

## Ćwiczenie 74

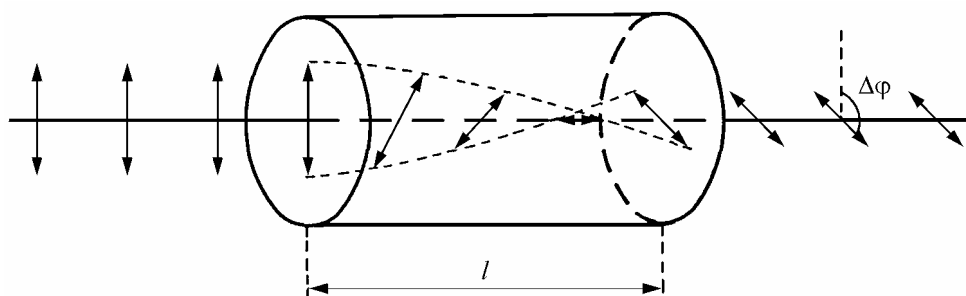
# Polarymetr

### Cel ćwiczenia

Pomiar kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji w roztworach cukru.

### Wprowadzenie

Światło liniowo spolaryzowane\* rozchodzi się bez zmiany płaszczyzny polaryzacji w próżni i w większości ośrodków przezroczystych. Istnieją jednak ośrodki, zwane optycznie aktywnymi, które wywołują skręcenie kierunku polaryzacji. Wektor  $\mathbf{E}$  fali elektromagnetycznej w tych ośrodkach nie leży w jednej płaszczyźnie, lecz zatacza linię śrubową (rys. 1).



Rys. 1. Skręcenie wektora polaryzacji w ośrodku optycznie czynnym

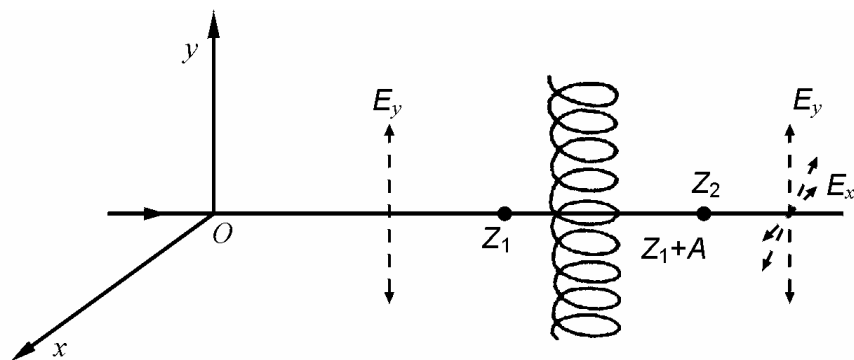
Linia śrubowa, którą zatacza wektor polaryzacji, nie jest symetryczna względem odbicia od płaszczyzny, gdyż odbiciem śruby prawoskrętnej jest śruby lewoskrętnej. (Przedmiotami z życia codziennego, posiadającymi ten typ asymetrii, są np. rękawiczka lub korkociąg.) Ponieważ wiadomo, że oddziaływania elektromagnetyczne rządzące procesem rozchodzenia się światła posiadają symetrię względem odbić od płaszczyzny (spełniają prawo zachowania parzystości) więc przyczyna skręcenia wektora polaryzacji musi tkwić w „asymetrycznej” budowie ośrodka czynnego optycznie.

Aby choć jakościowo wyjaśnić mechanizm skręcenia wektora polaryzacji rozważmy wymyśloną cząsteczkę w kształcie śruby (rys. 2). Gdy pada na nią światło spolaryzowane w kierunku osi  $y$ , to pole elektryczne  $E_y$  fali świetlnej porusza ładunkami w górę i w dół po linii śrubowej.

W ten sposób wytwarza się prąd w kierunku osi  $y$  powodując wypromieniowanie pola równoległego do wektora  $\mathbf{E}$  fali padającej. Ponieważ skutek więzów cząsteczkowych elektrony muszą pozostawać na linii śrubowej, więc muszą poruszać się w kierunku osi  $x$ .

