



Podstawy Fizyki Optyka

Praca zbiorowa

Ćwiczenie 47

POLARYZACJA

opr. tech. Mirosław Maś

Uniwersytet Przyrodniczo - Humanistyczny
Siedlce 2020

1. Cel ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest wykorzystanie zjawiska skręcenia kąta płaszczyzny polaryzacji do wyznaczenia nieznanego stężenia wodnego roztworu cukru, opanowanie metody pomiaru kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji, doskonalenie umiejętności odczytu kąta z wykorzystaniem noniusza, poznanie budowy i zasady działania sacharymetru, oraz przypomnienie podstawowych wiadomości dotyczących przygotowania roztworów o określonym stężeniu (roztwory procentowe wagowe i objętościowe).

Przed rozpoczęciem ćwiczenia należy sprawdzić czy zestaw laboratoryjny jest kompletny.

W skład zestawu pomiarowego wchodzi:

- sacharymetr,
- waga laboratoryjna, odważniki,
- zlewki, menzurka, lejek,

oraz materiały:

- cukier. woda destylowana.

Do ćwiczenia należy opanować następujące zagadnienia teoretyczne:

1. Co to jest światło? Czym różni się światło naturalne od spolaryzowanego?
2. Zjawisko polaryzacji światła, rodzaje i metody polaryzacji światła. Płaszczyzna polaryzacji światła.
3. Substancje optycznie czynne.
4. Dwójłomność .
5. Budowa i zasada działania sacharymetru.
6. Budowa i zasada działania pryzmatu nikola.
7. Jakie substancje nazywamy optycznie czynnymi?
8. Jak definiuje się skręcalność właściwą?
9. Zasada działania noniusza.

2. Wprowadzenie teoretyczne

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. Promieniowanie z takich źródeł jest niespolaryzowane. Polaryzacja to uporządkowanie drgań w jednej płaszczyźnie. Podlegają jej tylko fale poprzeczne.

Polaryzacja liniowa - światło jest spolaryzowane liniowo, wówczas gdy drgania odbywają się w jednej płaszczyźnie zwanej płaszczyzną drgań. Płaszczyzna polaryzacji jest prostopadła do płaszczyzny drgań. Zasadę polaryzacji liniowej schematycznie przedstawia rysunek.



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

$$P = \frac{J_{max} - J_{min}}{J_{max} + J_{min}} ,$$

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

Światło spolaryzowane liniowo możemy otrzymać przez odbicie od dielektryków, przez załamanie, rozpraszanie, selektywną absorpcję, podwójne załamanie.

Kąt Brewstera.

Światło naturalne (niespolaryzowane) padając pod kątem na powierzchnię wody, szkła, tworzyw sztucznych ulega częściowej polaryzacji. W przypadku gdy następuje całkowita polaryzacja, to kąt padania nazywamy - kątem Brewstera.

Polaryzacja liniowa przez odbicie i załamanie.

Z prawa Snelliusa mamy

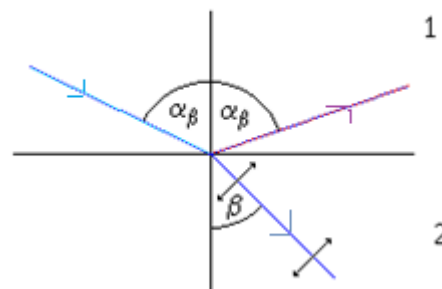
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{12} .$$

Na podstawie rysunku łatwo zauważyć, że

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

stąd

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



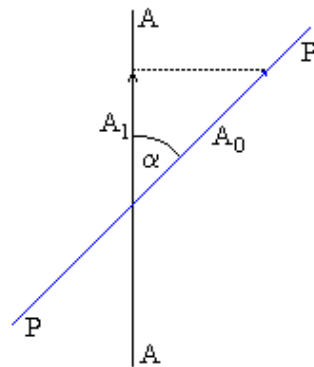
Zatem współczynnik załamania

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

Promień załamany niezależnie od wartości kąta α , jest spolaryzowany częściowo.

