

## Skręcenie płaszczyzny polaryzacji światła w cieczach (PF13)

Celem ćwiczenia jest:

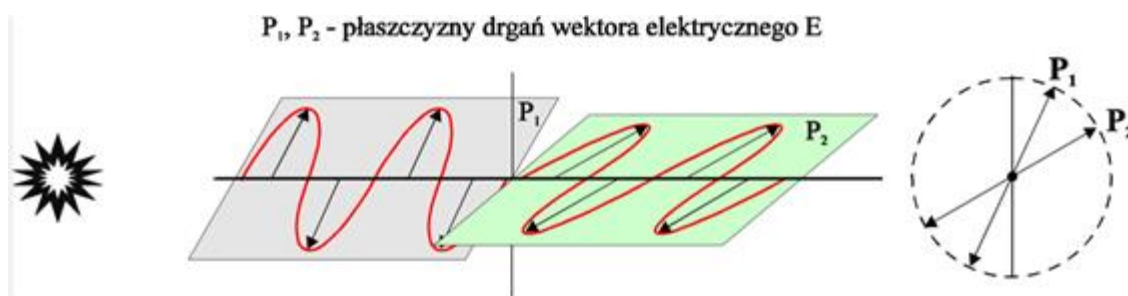
- obserwacja zjawiska skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła w roztworach cukru,
- obserwacja zależności kąta skręcenia od stężenia roztworu,
- wyznaczenie współczynnika skręcenia właściwego (skręcalności właściwej) płaszczyzny polaryzacji światła dla wodnego roztworu cukru.

Zagadnienia do przygotowania:

- światło jako fala elektromagnetyczna,
- zjawisko polaryzacji światła: polaryzacja liniowa, pryzmat Nicola,
- metody polaryzacji światła: podwójne załamanie w kryształach, odbicie światła,
- zasada działania noniusza.

## Polaryzacja światła

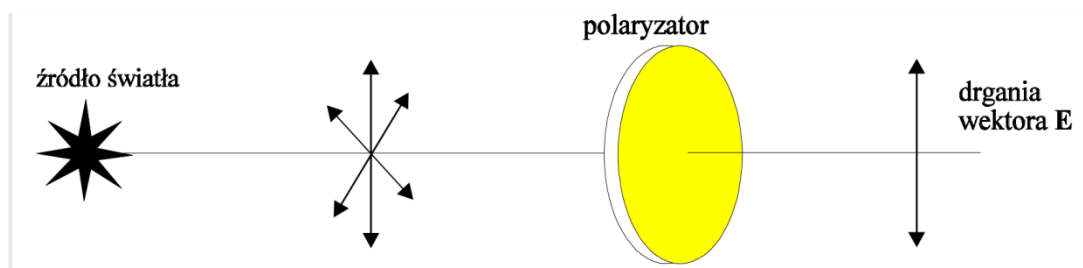
Światło stanowią fale elektromagnetyczne, w których mamy do czynienia z rozchodzeniem się zmiennych pól elektrycznych i magnetycznych. Przyjęto określać drgania świetlne tylko wektorem  $E$  i nazwano go wektorem świetlnym. W świetle wychodzącym z naturalnego źródła drgania wektora świetlnego odbywają się prostopadle do kierunku rozchodzenia się promieni, lecz we wszystkich możliwych płaszczyznach, w których ten kierunek leży i takie światło nazywamy *niespolaryzowanym*. Wynika to stąd, że wiązkę promieni tworzy wiele ciągów falowych wysłanych przez różne atomy emitujące promieniowanie. W każdym z tych ciągów falowych wektor świetlny drga w innej płaszczyźnie (rys 1).



**Rys.1** Drgania wektora  $E$  oraz płaszczyzny drgań ( $P_1$ ,  $P_2$ ) dla światła niespolaryzowanego, dla przykładowych dwóch ciągów falowych

Jeśli jakiś czynnik zewnętrzny (zwykle w wyniku oddziaływania światła i materii) „zmusi” chaotyczne drgania by odbywały się w jednej płaszczyźnie lub według innego obranego porządku, to mówimy o polaryzacji światła. Gdy drgania świetlne odbywają się w jednej płaszczyźnie polaryzacja nosi nazwę liniowej.

