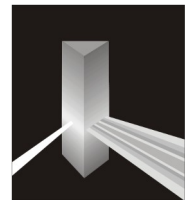


**KATEDRA FIZYKI**  
**WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI  
I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW**  
**POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA**



**PRACOWNIA OPTYKI**



**ĆWICZENIE NR 0-13**

***SPRAWDZANIE PRAWA MALUSA***

## 1. Zagadnienia do przestudiowania

1. Widmo fal elektromagnetycznych
2. Polaryzacja, polaryzator, analizator
3. Prawo Brewstera
4. Prawo Malusa

## 2. Zasada pomiaru

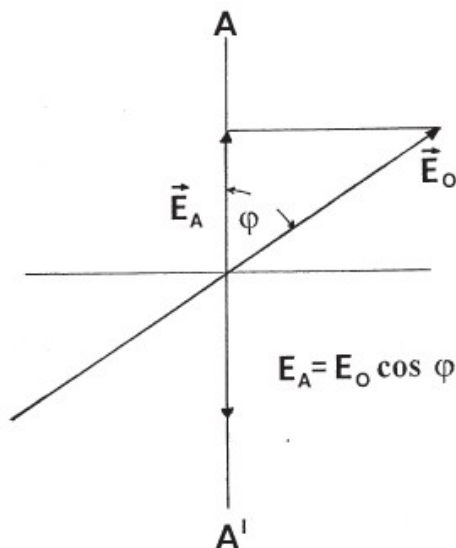
Liniowo spolaryzowana wiązka światła pada na filtr polaryzacyjny. Natężenie przechodzącego światła jest funkcją kąta pomiędzy płaszczyzną polaryzacji padającego światła a płaszczyzną przepuszczalności światła spolaryzowanego przez filtr.

## 3. Cel ćwiczenia

1. Określenie płaszczyzny polaryzacji światła wychodzącego z lasera.
2. Sprawdzenie prawa Malusa

## 4. Podstawy teoretyczne

Niech AA' będzie płaszczyzną polaryzacji analizatora, która tworzy z płaszczyzną polaryzacji



Rys. 1. Wzajemna orientacja płaszczyzn polaryzacji padającego światła i analizatora

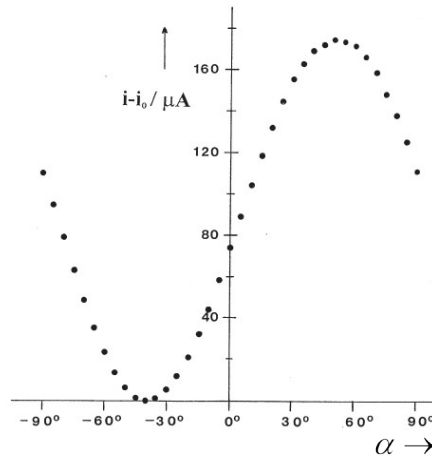
padającej wiązki światła kąt  $\varphi$  (Rys. 1). Przez analizator przejdzie tylko część wiązki  $E_a$  wyrażona zależnością:

$$E_a = E_o \cdot \cos\varphi \quad (1)$$

Ponieważ natężenie  $I$  fali świetlnej jest wprost proporcjonalne do kwadratu natężenia pola elektrycznego, zależność tę można zapisać jako prawo Malusa:

$$I_a = I_o \cdot \cos^2\varphi \quad (2)$$

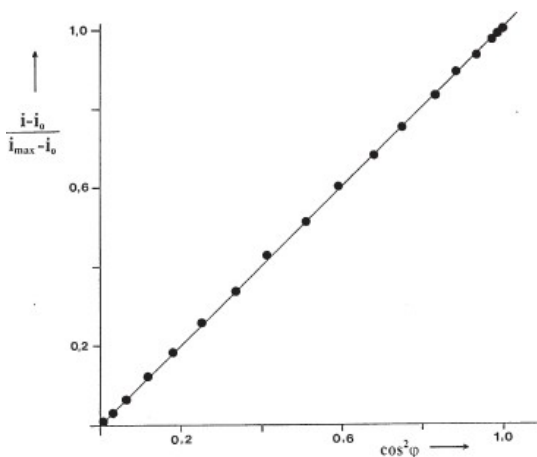
Na Rys. 2 przedstawiono prąd fotokomórki po odjęciu prądu tła (od światła spoza wiązki laserowej) jako funkcję kąta  $\alpha$  pomiędzy płaszczyzną polaryzacji wiązki światła i analizatora.



