

ĆWICZENIE 47

POLARYZACJA

Wstęp.

Światło naturalne występujące w przyrodzie na ogół jest niespolaryzowane. Wynika to między innymi z mechanizmu powstawania promieniowania. Cząsteczki, atomy emitujące światło są źródłem oscylacji o różnym zorientowaniu. Niczego tu nie zmienia wycinanie ze źródeł rozciągniętych obrazów prawie punktowych. Promieniowanie z takich źródeł jest w dalszym ciągu niespolaryzowane. Polaryzacja to uporządkowanie drgań w jednej płaszczyźnie. Podlegają jej tylko fale poprzeczne. Za wrażenie świetlne w fali elektromagnetycznej odpowiedzialny jest wektor elektryczny \vec{E} . Jeżeli światło jest spolaryzowane liniowo, wówczas drgania wektora natężenia pola (\vec{E}) odbywają się w jednej płaszczyźnie zwanej płaszczyzną drgań. Płaszczyzna polaryzacji jest prostopadła do płaszczyzny drgań.



Rys. 1

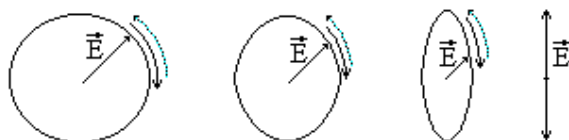
Zasadę polaryzacji liniowej schematycznie przedstawiono na rys. 1.

Zazwyczaj światło ulega częściowej polaryzacji określanej przez wielkość zwaną stałą polaryzacji.

$$P = \frac{J_{max} - J_{min}}{J_{max} + J_{min}}, \quad (1)$$

gdzie: J_{max}, J_{min} - maksymalne i minimalne natężenie światła przechodzącego przez polaryzator.

W wiązce spolaryzowanej kołowo wektor świetlny zakreśla okrąg w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku rozchodzenia się fali. Jeżeli wektor \vec{E} wykonuje obroty w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku rozchodzenia się i jednocześnie zmienia periodycznie wartość, to mamy do czynienia z polaryzacją eliptyczną. Drgania wektora świetlnego w różnych typach polaryzacji w konwencji dwuwymiarowej przedstawiono na rys. 2.

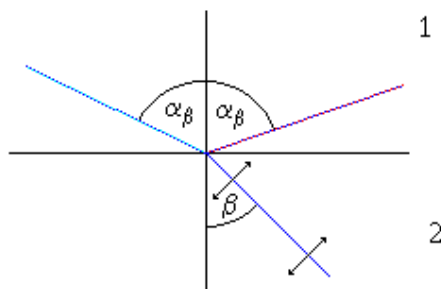


Rys.2

Światło spolaryzowane liniowo możemy otrzymać przez odbicie od dielektryków, przez załamanie, rozpraszanie, selektywną absorpcję, podwójne załamanie. Światło możemy spolaryzować kołowo lub eliptycznie między innymi przez odbicie od powierzchni przewodników, przez przepuszczenie przez ośrodki przezroczyste wykazujące ukierunkowanie, przez złożenie promieniowania spolaryzowanego liniowo w płaszczyznach wzajemnie prostopadłych.

Polaryzacja liniowa przez odbicie i załamanie. Kąt Brewstera.

Światło naturalne odbijając się od powierzchni wody, szkła, tworzyw sztucznych ulega częściowej polaryzacji. Promieniowanie to ulega całkowitej polaryzacji, jeżeli kąt padania osiąga wartość kąta Brewstera.



Rys.3

Niech wiązka promieniowania niespolaryzowanego pada na powierzchnię dielektryka pod kątem α . W wyniku odbicia ulega polaryzacji liniowej, przy czym płaszczyzna drgań odbitego promieniowania spolaryzowanego jest prostopadła do płaszczyzny kartki, a płaszczyzna polaryzacji pokrywa się z płaszczyzną padania (kartki). Promień załamany spolaryzowany jest w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny kartki, a płaszczyzna drgań pokrywa się z płaszczyzną kartki. Promień odbity jest całkowicie spolaryzowany, gdy promień odbity i załamany tworzy kąt 90° , wtedy kąt padania jest kątem Brewstera.