---

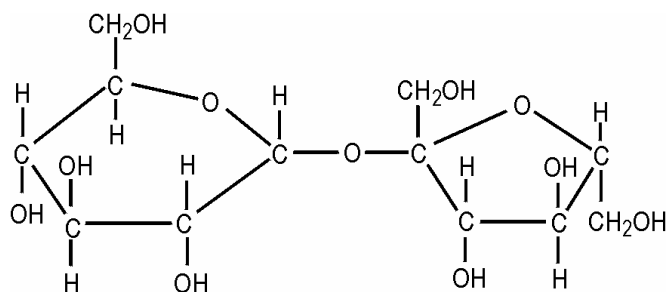
\* Uwaga: w wykonaniu ćwiczenia niezbędna jest znajomość zjawiska polaryzacji światła, opisanego w podręcznikach fizyki ogólnej.



**Rys. 2.** Mechanizm skręcenia płaszczyzny polaryzacji (na przykładzie hipotetycznej cząsteczki spiralnej)

Tak więc, mimo że wzbudzające pole elektryczne ma tylko składową  $y$ , powstaje jeszcze mała składowa  $x$  pola elektrycznego wytworzonego przez ruch elektronów w cząsteczce. Mała składowa  $x$ , dodana do dużej  $y$ , daje pole wypadkowe lekko obrócone względem osi  $y$ , stanowiącej początkowy kierunek polaryzacji. Kierunek ten obraca się wokół osi wiązki w miarę jak światło porusza się przez ośrodek.

Aktywność optyczna obserwowana jest zarówno w cieczech, jak i ciałach stałych. Aby roztwór cząsteczek skręcał płaszczyznę polaryzacji, musi zawierać cząsteczki nie posiadające symetrii względem odbicia od płaszczyzny, ponadto musi zawierać przewagę cząsteczek jednego rodzaju (prawo- lub lewoskrętnych). Przykładem ciekłej substancji aktywnie czynnej jest roztwór sacharozy, czyli zwykłego cukru. Wzór strukturalny cząsteczki sacharozy, przedstawiony na rysunku 3 wskazuje, że cząsteczka ta nie jest symetryczna względem odbicia od płaszczyzny.



**Rys. 3.** Cząsteczka sacharozy

Ponadto okazuje się, że sacharoza produkowana przez ziemskie organizmy (w tym burak cukrowy) jest w całości złożona z cząsteczek jednego rodzaju, jest więc optycznie czynna. Sacharoza wyprodukowana chemicznie jest natomiast mieszaniną równej ilości cząsteczek „prawych” i „lewych”, nie skręca więc płaszczyzny polaryzacji.

Dla niezbyt dużych stężeń przyjąć można, że kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji będzie proporcjonalny do liczby cząsteczek, jakie napotyka światło na swojej drodze. Oznacza to, że kąt skręcenia  $\Delta\varphi$  płaszczyzny polaryzacji będzie proporcjonalny do długości  $l$  i stężenia roztworu  $c$