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

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



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

$$\frac{J^2}{J_0^2} = \frac{k^2 A^2}{k^2 A_0^2} = \frac{A^2}{A_0^2} = \frac{A_0^2 \cos^2 \alpha}{A_0^2} ,$$

stąd

$$J^2 = J_0^2 \cos^2 \alpha .$$

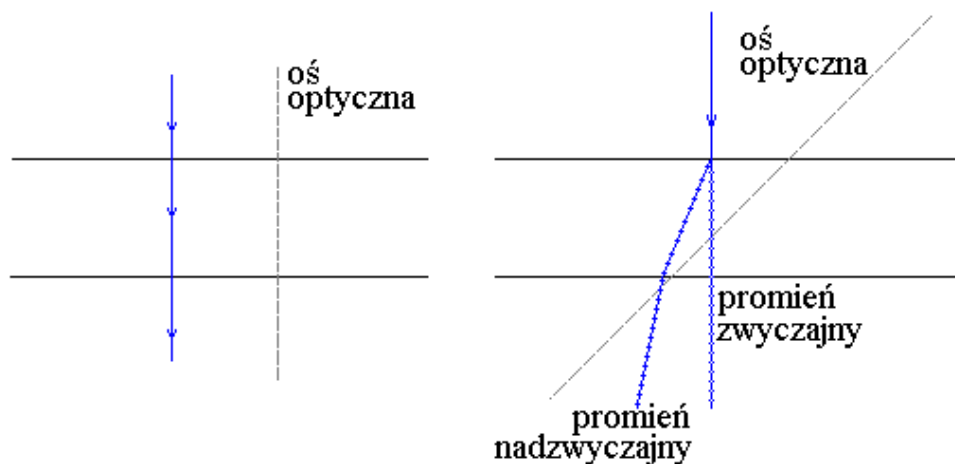
Jest to tzw. prawo Malusa.

Analizator i polaryzator tworzą kąt α . Jeżeli $\alpha = 0, \pi$, to $J = J_0$ i jest przepuszczana 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.



Skręcenie płaszczyzny polaryzacji.

Skręcenie płaszczyzny polaryzacji, związane jest z 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 próbki i długości fali $\varphi = f(h, \lambda)$. Dla danej długości fali jest proporcjonalny do długości drogi (l) w danym ośrodku.

$$\varphi = K \cdot l ,$$

gdzie

$$K = \frac{\varphi_o}{h_o} ,$$

to zdolność właściwa skręcenia płaszczyzny polaryzacji. 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:

$$\varphi = \varphi_o \rho l,$$

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:

$$\varphi_o = \frac{\varphi}{l \cdot d}, \quad (1)$$

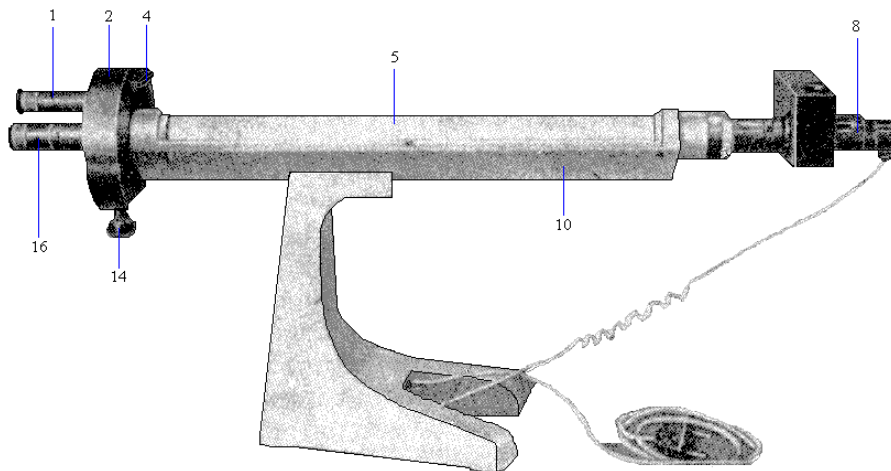
gdzie: d - jest stężeniem roztworu.