Z prawa Sneliusa mamy

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{12} .$$

Z rysunku 3 łatwo zauważyć, że

$$\alpha_{\beta} + \beta + \frac{\pi}{2} = \pi ,$$

stąd

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha .$$

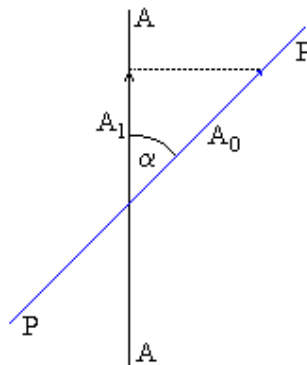
Zatem

$$n = \frac{\sin \alpha_{\beta}}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_{\beta}\right)} = \operatorname{tg} \alpha_{\beta} . \quad (2)$$

Promień załamany niezależnie od wartości kąta α , jest spolaryzowany częściowo. Stopień polaryzacji zwiększamy przepuszczając go przez stos płytek dielektrycznych (np. szklanych). Spolaryzowanie wiązki załamanej silnie wzrasta ze wzrostem liczby powierzchni odbijających.

Oko ludzkie nie rozpoznaje promieniowania spolaryzowanego. Musimy posługiwać się specjalnymi analizatorami, aby stwierdzić polaryzację. Polaryzator i analizator może mieć taką samą strukturę i może być stosowany zamiennie. Przepuszczają drgania odbywające się tylko w jednym kierunku, charakterystycznym dla siebie. Jeżeli PP oznacza kierunek drgań przepuszczonych przez polaryzator a AA kierunek drgań przepuszczonych przez analizator, to amplitudę drgań na wyjściu układu otrzymamy z zależności

$$A_1 = A_0 \cos \alpha .$$



Rys. 4

Natężenie promieniowania. $J \sim A^2$

Skąd wynika równanie.

$$J = kA^2 ,$$

gdzie: $k = \text{const}$.

Jeżeli przez J_0 oznaczymy natężenie wiązki padającej na polaryzator a przez J natężenie wiązki wychodzącej z analizatora, to

$$\frac{J^2}{J_o^2} = \frac{k^2 A^2}{k^2 A_o^2} = \frac{A^2}{A_o^2} = \frac{A_o^2 \cos^2 \alpha}{A_o^2},$$

stąd

$$J^2 = J_o^2 \cos^2 \alpha. \quad (3)$$

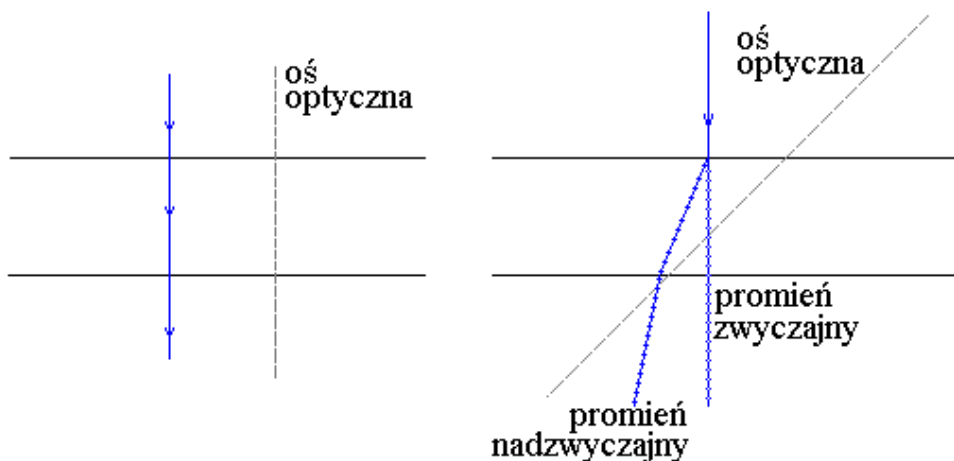
Jest to tzw. prawo Malusa.

Analizator i polaryzator tworzą kąt α . Jeżeli $\alpha = 0, \pi$, to $J = J_o$ i jest przypuszczana wiązka o natężeniu maksymalnym.

Jeżeli $\alpha = \frac{\pi}{2}, \frac{3}{2}\pi$, to $J = 0$ i następuje całkowite wygaszenie promieniowania.

Dwójłomność.