$$\Delta\varphi = a_1 c l. \quad (1)$$

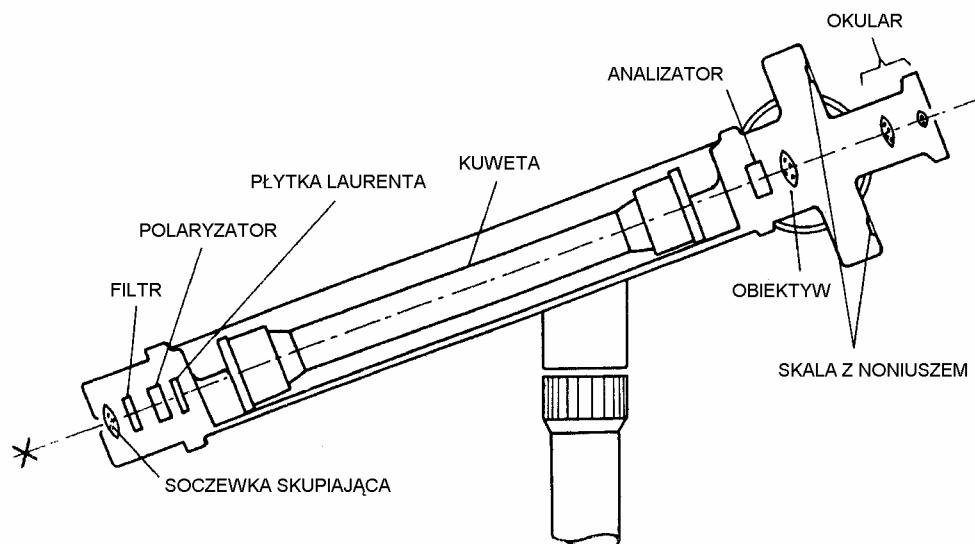
Współczynnik proporcjonalności  $a_1$  nazywamy skręceniem właściwym roztworu. Wyznaczenie stężenia cukru w roztworach za pomocą pomiaru skręcenia płaszczyzny polaryzacji znalazło zastosowanie w przemyśle spożywczym.

Pośród substancji stałych aktywność optyczną wykazują niektóre kryształy, których struktura nie posiada środka symetrii. Przykładem kryształu aktywnego optycznie jest kwarc ( $\text{SiO}_2$ ). W tym przypadku odpowiednią stałą materiałową jest współczynnik proporcjonalności  $a_2$  między kątem skręcenia  $\Delta\varphi$  i długością kryształu  $l$

$$\Delta\varphi = a_2 l. \quad (2)$$

#### Pomiar kąta skręcenia

Rysunek 4 przedstawia szczegółowo budowę polarymetru (instrumenty te produkowane są seryjnie przez firmy optyczne). W celu pomiaru kąta skręcenia wektora polaryzacji badaną substancję – kuetę z roztworem lub próbkę stałą – umieszczamy w wiązce światła pomiędzy dwoma polaroidami (lub filtrami polaryzacyjnymi). Jeden z tych elementów wytwarza światło spolaryzowane, drugi służy do pomiaru kąta skręcenia.



**Rys. 4.** Budowa polarymetru

Polaroidy są zasadniczymi elementami przyrządu. Natężenie przechodzącego światła jest, zgodnie z prawem Malusa, proporcjonalne do kąta ich skręcenia

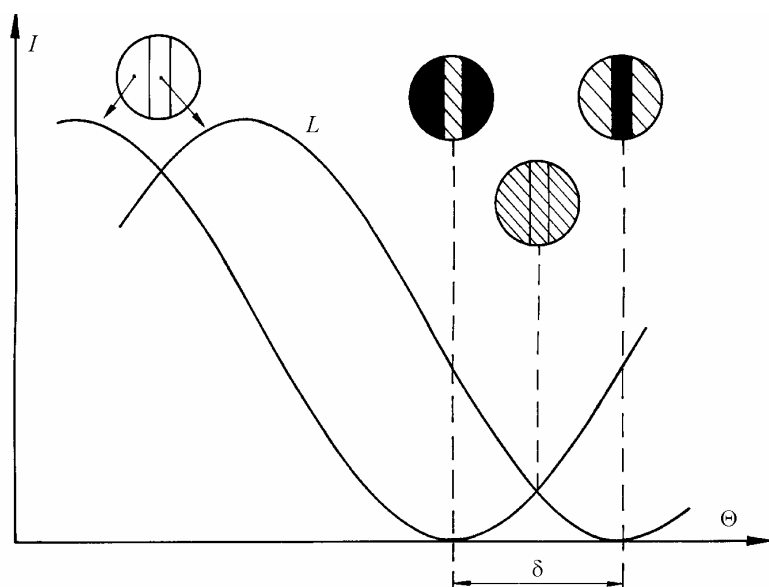
$$I \propto \cos^2 \varphi. \quad (3)$$

Jeżeli ich kierunki polaryzacji są „skrzyżowane”, tj.  $\varphi = 90^\circ$ , wtedy natężenie światła jest równe zero – pole widzenia jest całkowicie ciemne. Wstawienie substancji optycznie czynnej skręca płaszczyznę polaryzacji – pole widzenia ulega rozjaśnieniu. W celu ponownego zaciemnienia pola widzenia należy analizator obrócić o dodatkowy kąt, różnica obydwu kątów  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ , odczytana na skali przyrządu, jest kątem skręcenia.