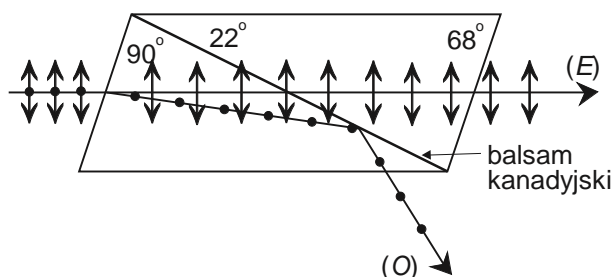
Światło spolaryzowane liniowo uzyskuje się przepuszczając je przez filtry polaryzacyjne (polaryzatory). Po przejściu przez taki filtr wektor świetlny  $E$  drga w jednej określonej płaszczyźnie (rys. 2).



Rys.2 Wiązka światła po przejściu przez filtr polaryzacyjny.

### Pryzmat Nicola (nikol)

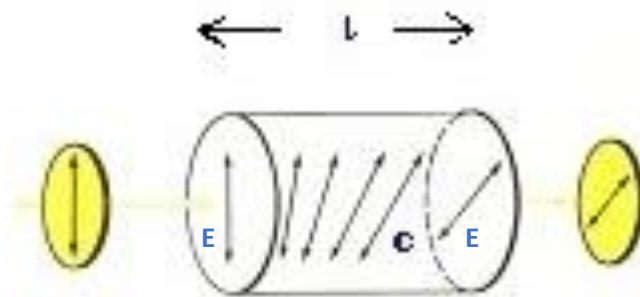
Pryzmat Nicola to rodzaj polaryzatora liniowego zbudowany jest z dwóch kawałków kryształu dwójłomnego (szpatu islandzkiego) połączonego warstwą balsamu kanadyjskiego. Kryształ dwójłomny powoduje rozszczepienie wiązki światła na dwie: zwyczajną i nadzwyczajną, obie spolaryzowane liniowo w kierunkach wzajemnie prostopadłych. Obecność balsamu kanadyjskiego, o współczynniku załamania mniejszym od szpatu islandzkiego, umożliwia eliminację jednej z wiązek poprzez całkowite wewnętrzne odbicie (kąt padania jest większy od kąta granicznego). Bieg promieni w pryzmacie Nicola ilustruje rysunek 3. Za pryzmatem Nicola światło jest spolaryzowane liniowo.



Rys.3 Bieg promieni w pryzmacie Nicola.

### Skręcenie płaszczyzny polaryzacji światła

Niektóre ciała posiadają zdolność skręcania płaszczyzny polaryzacji przy przechodzeniu przez nie światła spolaryzowanego liniowo (rys. 4). Nazywamy je ciałami optycznie czynnymi. Należą do nich niektóre ciała stałe (np. kwarc), ciecze, gazy oraz roztwory niektórych substancji, między innymi roztwór cukru. Skręcenie płaszczyzny polaryzacji następuje na skutek asymetrii budowy cząsteczek. W wodnym roztworze cukru za to skręcenie odpowiedzialny jest asymetryczny atom węgla w cząsteczce cukru.



Rys.4 Skręcenie płaszczyzny polaryzacji światła w roztworze .

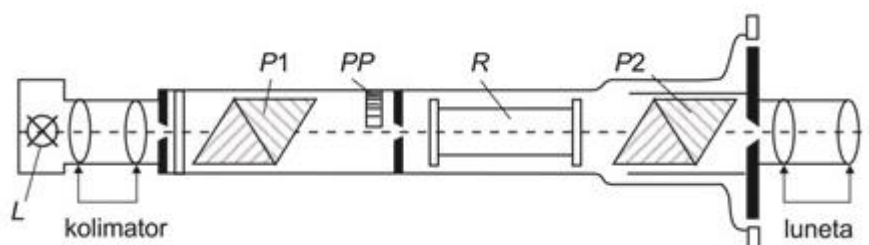
Wartość kąta  $\alpha$  skręcenia płaszczyzny polaryzacji w warstwie roztworu jest proporcjonalna do grubości tej warstwy  $l$  oraz stężenia roztworu  $c$  (prawo Biota). Stężenie  $c$  powinno być wyrażone jako stosunek masy substancji rozpuszczonej do objętości roztworu. Tylko wtedy kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji  $\alpha$  jest liniowo zależny od stężenia w całym zakresie stężeń.

