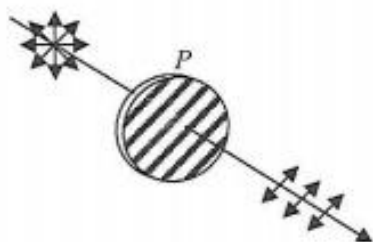


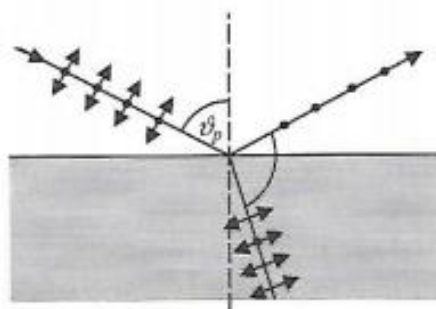
## 45. Badanie skręcenia płaszczyzny polaryzacji przez roztwory za pomocą polarymetru

### Wprowadzenie

Światło pochodzące z naturalnych źródeł jest *niespolaryzowane*, tzn. drgania wektora świetlnego odbywają się prostopadle do kierunku rozchodzenia się promieni, lecz we wszystkich możliwych płaszczyznach, na których ten kierunek leży (rys. 45.1 – przed polaryzatorem). Gdy na drodze wiązki niespolaryzowanego światła ustawimy *polaryzator*, przepuści on tylko te promienie, w których drgania odbywają się w jednej płaszczyźnie. Światło po przejściu przez polaryzator jest *spolaryzowane liniowo* – końce wektorów świetlnych leżą na linii prostej. Linie równoległe na polaryzatorze, które w rzeczywistości nie są widoczne, przedstawiają charakterystyczne kierunki polaryzacji płytki.



Rys. 45.1. Wytwarzanie światła spolaryzowanego liniowo;  $P$  – polaryzator



Rys. 45.2. Polaryzacja przy odbiciu;  $\vartheta_p$  – kąt Brewstera

### ***Polaryzacja przez odbicie***

Na skutek odbicia światła od granicy dwóch ośrodków (rys. 45.2) zarówno promień odbity, jak i załamany zostają częściowo spolaryzowane. Stopień polaryzacji zależy od kąta padania – jeżeli dobierzemy go tak, aby kąt między promieniami odbitym i załamanym był prosty (rys. 45.2), to promień odbity jest całkowicie spolaryzowany w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny padania, natomiast promień załamany jest spolaryzowany częściowo, z przewagą drgań w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny padania. Kąt  $\vartheta_p$  nazywamy *kątem całkowitej polaryzacji* lub *kątem Brewstera*. Stopień polaryzacji wiązki załamanej możemy zwiększyć, przepuszczając ją przez zespół płytek równoległych.

### ***Polaryzacja w kryształach anizotropowych***

Jeżeli właściwości kryształu zależą od kierunku, to kryształ jest *anizotropowy*, w przeciwnym razie jest *izotropowy*. W zjawisku *podwójnego załamania* przez kryształy anizotropowe padająca wiązka ulega rozdzieleniu na dwie: zwyczajną (*o*) i nadzwyczajną (*e*), o prostopadłych płaszczyznach drgań. Wiązka nadzwyczajna nie spełnia prawa załamania światła (prawa Snella). Bezpośrednią przyczyną różnego zachowania się promieni *o* oraz *e* jest ich na ogół różna prędkość. Prędkość promienia zwyczajnego  $v_o$  jest stała we wszystkich kierunkach kryształu, natomiast prędkość promienia nadzwyczajnego zmienia się, zależnie od kierunku, od wartości  $v_o$  do wartości  $v_e$ , przy czym  $v_e$  dla pewnych kryształów jest mniejsza niż  $v_o$ , dla innych – większa. Kierunek w kryształ anizotropowym, dla którego  $v_e = v_o$ , nazywamy *osią optyczną* kryształu. Promień biegnący w kryształ równoległe do osi optycznej nie ulega podwójnemu załamaniu. Jeżeli usuniemy jedną z wiązek, na wyjściu kryształu anizotropowego otrzymamy światło spolaryzowane liniowo. Pospolitym przyrządem wykorzystującym opisane zjawisko jest pryzmat Nicola.

### ***Polaryzacja i dichroizm***

Niektóre podwójnie załamujące kryształy mają właściwość zwaną *dichroizmem*, polegającą na tym, że jedna ze składowych polaryzacji jest pochłaniana w kryształ znacznie silniej niż druga, która przechodzi z niewielkim osłabieniem. Właściwość ta jest podstawą, na której jest oparte działanie szeroko stosowanych *polaroidów*. Zamiast jednorodnych kryształów można używać dużej liczby małych kryształków umieszczonych w płytce plastycznej tak, że ich osie optyczne są równoległe.