Światło ulega polaryzacji przy przejściu przez struktury uporządkowane np. kryształy. Odległości między węzłami sieci krystalicznej są bardzo małe i przestrzenie między nimi stanowią dobre „szczeliny”. Wyróżnionymi kierunkami są osie optyczne. W kryształach jednoosiowych mamy jeden kierunek wyróżniony. Światło przechodzące przez płytkę wyciętą z kryształu skierowane wzdłuż osi optycznej zachowuje się tak, jak przy przejściu przez substancję bezpostaciową. Jeżeli promień będzie skierowany pod kątem $\alpha \neq 0$ i 180° względem osi optycznej, to rozdzieli się na dwa: zwyczajny i nadzwyczajny. Zjawisko to nazwano dwójłomnością.



Rys. 5

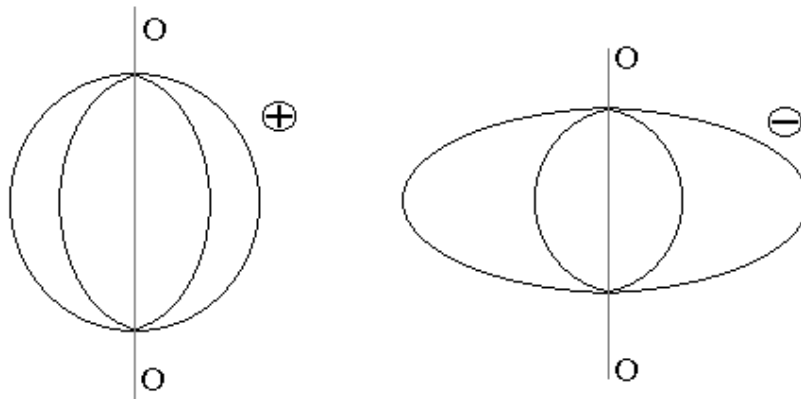
Promień zwyczajny jest spolaryzowany w płaszczyźnie kartki a nadzwyczajny w płaszczyźnie prostopadłej do kartki. Złożenie promienia zwyczajnego i nadzwyczajnego daje promień spolaryzowany kołowo. Promień nadzwyczajny nie podlega prawu Snelliusa w postaci sinusowej. Zjawisko

podwójnego załamania tłumaczymy w ten sposób, że w kryształach dookoła punktu świecącego powstają dwie powierzchnie falowe, przemieszczające się z różnymi prędkościami (rys. 6.).

W kryształach jednoosiowych dodatnich prędkości spełniają relacje $V_{zw} \geq V_n$, o

współczynnikach załamania $n_{zw} = \frac{c}{V_{zw}}$ i $n_n = \frac{c}{V_n}$, $n_n \geq n_{zw}$.

W ujemnych $V_{zv} \leq V_n$ i $n_n \leq n_{zv}$.



Rys.6

Skręcenie płaszczyzny polaryzacji.

Polaryzacja jest własnością promieniowania. Skręcenie płaszczyzny polaryzacji, związane jest aktywnością optyczną środowiska. Do środowisk aktywnych optycznie zaliczamy kryształy, niektóre ciecze (terpentyna), roztwory (wodny roztwór cukru) a nawet gazy. Zjawisko związane jest z asymetrią w budowie kryształów lub cząsteczek.

W zależności od kierunku skręcania rozróżniamy środowiska prawoskrętne i lewoskrętne. Kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji jest funkcją grubości płytki i długości fali $\varphi = f(h, \lambda)$. Dla danej długości fali jest proporcjonalny do długości drogi (l) przebywanej w ośrodku.

$$\varphi = K \cdot l, \quad (4)$$

gdzie

$$K = \frac{\varphi_0}{h_0}, \quad (5)$$

jest zdolnością właściwą skręcenia płaszczyzny polaryzacji. Wielkość ta zależy od długości fali światła spolaryzowanego i od temperatury badanego ciała.

W odróżnieniu od kryształów w cieczach lub roztworach optycznie czynnych nie istnieje asymetria układu cząsteczek a asymetria budowy cząsteczek.

W czystej cieczy optycznie czynnej kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji wyraża się wzorem

$$\varphi = \varphi_o \rho l, \quad (6)$$

gdzie: ρ - jest gęstością cieczy,

l - długością warstwy cieczy,

φ_o - jest stałym współczynnikiem zależnym od długości fali λ i słabo zależnym od temperatury. Jest to zdolność właściwa skręcenia płaszczyzny polaryzacji danej czystej substancji przy ustalonej długości fali.