Przekształcając zależność dostajemy.

$$d = \frac{\varphi}{\varphi_o \cdot l}. \quad (2)$$

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

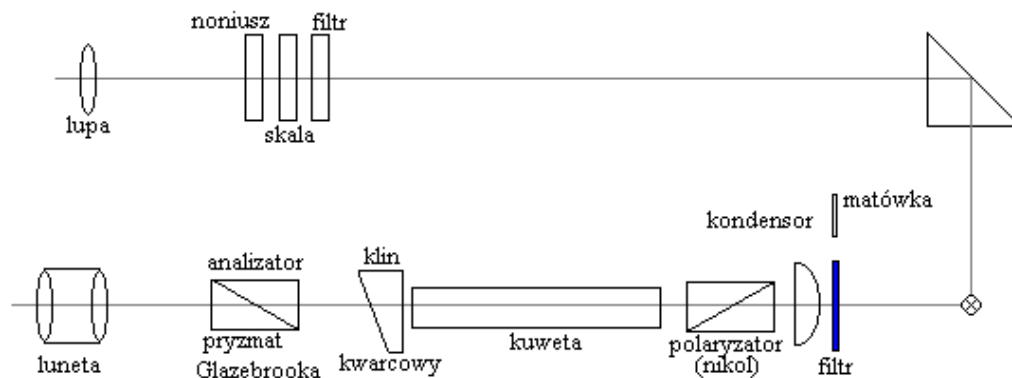
Sacharymetr.



Na rysunku zaznaczono podstawowe części sacharymetru.

- 1 - lupa w oprawie, służąca do odczytu skali
- 2 - zespół pomiarowy
- 4 - regulator 0 skali
- 5 - komora na próbki (w kuwecie)
- 8 - zespół oświetleniowy
- 10 - obudowa
- 14 - pokrętko zmiany położenia klina kwarcowego i zespolonej z nim skali
- 16 - lunetka pomiarowa

Schemat optyczny sacharymetru przedstawiono na rysunku poniżej.

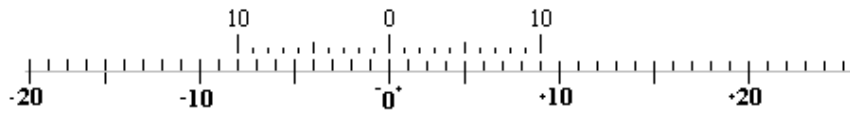


Światło (białe) przechodząc przez filtr - staje się monochromatyczne. Przechodząc przez półcieniowy pryzmat Nicola zostaje spolaryzowane i rozdzielone na dwie wiązki (pole widzenia lunety dzieli się na dwie połowki przecięte cienką linią). Skręcenie płaszczyzny polaryzacji w cieczy zawartej w kuwecie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

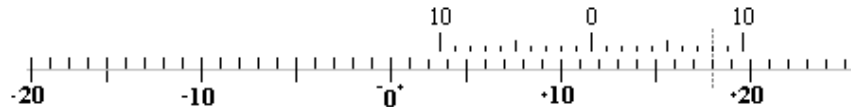


Zasada odczytu skali sacharymetru.

Zerowanie przyrządu. Zero noniusza powinno pokryć się z zerem skali głównej



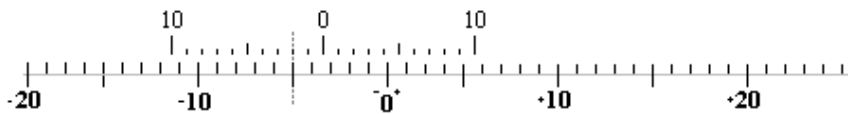
Odczyt przyrządu przy przesunięciu noniusza w prawo w sytuacji przedstawionej na rysunku poniżej



Zerowa kreska noniusza znajduje się po 11 kresce 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 $11^\circ + 0,8^\circ = +11,8^\circ$.

Noniusz został przesunięty w lewo.



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 to $(3^\circ + 0,2^\circ) = -3,2^\circ$ (z powodu przesunięcia w lewo).