Gdy na osi biegnącej wiązki światła ustawimy dwie płytki polaryzujące, jedna z nich będzie pełnić funkcję *polaryzatora*, a druga – *analizatora*. Obracając analizator, stwierdzamy, że w pewnych położeniach układ nie przepuszcza prawie wcale światła, a w położeniach różniących się od tamtych o  $90^\circ$  natężenie światła jest maksymalne. Wiąże się to oczywiście z kątem, jaki tworzą ze sobą kierunki

polaryzacji w obu polaroidach. Natężenie światła wychodzącego z analizatora w funkcji wspomnianego kąta jest opisane *prawem Malusa*:

$$I = I_m \cos^2 \vartheta, \quad (45.1)$$

gdzie  $I_m$  odpowiada kątowi  $\vartheta = 0$ .

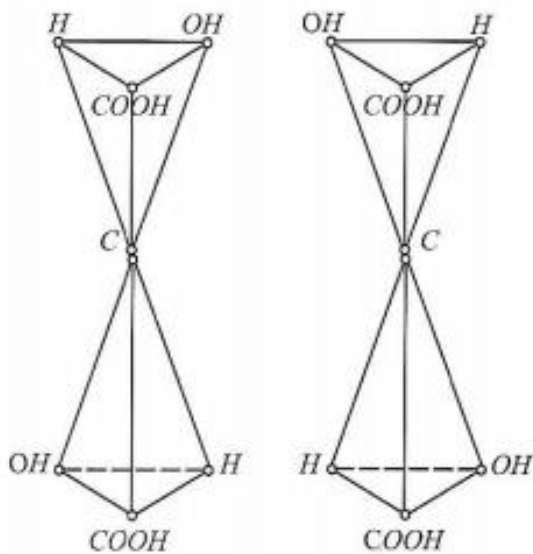
Sprowadzenie drgań świetlnych do jednej płaszczyzny, czyli polaryzacja liniowa, nie jest jedynym sposobem uporządkowania drgań świetlnych. Może istnieć również światło, w którym koniec wektora świetlnego zakreśla linię śrubową wokół kierunku rozchodzenia się. Mówimy wtedy o *polaryzacji kołowej* lub *eliptycznej*.

Światło spolaryzowane kołowo powstaje w wyniku nałożenia się dwóch fal spójnych spolaryzowanych liniowo w kierunkach wzajemnie prostopadłych (mogą nimi być promień zwyczajny i nadzwyczajny) o różnicy faz  $90^\circ$  i równych amplitudach. Wypadkowe drganie będzie kołowe, zgodnie z zasadami dodawania drgań prostopadłych (patrz: figury Lissajous). Gdy amplitudy drgań składowych są różne, polaryzacja jest eliptyczna.

Jeżeli światło spolaryzowane liniowo przechodzi przez niektóre substancje, zwane *optycznie czynnymi*, to następuje *skręcenie płaszczyzny polaryzacji*.

Substancje optycznie czynne występują w dwóch postaciach, wykazujących taką samą zdolność skręcającą, lecz skręcających w przeciwnych kierunkach. Stąd substancje optycznie czynne dzielimy na prawo- i lewoskrętne. Drobinę substancji prawo- i lewoskrętnych różni się budową, podobnie jak obraz i przedmiot w zwierciadle płaskim, są to tzw. *odmiany enancjomorficzne*. W substancjach optycznie czynnych występuje tzw. *węgiel asymetryczny*, w którym każda z wartościowości jest wysycona przez inny atom lub grupę atomów.

Przykładem takiej substancji może być kwas winny, którego dwie postacie enancjomorficzne przedstawiono na rys. 45.3. Silne właściwości skręcenia płaszczyzny polaryzacji wykazują także roztwory cukru.



Rys. 45.3. Budowa cząsteczki kwasu winnego lewoskrętnego (po lewej) i prawoskrętnego (po prawej)

### Pomiary i obliczenia

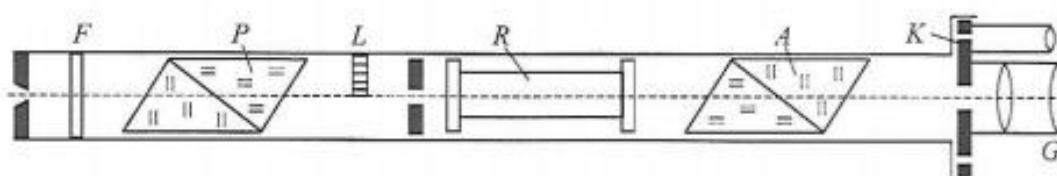
Kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji przez roztwór o stężeniu  $c$  określa *wzór Biota*:

$$\alpha = [\alpha]lc, \quad (45.2)$$

gdzie:  $[\alpha]$  – właściwa zdolność skręcająca,  $l$  – długość drogi światła w roztworze.

W celu pomiaru kąta skręcenia najpierw na drodze promienia świetlnego umieszczamy czysty rozpuszczalnik i odczytujemy położenie analizatora  $\alpha_0$ , a następnie zastępujemy rozpuszczalnik badanym roztworem i znowu odczytujemy położenie analizatora –  $\alpha_c$ . Szukany kąt skręcenia wynosi  $\alpha_c - \alpha_0$ .

