

## 4.10 Skręcenie płaszczyzny polaryzacji światła w cieczach (O7)

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie współczynnika skręcenia właściwego płaszczyzny polaryzacji światła dla wodnego roztworu cukru.

Zagadnienia do przygotowania:

- światło jako fala elektromagnetyczna;
- zjawisko polaryzacji światła: polaryzacja liniowa, pryzmat Nicola, polaryzacja eliptyczna, polaryzacja kołowa;
- metody polaryzacji światła: podwójne załamanie w kryształach, dichroizm kryształów, odbicie światła;
- prawo Malusa;
- skręcenie płaszczyzny polaryzacji światła (ciała optycznie czynne);
- prawo Biota (zależność kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji od stężenia roztworu);
- budowa i zasada działania polarymetru Laurenta, płytka półcieniowa;
- zasada działania noniusza.

Literatura podstawowa: [2], [14].

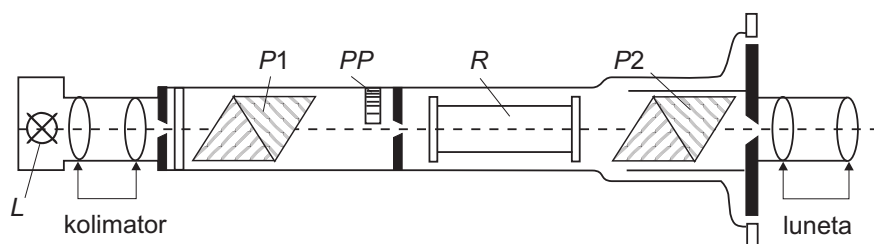
### 4.10.1 Podstawowe pojęcia i definicje

Zagadnienia związane z polaryzacją światła opisane są w rozdziale 4.9. Tutaj omówione są pozostałe zagadnienia, których znajomość jest konieczna do wykonania ćwiczenia.

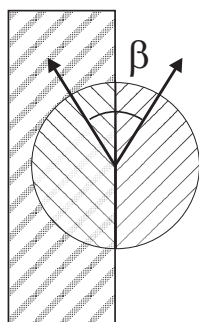
Współczynnik skręcenia właściwego płaszczyzny polaryzacji światła jest wielkością charakterystyczną dla ciał optycznie czynnych. Ciała te skręcają płaszczyznę polaryzacji światła spolaryzowanego liniowo na skutek asymetrii budowy cząsteczek. W wodnym roztworze cukru za to skręcenie odpowiedzialny jest asymetryczny atom węgla w cząsteczce cukru. Wiązka światła spolaryzowanego liniowo padając na ciało optycznie czynne ulega rozdzieleniu na dwie wiązki spolaryzowane kołowo prawo- i lewoskrętnie. Po wyjściu z kryształu wiązki dodają się, a powstała wiązka światła spolaryzowanego liniowo ma inny kierunek płaszczyzny polaryzacji niż pierwotnie. Kąt  $\alpha$  skręcenia płaszczyzny polaryzacji jest wprost proporcjonalny do długości  $l$  drogi przebytej przez światło w cieczy oraz stężenia roztworu  $c$  (prawo Biota):

$$\alpha = \alpha_0 c l. \quad (4.10.1)$$

Współczynnik proporcjonalności  $\alpha_0$  jest współczynnikiem skręcenia właściwego płaszczyzny polaryzacji światła i zależy od właściwości substancji optycznie czynnej. We wzorze (4.10.1) 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.



Rys. 4.10.1: Schemat polarymetru Laurenta.  $L$  – wbudowana lampa sodowa;  $P1$  – pryzmat Nicola, polaryzator;  $P2$  – pryzmat Nicola, analizator;  $R$  – rurka z badaną cieczą;  $PP$  – płytka półcieniowa.



Rys. 4.10.2: Płytki półcieniowa.

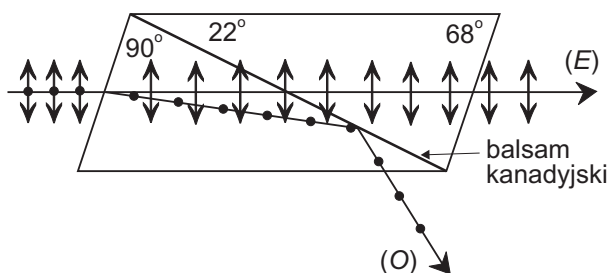
Do pomiaru kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji służy polarymetr Laurenta, którego schemat przedstawia rysunek 4.10.1. Monochromatyczne światło z lampy sodowej  $L$  pada na kolimator (patrz opis w rozdziale 4.11) formując równoległą wiązkę światła, która po przejściu przez polaryzator  $P1$  jest spolaryzowana liniowo. Płaszczyzna polaryzacji tej wiązki, po przejściu przez ciecz optycznie czynną w rurce, 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. Płytki wykonana jest z kwarcu skręcającego płaszczyznę polaryzacji, co powoduje, że za płytką płaszczyzny polaryzacji poszczególnych części wiązki światła tworzą ze sobą niewielki kąt  $\beta$  (rysunek 4.10.2).

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.

### Pryzmat Nicola (nikol)

Ten 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 4.10.3. Za pryzmatem Nicol'a światło jest spolaryzowane liniowo.



Rys. 4.10.3: Bieg promieni w pryzmacie Nicola.

## 4.10.2 Przebieg pomiarów

### Układ doświadczalny

Do wykonania ćwiczenia służy zestaw zawierający polarymetr Laurenta. Dostępne są też elektroniczna waga laboratoryjna, zlewki, woda destylowana, cukier.

### Przebieg doświadczenia

Zanotować dokładność odczytu położenia kąтового analizatora. Zanotować długość drogi światła w cieczy (długość rurki). Sporządzić kilka roztworów wodnych cukru (sacharozy  $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) o stężeniach  $c_i$  mniejszych niż 15%. 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 być bliska zeru. Odczyt ten powinien pokrywać się z wyznaczonym „zerem” polarymetru.

Dla sporządzonych uprzednio roztworów wodnych cukru wykonać pomiary położenia kąтового analizatora w pozycji jednakowego oświetlenia całego pola widzenia (każdy pomiar wykonać dziesięć razy). Na końcu wykonać pomiary dla wodnego roztworu cukru o nieznanym stężeniu  $c_x$ .

### 4.10.3 Opracowanie wyników

Przeliczyć stężenia przygotowanych roztworów ze stężeń procentowych na potrzebne stężenia  $c_i$  w jednostkach  $kg/m^3$ . Gęstości wodnych roztworów cukru znajdują się w tabeli 4.10.1.

Tabela 4.10.1: Gęstość wodnego roztworu cukru (sacharozy  $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) w temperaturze  $20^\circ C$  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  $c_i$  obliczyć średni kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła  $\alpha_{i(\text{średnie})}$  (różnica pomiędzy położeniem kątowym analizatora dla danego roztworu i dla wody destylowanej). Wykonać wykres zależności  $\alpha_{i(\text{średnie})}(c_i)$ . Metodą regresji liniowej dopasować prostą  $\alpha_{i(\text{średnie})} = Ac_i + B$  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  $20^\circ C$  dla światła o długości fali  $589 \text{ nm}$  (żółta linia widmowa sodu) wynosi:

$$\alpha_0 = 0.66588 \pm 0.00002 \text{ deg} \cdot m^2/kg$$

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