$$\alpha = \alpha_0 c l$$

Współczynnik proporcjonalności  $\alpha_0$  jest współczynnikiem skręcenia właściwego płaszczyzny polaryzacji światła (skręcalnością właściwą). Zależy on od rodzaju roztworu, długości fali światła  $\lambda$  i temperatury  $t$  roztworu. Współczynnik skręcenia właściwego  $\alpha_0$  wyraża liczbowo wartość kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla roztworu o stężeniu jednostkowym ( $1 \text{ kg/m}^3$ ) i grubości warstwy jednostkowej ( $1 \text{ m}$ ). Ma więc wymiar:

$$[\alpha_0] = \left[ \frac{\text{deg} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}} \right]$$

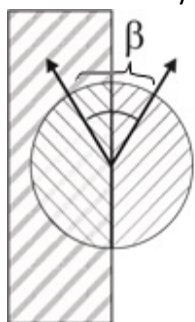
### Polarymetr Laurenta.



Rys. 5. Schemat polarymetru Laurenta. L – wbudowana lampa sodowa; P1 – pryzmat Nicola, polaryzator; P2 – pryzmat Nicola, analizator; R – rurka z badaną cieczą; PP – płytka póćieniowa.

Do pomiaru kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji służy polarymetr Laurenta, którego schemat przedstawia rysunek 5. Monochromatyczne światło z lampy sodowej  $L$  pada na kolimator formujący równoległą wiązkę światła, która po przejściu przez polaryzator  $P1$  jest spolaryzowana

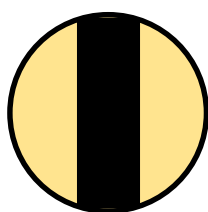
liniowo. Płaszczyzna polaryzacji tej wiązki, po przejściu przez ciecz optycznie czynną w rurce R, ulega skręceniu. Przy pomiarze kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji wykorzystuje się fakt, że oko może z dużą dokładnością stwierdzić różnice oświetlenia poszczególnych części pola widzenia. Zastosowana w przyrządzie płytka półcieniowa *PP* przesłania częściowo pole widzenia. Płytkę wykonaną jest z kwarcu skręcającego płaszczyznę polaryzacji, co powoduje, że za płytką płaszczyzny polaryzacji poszczególnych części wiązki światła tworzą ze sobą niewielki kąt  $\beta$  (rysunek 6).



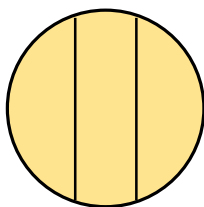
Rys. 6. Płytkę półcieniowa

W celu wyznaczenia kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji należy w nieobecności cieczy optycznie czynnej ustawić analizator w ten sposób, aby całe pole widzenia (część z płytką półcieniową i bez niej) miało jednakowe oświetlenie. Oznacza to ustawienie analizatora w takiej pozycji, że jego oś pokrywa się z dwusieczną kąta  $\beta$ . Po wstawieniu cieczy optycznie czynnej, płaszczyzna polaryzacji ulega skręceniu o taki sam kąt w całym polu widzenia, co powoduje różnice oświetlenia poszczególnych części. Przywrócenie równego oświetlenia dokonywane jest przez obrót analizatora *P2* dokładnie o kąt równy kątowi skręcenia płaszczyzny polaryzacji przez badaną ciecz. Analizator zaopatrzony jest w podziałkę kątową z noniusem, co pozwala na dokładny odczyt położenia kąтового.

