

Badanie skręcalności optycznej roztworów i wyznaczenie ich stężeń za pomocą polarymetru

Wprowadzenie teoretyczne

Światło liniowo spolaryzowane rozchodzi się bez zmiany płaszczyzny polaryzacji w próżni i w większości ośrodków przezroczystych. Istnieją jednak substancje zwane optycznie czynnymi, które wywołują skręcenie płaszczyzny polaryzacji. Substancje te skręcają płaszczyznę polaryzacji światła spolaryzowanego liniowo na skutek asymetrii budowy cząsteczek (cząsteczki nie posiadające symetrii względem odbicia od płaszczyzny ponadto zawierające przewagę cząsteczek jednego rodzaju – prawo lub lewoskrętnych). Przykładem ciekłej substancji aktywnie czynnej jest roztwór sacharozy, czyli zwykłego cukru. W wodnym roztworze cukru za to skręcenie odpowiedzialny jest asymetryczny atom węgla w cząsteczce cukru, ponadto 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.) Kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji będzie proporcjonalny do liczby cząsteczek, jakie napotka światło na swojej drodze. Oznacza to, że kąt skręcenia φ płaszczyzny polaryzacji będzie proporcjonalny do długości l drogi przebytej przez światło (o danej długości fali) i stężenia roztworu γ

$$\varphi = \alpha \gamma l$$

gdzie

α – skręcalność właściwa (stosowana też jest nazwa: zdolność skręcająca właściwa roztworu)

γ – stężenie masowe roztworu

l – długość drogi promienia światła w rurce z roztworem (długość rurki pomiarowej).

Uwagi:

1. W przypadku gdy cząsteczki substancji optycznie czynnej nie ulegają zmianie w rozpuszczalniku, wzór przedstawiony powyżej (tzw. prawo Biota) daje wyniki zgodne z doświadczeniem (np. dla sacharozy).
2. Skręcalność właściwa roztworu zależy od temperatury, długości fali światła.
3. Stężenie masowe (stężenie masowo-objętościowe) γ – stosunek masy m danej substancji do objętości V roztworu: $\gamma = m/V$. Ponieważ ze zmianą temperatury roztworu objętość jego zmienia się, możemy wyrazić zawartość substancji optycznie czynnej w roztworze przez ułamek wagowy w jako stosunek masy m substancji optycznie czynnej do masy M roztworu: $w = m/M$ (wielkość ta nie zależy od temperatury). Jeżeli w danej temperaturze gęstość roztworu jest ρ , to stężenie masowe substancji optycznie czynnej jest równe

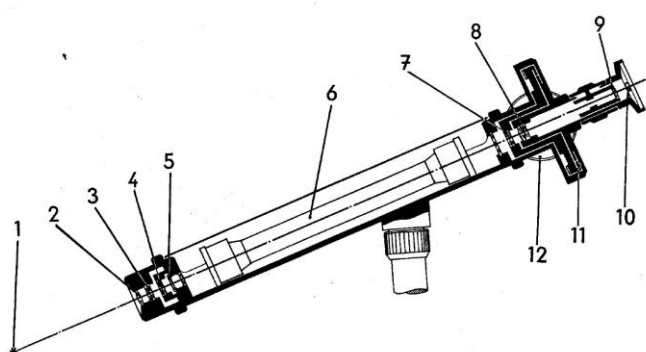
$$\gamma = w\rho$$

Korzystając z powyższych wzorów skręcalność właściwą roztworu możemy obliczyć ze wzoru:

$$\alpha = \frac{\varphi}{w\rho l}$$

Wartości skręcalności właściwej α roztworu cukru wyznaczone będą przy użyciu polarymetru półcieniowego za pomocą którego mierzymy kąty i skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła. Polarymetry stosowane do roztworów cukru noszą nazwę sacharymetrów.

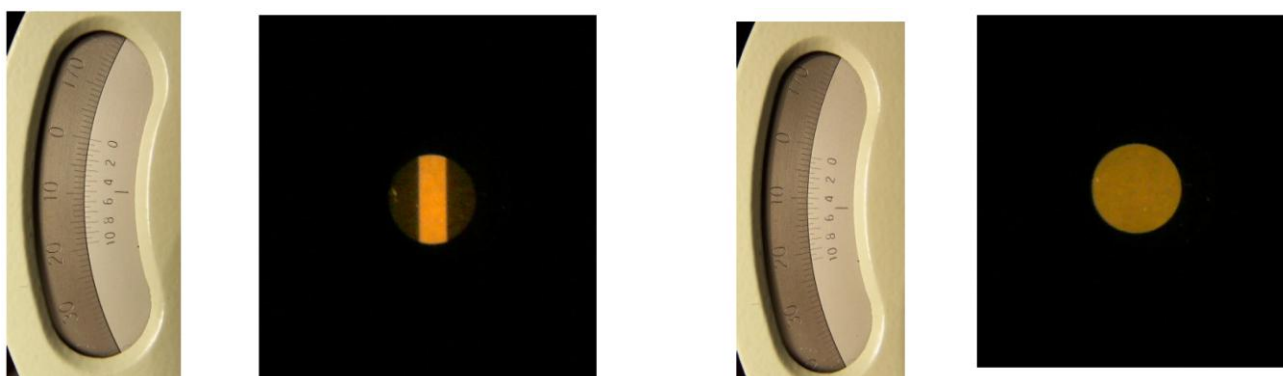
Opis doświadczenia



1. Źródło światła.
2. Kolimator.
3. Filtr.
4. Polaryzator Filtr.
5. Półfalówka.
6. Rurka polarymetryczna.
7. Analizator.
8. Obiektyw.
9. Okular.
10. Lupka. Filtr.
11. Tarcza z podziałką stopniową i noniusem.
12. Pokrętła do obrotu analizatora i tarczy z podziałką.