Rys. 2. Skorygowany prąd fotokomórki w funkcji kąta pomiędzy płaszczyzną polaryzacji wiązki światła i analizatora.

Pik w pobliżu  $\alpha = 50^\circ$  wskazuje, że płaszczyzna polaryzacji wiązki światła wychodzącego z lasera jest obrócona o kąt  $\alpha_p = 50^\circ$  w stosunku do płaszczyzny polaryzacji analizatora.

Na Rys. 3 przedstawiono znormalizowany i skorygowany prąd fotokomórki w funkcji kąta obrotu płaszczyzny analizatora. Prawo Malusa jest weryfikowane poprzez uzyskanie prostej nachylonej do osi wybranego układu pod kątem  $45^\circ$  (Aby otrzymać prostą przedstawioną na Rys. 3, ustawienie analizatora należy skorygować do  $\varphi = 0^\circ$ , a więc  $\varphi = \alpha - \alpha_p$ ).



Rys. 3. Znormalizowany prąd fotokomórki w funkcji  $\cos^2 \varphi$

## 5. Wykonanie pomiarów

Zestaw pomiarowy przedstawiono na Rys. 4. Jeśli pomiar wykonywany jest w niezaciemnionym pokoju prąd tła  $i_0$  powinien być zmierzony przed włączeniem lasera (lub przy włączonym laserze z wiązką skierowaną poza powierzchnię fotokomórki) i

uwzględniony w obliczeniach. Aby zapobiec fluktuacjom natężenia wiązki laserowej laser należy włączyć na około 30 minut przed rozpoczęciem pomiarów.

### Zasady BHP

Ponieważ w ćwiczeniu wykorzystywane jest promieniowanie laserowe, źródła wysokiego napięcia oraz niezwykle delikatne elementy optyczne, od studenta jest wymagane stosowanie się do poniższych zasad:

- 1) Nie wolno patrzeć wprost w wiązkę laserową, gdyż może to doprowadzić do trwałej utraty wzroku.
- 2) Nie wolno kierować wiązkę laserową na inne osoby.
- 3) Nie wolno dotykać elementów optycznych (polaryzatorów, okienek lasera), gdyż może to doprowadzić do ich zniszczenia.

Przed wykonywaniem jakichkolwiek pomiarów natężenia światła laser He/Ne musi być włączony na około 60 minut wcześniej, aby ustabilizować jego emisję.



Rys. 4. Zestaw do sprawdzania prawa Malusa

1. Włączyć miernik uniwersalny i ustawić na nim zakres 2 mA prądu stałego.
2. Odczytać natężenie prądu  $i_0$  pochodzące od światła spoza lasera.
3. Ustawić kąt  $0^\circ$  na skali analizatora i skierować wiązkę laserową na fotokomórkę w taki sposób, aby miernik wskazywał maksymalną wartość natężenia prądu (powyżej 200  $\mu\text{A}$ ). **Nie dotykać lasera ani zasilającego go przewodu do zakończenia pomiarów!**

4. Dla kątów ustawienia analizatora w zakresie od  $+90^\circ$  do  $-90^\circ$  odczytywać wartość prądu fotokomórki co  $5^\circ$ .
5. Wyniki zapisać w poniższej tabeli

No	$i_0 [\mu A]$	$\alpha [\text{deg}]$	$i [\mu A]$	$(i - i_0) [\mu A]$	$\frac{i - i_0}{i_{\max} - i_0} [\mu A]$	$\alpha_{\text{peak}}$	$\varphi = \alpha - \alpha_{\text{peak}} [\text{deg}]$	$\cos^2 \varphi$
1		-90						
2		-85						
3		-80						
4		-75						
...		...						
...		...						
...		...						
		90						