Urządzeniami, które służą do badania skręcenia płaszczyzny polaryzacji, są *polarymetry*. Polarymetry przeznaczone do pomiaru stężenia cukru nazywamy *sacharymetrami*. Głównymi elementami polarymetru (rys. 45.4) są: polaryzator  $P$  i analizator  $A$  (pryzmaty Nicola) oraz znajdująca się między nimi rurka  $R$  zawierająca roztwór substancji optycznie czynnej.



Rys. 45.4. Budowa polarymetru Laurenta;  $F$  – filtr światła,  $P$  – polaryzator,  $L$  – przyrząd półcieniowy,  $R$  – badana ciecz w rurce,  $A$  – analizator,  $K$  – kątomierz,  $G$  – lunetka

Światło wchodzi do przyrządu przez filtr, wydzielający wąski zakres długości fal. Analizator jest połączony z kątomierzem. Lunetka służy do obserwacji światła przechodzącego przez układ, a lupa do dokładnego odczytywania kątów obrotu analizatora.

Istota pomiaru sprowadza się do jak najdokładniejszego określenia położenia analizatora, przy którym oświetlenie pola widzenia jest stałe. Gdy obserwację prowadzimy gołym okiem, ustawiamy każdorazowo analizator na maksymalne wygaszenie światła – oko jest w tych warunkach najbardziej czułe na zmiany jasności. W fabrycznych polarymetrach w precyzyjnym ustawieniu położenia analizatora pomaga *przyrząd półcieniowy*. Jest to płytka nieco skręcająca płaszczyznę polaryzacji, ale tylko dla części wiązki. Jest to powodem, że pole widzenia lunetki jest podzielone na pola, na ogół różnie oświetlone. W zależności od konstrukcji pola mogą mieć kształt dwóch półkoli bądź szerokiego paska środkowego i dwóch pól bocznych. Przez obrót analizatora możemy doprowadzić do położenia, w którym oświetlenie całego pola jest niewielkie, ale równe. Minimalny obrót analizatora powoduje rozjaśnienie jednego z pól. Oko ludzkie z dużą dokładnością (około  $0,1^\circ$ ) potrafi w tej sytuacji rozróżnić, czy pola są jednakowo oświetlone, czy ich oświetlenia się różnią. Jest to najczulsze położenie analizatora. W innych położeniach możemy uzyskać pola o dużym kontraście lub całe pole jasne.

W celu znalezienia właściwej zdolności skręcającej mierzymy kąty skręcenia dla różnych stężeń i wykorzystujemy fakt, że zależność między tymi wielkościami,

dana równaniem (45.2), jest liniowa. Współczynnik nachylenia  $a$  obliczamy za pomocą regresji liniowej. Ten sam współczynnik występuje przy  $c$  we wspomnianym równaniu jako  $[\alpha] \cdot l$ . Z porównania obu wartości otrzymujemy szukaną wartość właściwej zdolności skręcającej

$$[\alpha] = \frac{a}{l}. \quad (45.3)$$

### Przebieg ćwiczenia

1. Zmierzyć długość rurki.
2. Włączyć oświetlenie polarymetru.
3. Nastawić lunetkę na ostrość widzenia linii rozgraniczającej pola oraz lupę odczytową na ostrość widzenia skali.
4. Wstawić rurkę z czystą wodą do polarymetru.
5. Obracając analizator, doprowadzić do równego (ciemnego) pola widzenia i odczytać wskazanie kątomierza. W razie potrzeby powtarzać pomiar, każdorazowo obracając analizator o przypadkowy kąt i na nowo ustalając właściwe położenie.
6. Umieszczać w polarymetrze kolejno rurki z roztworami o różnych stężeniach i odczytywać kąty podobnie jak w punkcie 5.
7. Na papierze milimetrowym wykreślić zależność  $\alpha = f(c)$ .
8. Obliczyć współczynnik nachylenia oraz jego błąd metodą regresji liniowej.
9. Obliczyć właściwą zdolność skręcającą dla badanej cieczy, wykorzystując równanie (45.3).
10. Obliczyć błąd  $[\alpha]$  metodą różniczki zupełnej lub logarytmicznej.
11. Zaokrąglić wyniki obliczeń i przedstawić wynik w postaci ostatecznej.

### Zestaw ćwiczeniowy

Polarymetr, lampa, rurki z wodą i roztworami

### Pojęcia kluczowe

- Polaryzacja liniowa, polaryzacja przez odbicie i załamanie, podwójne załamanie
- Kryształy anizotropowe i izotropowe, oś optyczna
- Pryzmat Nicola, dichroizm
- Polaryzator i analizator, prawo Malusa
- Polaryzacja kołowa i eliptyczna
- Skręcenie płaszczyzny polaryzacji, węgiel asymetryczny
- Polarymetr, przyrząd półcieniowy
- Wzór Biota
- Pomiary do wykonania, obliczenie właściwej zdolności skręcającej
- Noniusz (rozd. 5)