążka I rzędu (połowa średnicy krążka I rzędu).
5. Zmierzyć następnie odległość od punktu O do punktu P_2 leżącego w środku szerokości krążka II rzędu (połowa średnicy krążka II rzędu).
6. Powtórzyć pomiary kilkakrotnie.



Rys. 1 Przykład obrazu dyfrakcyjnego okrągłego otworu uzyskanego w ćwiczeniu.

Opracowanie wyników pomiarów

1. Obliczyć promień ρ otworu w przesłonie korzystając ze wzoru:

$$\rho = x \frac{\lambda r}{2(OP)} \qquad (1)$$

gdzie: λ = 0,6328 μm jest długością światła laserowego;
r = 1,93 m jest odległością od przesłony z otworami do ekranu.
x jest stałą zależną od rzędu widma – odczytać z Tabeli 1.

Tabela 1

rząd widma	x
max I	1,635
max II	2,679

2. Niepewność pomiaru promienia otworu obliczyć metodą różniczkowania wzoru (1), biorąc pod uwagę dokładność określenia odległości OP.

Autor instrukcji:

Jan Żurawicz