## 6. Opracowanie wyników pomiarów

1. Przedstawić zależność  $(i - i_0)$  od kąta  $\alpha$  jak na Rys. 2.
2. Określić płaszczyznę polaryzacji wiązki laserowej  $\alpha_0$  jako kąt odpowiadający maximum natężenia światła przechodzącego przez analizator i wartości prądu  $(i_{\max} - i_0)$ .
3. Wyliczyć kąt obrotu analizatora jako  $\varphi = \alpha - \alpha_p$ .
4. Przedstawić zależność znormalizowanej intensywności światła przechodzącego przez analizator jako  $\frac{i - i_0}{i_{\max} - i_0}$  od  $\cos^2 \varphi$  jak na Rys. 3.
5. Przeanalizować zależność przedstawioną na Rys. 3 pod kątem sprawdzenia prawa Malusa.
6. Stosując metodę najmniejszych kwadratów dla prostej  $y = ax + b$  wyliczyć nachylenie prostej  $a$ , dla  $y = \frac{i - i_0}{i_{\max} - i_0}$  i  $x = \cos^2 \varphi$ .
7. Oblicz niepewność pomiarową dla nachylenia  $a$  prostej.
8. Zapisz wartość  $a$  z uwzględnieniem niepewności pomiarowej.
9. Oblicz błąd względny wartości  $a$  jako  $\frac{\delta_a}{a} \cdot 100\%$
10. Oblicz różnicę między  $a = 1$  a wartością otrzymaną z pomiarów w postaci  $\frac{|1 - a|}{a} \cdot 100\%$

## 7. Literatura

1. S. Szczeniowski, Fizyka doświadczalna cz. 4, PWN 1982
2. D. Halliday, R. Resnick; Fizyka dla studentów nauk przyrodniczych i technicznych, t.II Warszawa PWN 1998
3. Catalogue PHYWE LEP [www.phywe.de](http://www.phywe.de)

4. II Pracownia Fizyczna, Świczenia laboratoryjne z fizyki dla zaawansowanych, red. F. Kaczmarek, Qyd. PWN Warszawa – Poznań 1976
5. H. Szydłowski, Pracownia fizyczna, PWN, 1994
6. A. Zawadzki, H. Hofmokl, Laboratorium fizyczne, PWN, 1968
7. J. Lech Opracowanie wyników pomiarów w laboratorium podstaw fizyki, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Wydział Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej, Częstochowa 2005
8. Raymond A. Serway, Clement J. Moses, Curt A. Moyer, Modern Physics Third Edition, Australia • Canada • Mexico • Singapore • Spain -United Kingdom • United States

## **Zasada sporządzania wykresów**

Prawidłowe opracowanie wyników pomiarów wymaga wykonania odpowiedniego wykresu. Podczas robienia wykresu należy kierować się następującymi zasadami:

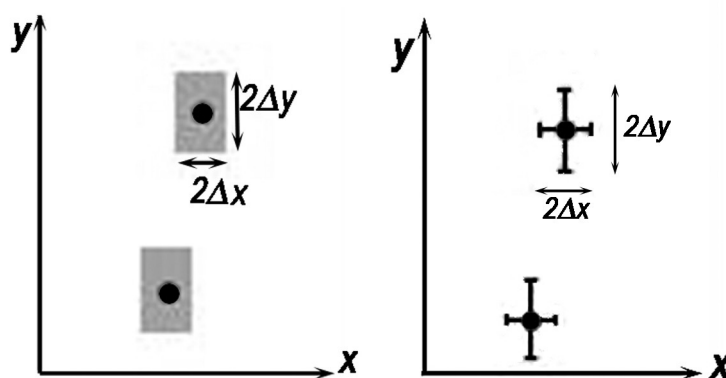
1. Wykres wykonuje się na papierze milimetrowym. Na układzie współrzędnych definiujemy liniowe osie liczbowe w przedziałach zgodnych z przedziałami zmienności wartości  $X$  i  $Y$ ; oznacza to, że na każdej z osi odkładamy tylko taki zakres zmian mierzonej wielkości fizycznej, w którym zostały wykonane pomiary. Nie ma zatem obowiązku odkładania na osiach punktów zerowych, gdy nie było w ich okolicy punktów pomiarowych (chyba, że w dalszej analizie konieczne będzie odczytanie wartości  $Y$  dla  $X=0$ ). Skalę na osiach układu nanosimy zazwyczaj w postaci równooddalonych liczb. Ich wybór i gęstość na osi musi zapewniać jak największą prostotę i wygodę korzystania z nich.

Na osiach wykresu muszą być umieszczone odkładane wielkości fizyczne i ich jednostki lub wymiary.

2. Punkty nanosimy na wykres tak, by były wyraźnie widoczne, zaznaczamy je kółkami, trójkątami, kwadracikami itp. Na rysunku należy zaznaczyć również niepewności pomiarowe w postaci prostokątów lub odcinków.