Jeżeli substancja optycznie czynna jest rozpuszczona w roztworze, gdzie rozpuszczalnik jest cieczą optycznie nieczynną, to zdolność właściwą obliczamy z zależności:

$$\varphi_o = \frac{\varphi}{l \cdot d}, \quad (7)$$

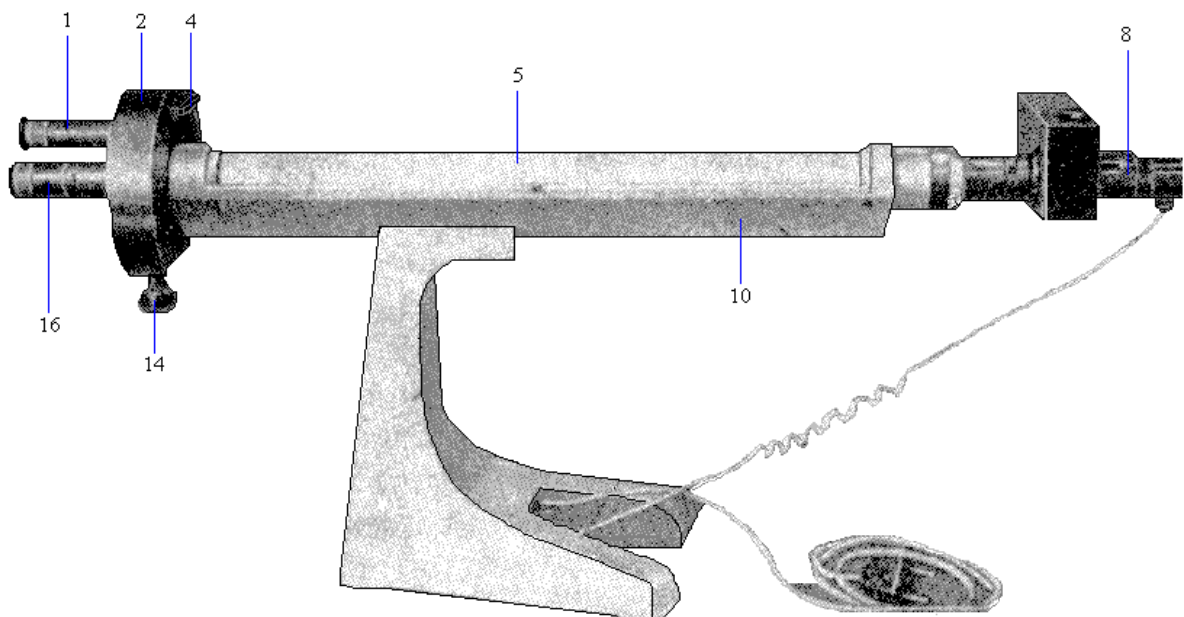
gdzie: d - jest stężeniem roztworu.

Przekształcając zależność (7) dostajemy.

$$d = \frac{\varphi}{\varphi_o \cdot l}. \quad (8)$$

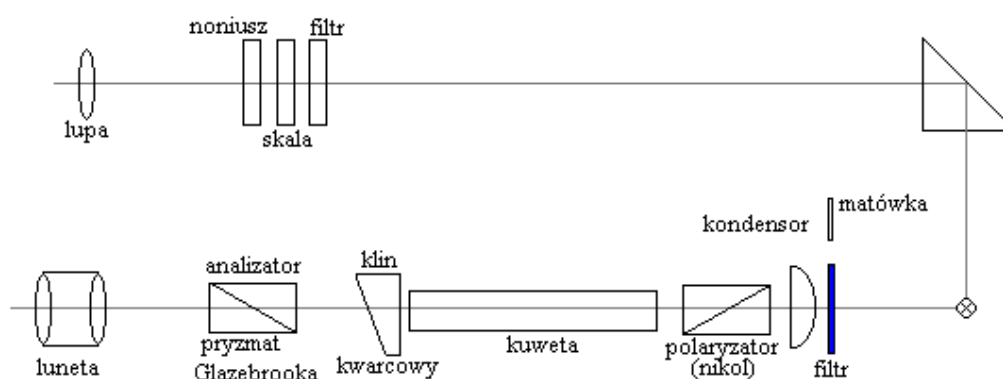
Stąd mierząc kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji możemy wyznaczyć stężenie substancji optycznie czynnej w roztworze.