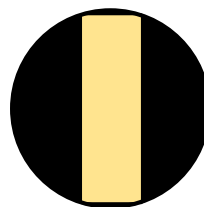
W polarymetrze półcieniowym używanym w tym ćwiczeniu, między polaryzator i analizator wstawiono płytkę półcieniową, zasłaniającą środkowy pasek pola widzenia. Analizator ustawiamy tak, aby pasek środkowy i pozostała część pola widzenia były jednakowo oświetlone (rys. 7b). Właściwe ustawienie analizatora jest wówczas, gdy niewielka zmiana kąta powoduje pojawienie się cienia na zewnątrz lub w środku pola widzenia.



a)



b)

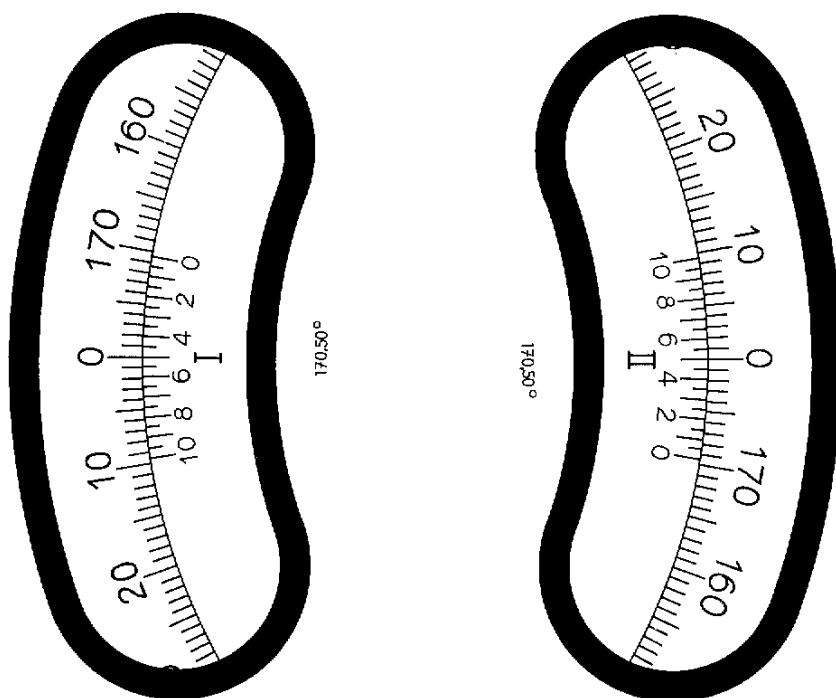


c)

Rys.7. Obrazy w polarymetrze półcieniowym

### Odczyt kątów na skali polarymetru.

Analizator polarymetru Laurenta zaopatrzone jest w podziałkę kątową z noniusem, co pozwala na dokładny odczyt położenia kąowego. Przykładowe ustawienie skali polarymetru pokazuje rysunek 8.



**Rys.8** Obraz skali polarymetru 0 - 180° z noniuszami I i II widziany przez lupki.

Kreska zerowa noniusza zawiera się między kreskami odpowiadającymi 170° i 171°, kreska skali kątovej pokrywa się z 5 długą kreską skali noniusza. Stąd wynik odczytu 170,50°.

## Pomiary

### Układ doświadczalny

Do wykonania ćwiczenia służy zestaw zawierający polarymetr Laurenta. Dostępne są też lampa sodowa (wykorzystywana jest żółta linia sodu o długości fali 589.3 nm), elektroniczna waga laboratoryjna, zlewki, woda destylowana, cukier.

### Przebieg doświadczenia

Zanotować dokładność odczytu położenia kąтового analizatora. Zanotować długość drogi światła w cieczy (długość rurki). Wyznaczyć „zero” polarymetru, czyli położenie kątowe analizatora, przy którym występuje jednakowe oświetlenie całego pola widzenia. Pomiar ten należy wykonać z rurką nie zawierającą cieczy.

Wstawić rurkę z wodą destylowaną i dziesięciokrotnie zmierzyć położenie kątowe analizatora, przy którym występuje jednakowe oświetlenie całego pola widzenia. Czysta woda nie skręca płaszczyzny polaryzacji, więc otrzymana wartość położenia kąтового powinna pokrywać się z wyznaczonym „zerem” polarymetru.