*Graficzne przedstawienie niepewności systematycznej:*

Załóżmy, że wartości  $x$  i  $y$  otrzymane z pomiarów są obarczone odpowiednio niepewnościami  $\Delta x$  i  $\Delta y$ . Oznacza to, że rzeczywiste wartości tych wielkości mieszczą się w przedziałach od  $x-\Delta x$  do  $x+\Delta x$  oraz od  $y-\Delta y$  do  $y+\Delta y$ . Na wykresie zależności  $Y(X)$  przedziały te wyznaczają wokół punktów  $(x,y)$  prostokąty o bokach  $2\Delta x$  i  $2\Delta y$ . Niepewności te można również zaznaczać wokół punktu pomiarowego  $(x,y)$  poprzez odcinki o długości  $2\Delta x$  i  $2\Delta y$  (rys.1)



Rys.1 Zaznaczanie niepewności wokół punktów pomiarowych.

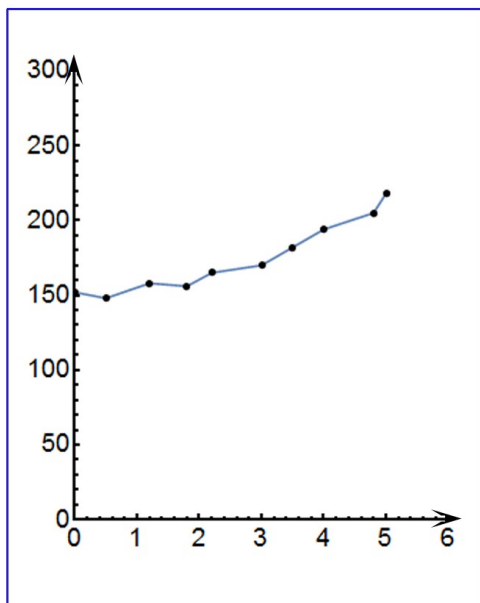
**Uwaga:** Jeżeli wartość zmiennej  $X$  jest dokładnie znana (czyli  $\Delta x=0$ ), to na wykresie zaznaczamy tylko niepewności na osi zmiennej zależnej (na osi  $y$ ).

3. Rozmiar wykresu nie jest dowolny i nie powinien wynikać z tego, że dysponujemy takim, a nie innym kawałkiem papieru (na rys.2 arkusz papieru milimetrowego zaznaczony jest kolorem niebieskim). Rozmiar powinien być określony przez niepewności

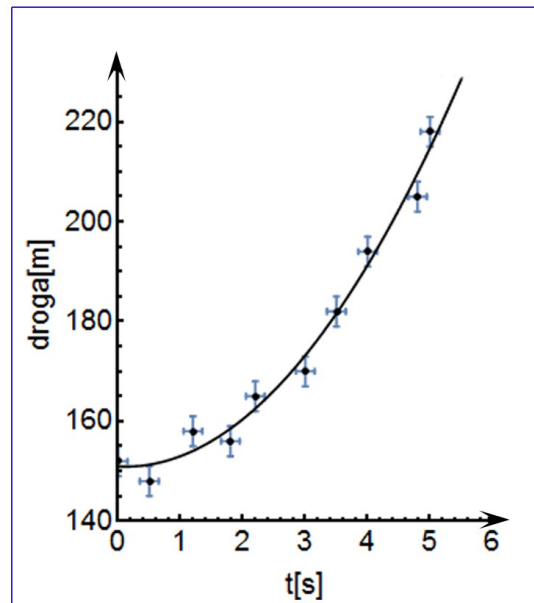
pomiarowe tych wielkości, które odkłada się na osiach. Niepewność ta powinna w wybranej skali być odcinkiem o łatwo zauważalnej, znaczącej długości.

- Następnie prowadzimy odpowiednią krzywą (nie może to być linia łamana!) tak, by przecinała w miarę możliwości punkty pomiarowe, ale nie należy dążyć do tego, aby przechodziła ona przez wszystkie punkty, ponieważ każdy z nich obarczony jest niepewnością. W przypadku dużych rozrzutów staramy się, by ilość punktów poniżej i powyżej krzywej była zbliżona – w ten sposób uśredniamy graficznie wyniki pomiarów. W przypadku zależności nieliniowych korzystamy z krzywek.
- Każdy rysunek powinien być podpisany. Etykieta wykresu wyjaśnia, co rysunek zawiera, co reprezentują zaznaczone krzywe.
- 

**PODSUMOWANIE:**



***zły wykres***



***dobry wykres***

Rys.2