Zasada odczytu jest identyczna jak sposób odczytu z suwmiarki. Różnicą jest to, że mamy możliwość odczytu wartości ujemnych.

3. Przebieg pomiarów

Pomiar stężenia cukru w roztworze przy pomocy sacharymetru.

1. Przygotuj (wagowo) wodny roztwór cukru o zadanym (przez prowadzącego zajęcia) stężeniu, np. 5%; 10%.

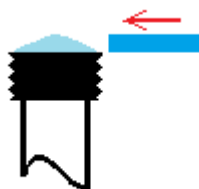
Sporządź - 100g 10% roztworu: w tym celu, odważ 10g sacharozy i rozpuść w 90g (90 ml) wody destylowanej (1 g wody destylowanej zajmuje objętość 1 ml).

UWAGA! Należy dokładnie wymieszać sporządzane roztwory, aż do całkowitego rozpuszczenia się sacharozy (cukru).

2. Wyzeruj sacharymetr z pustą komorą (opis w zasadach odczytu). Obejrzyj w lunecie pomiarowej (16) widoczny obraz. Delikatnie pokręć pokrętłem (14) i zwróć uwagę jak się zmienia obraz w polu widzenia lunetki pomiarowej.

3. Napelnij rurkę wodą destylowaną. Odczytaj kąt skręcenia. Wyniki zanotuj

UWAGA! Przy napelnianiu rurki należy zwrócić uwagę na czystość szkiełek przykrywkowych oraz nie dopuść do pojawienia się pęcherzyków powietrza wewnątrz rurki.



Po odkręceniu nakrętki napelnij rurkę wodą destylowaną (lub roztworem) aż do momentu powstania menisku. Następnie suche, czyste szkiełko nakładkowe nasuń na rurkę prostopadle do osi rurki, ścinając menisk – patrz rysunek (nie dopuść do pojawienia się pęcherzyka powietrza wewnątrz rurki), zakręć nakrętkę. Sprawdź czy

w nakrętce jest gumowa podkładka dociskowa – nie pozwala ona na zbyt silne dokręcenie nakrętki.

4. . Napelnij rurkę roztworem cukru o zadanym stężeniu, wyznacz kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji. Odczytaj φ . Wyniki zanotuj

stężenie	odczyty ze skali sacharymetru			
	I	II	III	średnia
%				
H ₂ O				
10				
5				
x ₁				
x ₂				
x ₃				

5. Napelnij rurkę roztworem o dowolnym stężeniu wyznacz kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji. Powtórz pomiary dla innych stężeń. Wyniki zanotuj.

4. Opracowanie wyników

1. Korzystając ze wzoru (1) oblicz właściwą zdolność skręcenia φ_0 , oblicz średnią.
2. Korzystając ze wzoru (2) oblicz stężenie roztworu dla każdego pomiaru oddzielnie.
3. Przeprowadzić rachunek błędów i dyskusję wyników i błędów. **Metodę obliczeń określa prowadzący zajęcia.**

4. Literatura

1. J.R. Meyer-Arendt - Wstęp do optyki
2. B. Jaworski, A. Dietłaf - Kurs Fizyki t.3
3. Szczeniowski - Fizyka doświadczalna t.IV, Optyka
4. T. Dryński - Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki
5. H. Szydłowski - Laboratorium fizyczne.
6. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, - Podstawy Fizyki, tom 4
7. Cz. Kajtoch, - I Pracownia Fizyczna Wydawnictwo Naukowe AP,
8. S. Szczeniowski, - Fizyka doświadczalna, cz. 4, PWN, Warszawa, 1980.
9. <http://kawe.wfis.uni.lodz.pl/kfd/pdf/O-17.pdf>
10. <https://wmf.usz.edu.pl/wp-content/uploads/I-pracownia-Fizyczna-E02.pdf>
11. <http://www.pracowniefizyczne.up.krakow.pl/instrukcje%20I%20prac/>
12. <http://astrofiz.pl/dnifizyki/8dnifizyki/prezentacje/polaryzacja1/polaryzacja.php>
13. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Sacharymetr>