Sporządzić roztwór wodny cukru (sacharozy  $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) o stężeniu procentowym  $c_p$  (stosunek masy cukru do masy roztworu) mniejszych niż 15%. Wykonać dla tego roztworu pomiary położenia kąтового analizatora w pozycji jednakowego oświetlenia całego pola widzenia (każdy pomiar wykonać pięć razy). Pomiary powtórzyć dla kilku roztworów o różnych stężeniach. Na końcu wykonać pomiary dla wodnego roztworu cukru o nieznanym stężeniu  $c_x$ .

### Opracowanie wyników

Przeliczyć stężenia przygotowanych roztworów ze stężeń procentowych  $c_p$  na potrzebne stężenia  $c$  w jednostkach  $kg/m^3$ .

$$c = 0.01 * c_p * \rho$$

Gęstości wodnych roztworów cukru  $\rho$  znajdują się w tabeli 1.

**Tabela 1.** Gęstość wodnego roztworu cukru (sacharozy  $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) w temperaturze 20°C w zależności od jego stężenia procentowego ( $m_{\text{cukru}}/m_{\text{roztworu}} \cdot 100\%$ ).

Stężenie [%]	Gęstość [ $kg/m^3$ ]	Stężenie [%]	Gęstość [ $kg/m^3$ ]		Stężenie [%]	Gęstość [ $kg/m^3$ ]	Stężenie [%]	Gęstość [ $kg/m^3$ ]
0	998.2	4	1013.8		8	1029.9	12	1046.5
1	1002.1	5	1017.8		9	1034.0	13	1050.7
2	1006.0	6	1021.8		10	1038.1	14	1054.9
3	1009.9	7	1025.9		11	1042.3	15	1059.2

Dla każdego stężenia  $c$  obliczyć średni kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła  $\alpha_{(średnie)}$  (różnica pomiędzy położeniem kątowym analizatora dla danego roztworu i dla wody destylowanej). Wykonać wykres zależności  $\alpha_{(średnie)}(c)$ . Metodą regresji liniowej dopasować prostą  $\alpha_{(średnie)} = Ac + B$  i z wartości  $A$  wyznaczyć współczynnik  $\alpha_0$  wraz z niepewnością pomiarową. Porównać otrzymaną wartość z danymi tablicowymi. Skręcalność właściwa wodnego roztworu cukru w temperaturze  $20^\circ\text{C}$  dla światła o długości fali  $589.3\text{ nm}$  (żółta linia widmowa sodu) wynosi:

$$\alpha_0 = 0.665880 \pm 0.000020 \text{ deg} \cdot \text{m}^2/\text{kg}$$

Należy pamiętać, że współczynniki dopasowania prostej oraz  $\alpha_0$  są wielkościami mianowanymi. Korzystając z otrzymanych wyników wyznaczyć stężenie roztworu  $c_x$ .

### Literatura:

- Cz. Bobrowki, Fizyka - krótki kurs, WNT, Warszawa, 1998.
- Z. Kamiński, Fizyka dla kandydatów na wyższe uczelnie techniczne, WNT, Warszawa 1984,
- S. Szczęniowski, Fizyka doświadczalna, cz. IV optyka, PWN, Warszawa 1967.

Opracowano na podstawie:

- Pomiar skręcenia płaszczyzny polaryzacji wywołanej przez roztwór sacharozy oraz wyznaczenie skręcalności właściwej, <http://kawe.wfis.uni.lodz.pl/kfd/pdf/O-17.pdf>
- Skręcenie płaszczyzny polaryzacji światła w cieczach (O7), <http://www.1pf.if.uj.edu.pl/spis-cwiczen>
- Śledzińska, A. Kubiaczyk, Zjawisko skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła, Politechnika Warszawska, [http://www.if.pw.edu.pl/~labfiz1p/cmsimple2\\_4/1instrukcje\\_pdf/28.pdf](http://www.if.pw.edu.pl/~labfiz1p/cmsimple2_4/1instrukcje_pdf/28.pdf)

Kraków 2015.12.14