Rysunek 1. Schemat polarymetru

Światło skierowane przez kolimator 2 (Rys. 1.) zostaje spolaryzowane liniowo przez polaryzator 4. Płytką 5 dzieli pole widzenia na trzy części (Rys.2). Filtr 3 umożliwia pracę przy długości fali zbliżonej do żółtej linii sodu. Optycznie czynna substancja znajdująca się w rurce polarymetrycznej 6 (Rys. 1) skręca płaszczyznę polaryzacji o pewien kąt w zależności od stężenia i rodzaju substancji. Przez analizator 7 światło przedostaje się do układu 8,9. Analizator jest sztywno związany z kręgiem 11 i pokrętką 12. Noniusz jest nieruchomo umocowany w obudowie przyrządu. Polarymetr wyregulowany jest w ten sposób, że bez cieczy optycznie czynnej, trzy części pola widzenia są jednakowo jasne, gdy zerowa kreska podziałki kątowej na tarczy 11 pokrywa się z zerową kreską podziałki noniusza (Rys. 2 a). Po wstawieniu do przyrządu rurki polarymetrycznej wypełnionej substancją optycznie czynną zauważymy w polu widzenia przyrządu zaciemnienie środkowej części pola widzenia, a rozjaśnienie zewnętrznych lub odwrotnie (Rys.2 b). Różnica jasności jest wynikiem skręcenia płaszczyzny polaryzacji, przez ciecz wypełniającą rurkę polaryzacyjną. Obracając pokrętką 12 uzyskujemy ponownie jednakową jasność 3-ech części pola widzenia przyrządu. Wartość kąta skręcenia odczytujemy przez lupę 10 z dokładnością do 0.05°. Odczytu dokonujemy po ustawieniu jednakowej jasności 3-ech części pola widzenia (Rys.2 c, d).



Rysunek 2. Pole widzenia przyrządu

Zestaw pomiarowy

sacharymetr, cukier, woda destylowana

Przebieg ćwiczenia

1. Do sacharymetru wkładamy rurkę szklaną napełnioną wodą destylowaną. Wodę wlewamy w ten sposób, aby uniknąć pęcherzyków powietrza. W rurce nie powinno znajdować się powietrze.
2. Kierujemy sacharymetr na lampę oświetleniową. Otrzymujemy obraz w świetle monochromatycznym. Obracając analizatorem sprowadzamy obie połówki pola widzenia do jednakowego oświetlenia – odpowiada to równoległemu położeniu płaszczyzn polaryzacji polaryzatora i analizatora. Dla wody odpowiada temu położeniu kąt α_0 . Za podstawę pomiaru przyjmujemy jednakowe oświetlenie, minimalnej intensywności (otrzymujemy wtedy minimum błędu pomiarowego, w polu widzenia obserwuje się wówczas szare pole). Wartość kąta α_0 odczytujemy na podziałce stopniowej z dokładnością do 0,1 stopnia.

Wszystkie pomiary kąta skręcania należy dokonywać trzykrotnie, przez każdorazowe rozregulowanie układu i następnie powrót do jednakowo oświetlonych obu połówek pola widzenia. Do obliczeń stosujemy średnią arytmetyczną z trzech pomiarów.

3. Przygotować roztwór o stężeniu 20% i napełnić nim rurkę sacharymetru.
4. Rurkę z roztworem umieszczamy w polarymetrze i obracając analizator sprowadzamy położenie nikoli do jednakowego oświetlenia połówek pola widzenia. (tak jak w punkcie 2).
5. Odczytujemy kąt α_0 o jaki skręciła się płaszczyzna polaryzacji po przejściu przez roztwór o znanym stężeniu c_0 .
6. Z roztworu wzorcowego (20%) sporządzamy cztery roztwory o stężeniach: $c_1 = 15\%$, $c_2 = 10\%$, $c_3 = 7,5\%$, $c_4 = 5\%$.
7. Analogicznie jak w punkcie 5 dla każdego z tych roztworów znajdujemy kąty skręcania. Oznaczamy je odpowiednio przez: α_1 , α_2 , α_3 i α_4 .
8. Na podstawie wyników pomiarów z punktów 5 i 7 sporządzamy wykres zależności kąta skręcania płaszczyzny polaryzacji ($\alpha_i - \alpha_0$) gdzie $i = 0, 1, 2, 3, 4$ w funkcji stężenia roztworu cukru.
9. Pomiar kątów skręcania płaszczyzny polaryzacji α_x oraz α_y , roztworów cukru o nieznanym stężeniu c_x i c_y . Roztwory o nieznanym stężeniu najlepiej przygotować zlewając nasze roztwory (o znanych stężeniach) w dowolnych proporcjach.

Opracowanie wyników

1. Na podstawie wyników pomiarów z punktów 5 i 7 sporządzamy wykres zależności kąta skręcania płaszczyzny polaryzacji ($\alpha_i - \alpha_0$) gdzie $i = 0, 1, 2, 3, 4$ w funkcji stężenia roztworu cukru.
2. Z powyższej krzywej standardowej wyznaczamy stężenia nieznanymi roztworów: c_x oraz c_y .

Literatura

1. I. Adamczewski, Fizyka medyczna i elementy biofizyki, PWN, Warszawa 2009
2. T. Dryński, Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, Warszawa 2005
3. B. Kędzia, Materiały do ćwiczeń z biofizyki i fizyki, PWN, Warszawa 2015