Sacharymetr.



Rys. 7

Ogólny widok sacharymetru przedstawiono na rysunku 7. Do podstawowych części sacharymetru zaliczamy zespół pomiarowy (2), zespół oświetleniowy (8). Oba zespoły umieszczone są na końcach rury (10). W jej wnętrzu znajduje się komora (5), w której umieszcza się rurki z badaną cieczą. W przedniej części przyrządu znajduje się lupa w oprawie (1), służąca do odczytu skali oraz lunetka pomiarowa (16). Przy pomocy uchwyty (4) ustawiamy skalę przyrządu na 0. U dołu zespołu pomiarowego znajduje się pokrętło (14), służące do zmiany położenia klina kwarcowego i zespolonej z nim skali. Schemat optyczny sacharymetru przedstawiono na rys. 8.

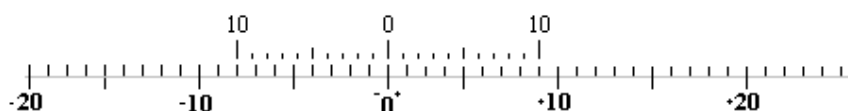


Rys. 8

Światło przechodząc przez klin staje się monochromatyczne. Przechodząc przez półcieniowy pryzmat Nicola zostaje spolaryzowane i rozdzielone na dwie wiązki (pole widzenia lunety dzieli się na dwie połówki przecięte cienką linią). Skręcenie płaszczyzny polaryzacji w cieczy zawartej w kuwecie jest kompensowane przez odpowiednie przesunięcie klina kwarcowego sprzężonego ze skalą. Odczyt następuje wtedy, gdy oba pola w polu widzenia lunety są jednakowo oświetlone.

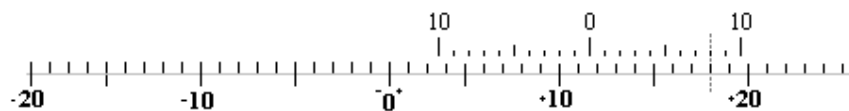
Zasada odczytu skali sacharymetru.

Zerowanie przyrządu. Zero noniusza powinno pokryć się z zerem skali głównej (patrz rys. 9).



Rys. 9

Odczyt przyrządu przy przesunięciu noniusza w prawo w sytuacji przedstawionej na rysunku 10

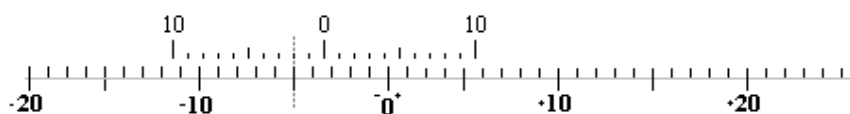


Rys. 10

Zerowa kreska noniusza znajduje się powyżej 11 kreski skali głównej, więc pełna liczba stopni wynosi 11, ósma kreska skali noniusza dokładnie pokrywa się z kreską skali głównej. Zatem odczytujemy $0,8^\circ$.

Pełny odczyt, to $11^\circ + 0,8^\circ = +11,8^\circ$.

Rysunek 11 przedstawia sytuację, gdy noniusz został przesunięty w lewo.



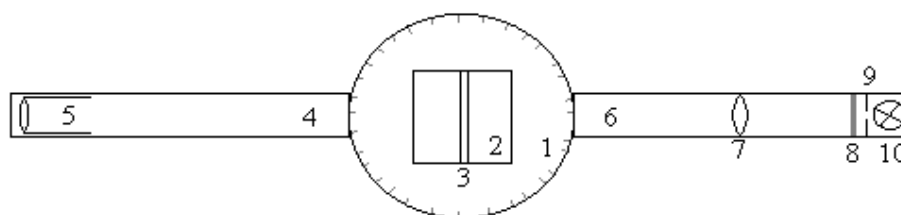
Rys. 11

Zero skali noniusza przesunięte jest na lewo od 3 kreski skali głównej odpowiada to 3° . Druga kreska noniusza z lewej strony pokrywa się z kreską skali głównej, więc z noniusza odczytujemy $0,2^\circ$.

Pełny odczyt - $(3^\circ + 0,2^\circ) = -3,2^\circ$.