W celu ominięcia trudności dokładnego ustawienia analizatora w pozycji największego zaciemnienia pola, w układzie optycznym znajduje się urządzenie różnicowe zwane płytką Laurenta (rys. 5). Jest to płytka kwarcowa, która jest widoczna jako środkowy pasek w polu

widzenia przyrządu. Po przejściu światła przez płytkę, jego kierunek polaryzacji jest skręcony o dodatkowy kąt  $\delta$ . Powoduje to, że o ile w polu widzenia nie przesłoniętym płytką zerowe natężenie światła obserwuje się przy pewnym kącie  $\varphi$ , to kąt całkowitego zaciemnienia dla pola płytki przesunięty jest do wartości  $\varphi + \delta$ . Ale położenie katowe analizatora ustalić też można jako kąt (równy  $\varphi + \delta/2$ ), przy którym obydwie części pola widzenia jawią się jako jednakowo zaciemnione (ale nie całkiem ciemne). Odpowiadający kąt określić można znacznie dokładniej niż kąt całkowitego zaciemnienia.

Obiektyw i okular przyrządu tworzą rodzaj lunety, którą ustawia się tak by płytka Laurenta była ostro widoczna. Filtr żółty zapewnić ma częściową monochromatyzację światła, którego źródłem może być zwykła żarówka.



**Rys. 5.** Zasada pomiaru kąta skręcenia w polarymetrze z płytką Laurenta

### Literatura

Szczeniowski S.: *Fizyka doświadczalna. T. III.* Warszawa, PWN 1980

### Aparatura

Polarymetr z kuwetą do badania roztworów. Roztwory cukru przygotowujemy używając menzurki (szklany cylinder z podziałką w  $\text{cm}^3$ ) oraz wagi.

### Wykonanie ćwiczenia

1. Wyznaczyć położenie zerowe polarymetru.

a) Napełnić czystą wodą kuwetę (naczynie polarymetru).

Warunkiem uzyskania ostrego obrazu jest, by szklane okienka kuwety były suche i czyste, a w kuwecie nie było bąbelka powietrza.

b) Wyregulować ostrość widzenia krawędzi płytki Laurenta przez obrót okularu.

c) Zmierzyć 10-krotnie kąt, przy którym obie połowki pola widzenia są jednakowo zaciemnione.

- d) Zmierzyć dodatkowo wartości kąta, przy których pole środkowe oraz pole zewnętrzne są całkowicie ciemne.
2. Przygotować roztwór w kolbie miarowej: odważyć 10 g cukru, rozpuścić w wodzie, tak aby otrzymać  $100\text{ cm}^3$  roztworu.
3. Zmierzyć kilkakrotnie kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji przygotowanego roztworu.
4. Wykonać pomiary kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla roztworów o mniejszych stężeniach. Potrzebne roztwory uzyskuje się przez sukcesywne rozcieńczanie w menzurce roztworu pierwotnego.
5. Po wykonaniu pomiarów wypłukać kolbę, menzurkę i kuwetę.

#### *Opracowanie wyników*

1. Obliczyć wartość i niepewność złożoną skręcenia właściwego roztworu cukru  $a_1$  na podstawie rezultatów pomiaru kąta dla wody czystej i roztworu o stężeniu początkowym.
2. Wykonać wykres zależności kąta skręcenia od stężenia roztworu. (Uwzględnić punkt odpowiadający stężeniu zerowemu.) Dla każdego punktu nanieść odcinki niepewności pomiaru kąta i stężenia.
3. Na podstawie wykresu określić, czy rzeczywiście kąt skręcenia jest proporcjonalny do stężenia roztworu.