A. Pomiar kąta Brewstera dla różnych substancji.

Do przeprowadzenia pomiarów kąta Brewstera wykorzystujemy urządzenie składające się ze stolika obrotowego wyskalowanego w stopniach oraz dwóch ramion, z których jedno jest ruchome. Na ramieniu ruchomym zamontowano lampę, szczelinę, uchwyt do filtrów oraz kondensator. Na ramieniu nieruchomym umieszczono w uchwycie polaroid. Płytkę odbijającą zakładamy w specjalnym uchwycie na stoliku. Schemat zestawu pomiarowego pokazano na rysunku 12.



Rys. 12

- | | |
|-----------------------|------------------|
| 1. stolik ze skalą | 6. ramie ruchome |
| 2. podstawka | 7. kondensator |
| 3. płytka | 8. filtr |
| 4. ramie nieruchome | 9. szczelina |
| 5. polaroid w oprawce | 10. lampa |

Przebieg pomiarów.

1. Oświetlić szczelinę (9) i otrzymać jej ostry obraz na płytce (3).
2. Płytkę (3) z podstawką (2) tak ustawić aby promień świetlny po odbiciu przeszedł przez środek polaroidu.
3. Ustawić polaroid na minimum.
4. Ramię (6) i stolik (1) ustawić w takim położeniu aby obraz szczeliny zniknął w polaroidzie.
5. Odczytać kąt α_1 jaki wskazuje ramię (4) oraz kąt α_2 jaki wskazuje ramię (6).
6. Obliczyć kąt padania

$$\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_1 - \alpha_2) .$$

7. Powtórzyć czynności z pkt. 4,5,6 pięciokrotnie przesuważąc ramię (6) o 1 stopień w prawo, a następnie pięciokrotnie w lewo od położenia wyznaczonego w pierwszym pomiarze. Sprawdzić czy rozjaśnienie pola widzenia w polaroidzie z lewej i prawej strony jest identyczne.
8. Znaleźć położenie średnie α_{2s} i α_{1s} dla wszystkich pomiarów z punktu 7.
9. Oszacować błąd maksymalny.
10. Powtórzyć czynności z punktów 4 -9 używając filtru czerwonego, pomarańczowego, zielonego i fioletowego.
11. Powtórzyć czynności z punktu 4 -11 dla płytki z innego materiału.
12. Przeprowadzić analizę wyników i dyskusję błędów.

B. Pomiar stężenia cukru w roztworze przy pomocy sacharymetru.

1. Przygotować wodny roztwór cukru o zadanym stężeniu.
2. Wyzerować sacharymetr z pustą komorą.
3. Napełnić rurkę wodą destylowaną i sprawdzić wyzerowanie sacharymetru.
4. Napełnić rurkę roztworem cukru o zadanym stężeniu, wyznaczyć kąt skęcenia płaszczyzny polaryzacji.

Uwaga! Przy napełnianiu rurki cieczą zwrócić uwagę na czystość szkiełek przykrywkowych oraz nie dopuścić do pojawienia się pęcherzyków powietrza wewnątrz rurki.

5. Pomiary z punktu 4 powtórzyć trzykrotnie.
6. Napełnić rurkę roztworem o stężeniu dowolnym (zadany przez prowadzącego) oraz wyznaczyć kąt skęcenia płaszczyzny polaryzacji.
7. Czynności i pomiary z punktu 6 powtórzyć 10-krotnie zmniejszając stężenie roztworu (przez dolewanie wody destylowanej).
8. Korzystając ze wzoru (7) obliczyć właściwą zdolność skęcenia φ_0 dla każdego pomiaru oddzielnie i obliczyć średnią.

9. Korzystając ze wzoru (8) obliczyć stężenie roztworu dla każdego pomiaru oddzielnie.
10. Przeprowadzić rachunek błędów.
11. Sporządzić wykres zależności $d = f(\varphi)$.
12. Z wykresu odczytać stężenie dla pomierzonych kątów skręcenia płaszczyzny polaryzacji. Porównać z wartościami obliczonymi.
13. Przeprowadzić dyskusję wyników i błędów.

Literatura

1. Meyer-Arednt - Wstęp do optyki
2. Jaworski, A. Dietlaf - Kurs Fizyki t.3
3. Szczeniowski - Fizyka doświadczalna t.IV, Optyka
4. Dryński - Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki
5. Szydłowski - Laboratorium fizyczne.