

Nauka i technologia dla żywności

Projekt badawczy

Temat: Czy wiemy, co może robić światło?

Wprowadzenie:

Istnieje pewna własność światła, jako fali elektromagnetycznej, która nie jest dostępna naszemu zmysłowi wzroku. Tą własnością jest polaryzacja. Nasze oko nie odróżnia światła spolaryzowanego i niespolaryzowanego. Nie przeszkadza to jednak w wykorzystaniu tego zjawiska w pewnych prostych i bardziej skomplikowanych urządzeniach: od okularów przeciwoślepieniowych i specjalnych filtrów fotograficznych do ciekłokrystalicznych ekranów monitorów czy smartfonów. Jednocześnie można światło spolaryzowane stosować w badaniach naukowych i pomiarach w laboratoriach geologicznych, chemicznych lub produktów spożywczych.

W projekcie skupiono się na jednym z typów polaryzacji, a mianowicie polaryzacji liniowej. Niektóre substancje chemiczne, tak zwane – aktywne optycznie, mają własność skręcania płaszczyzny polaryzacji przechodzącego przez nie światła spolaryzowanego liniowo. Taką substancją jest na przykład sacharoza. Kąt tego skręcenia można mierzyć, a że jest on proporcjonalny do stężenia roztworu sacharozy, to można tą drogą dokonywać bardzo precyzyjnego pomiaru tego stężenia. Przyrządem służącym temu celowi jest polarymetr.

Cel projektu:

Celem projektu jest zrozumienie przez uczniów istoty zjawiska polaryzacji liniowej światła, sposobów jej uzyskiwania i zastosowań, a także wykonanie pomiaru stężenia sacharozy w roztworze po uprzedniej kalibracji przyrządu, czyli stwierdzeniu liniowej zależności kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji od stężenia. Przedstawienie tej zależności oraz analiza niepewności przy pomocy programu Excel.

Cele kształcenia:

Uczeń:

- wyjaśnia podstawy zjawiska polaryzacji światła,
- wymienia sposoby polaryzacji i zastosowania tego zjawiska,
- analizuje efekty związane z przejściem światła przez jeden, dwa i trzy polaryzatory,
- wyjaśnia budowę najprostszego polarymetru,
- wykonuje roztwory sacharozy o odpowiednich stężeniach,
- wykonuje pomiar kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji przy pomocy polarymetru,
- stosuje wspomaganie programowe (arkusz Excela lub program Origin/Graph) do wyznaczenia zależności kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji od stężenia,
- odczytuje stężenie nieznanego roztworu.

PROJEKT REALIZOWANY W PARTNERSTWIE:

Człowiek – najlepsza inwestycja



Pytanie kluczowe:

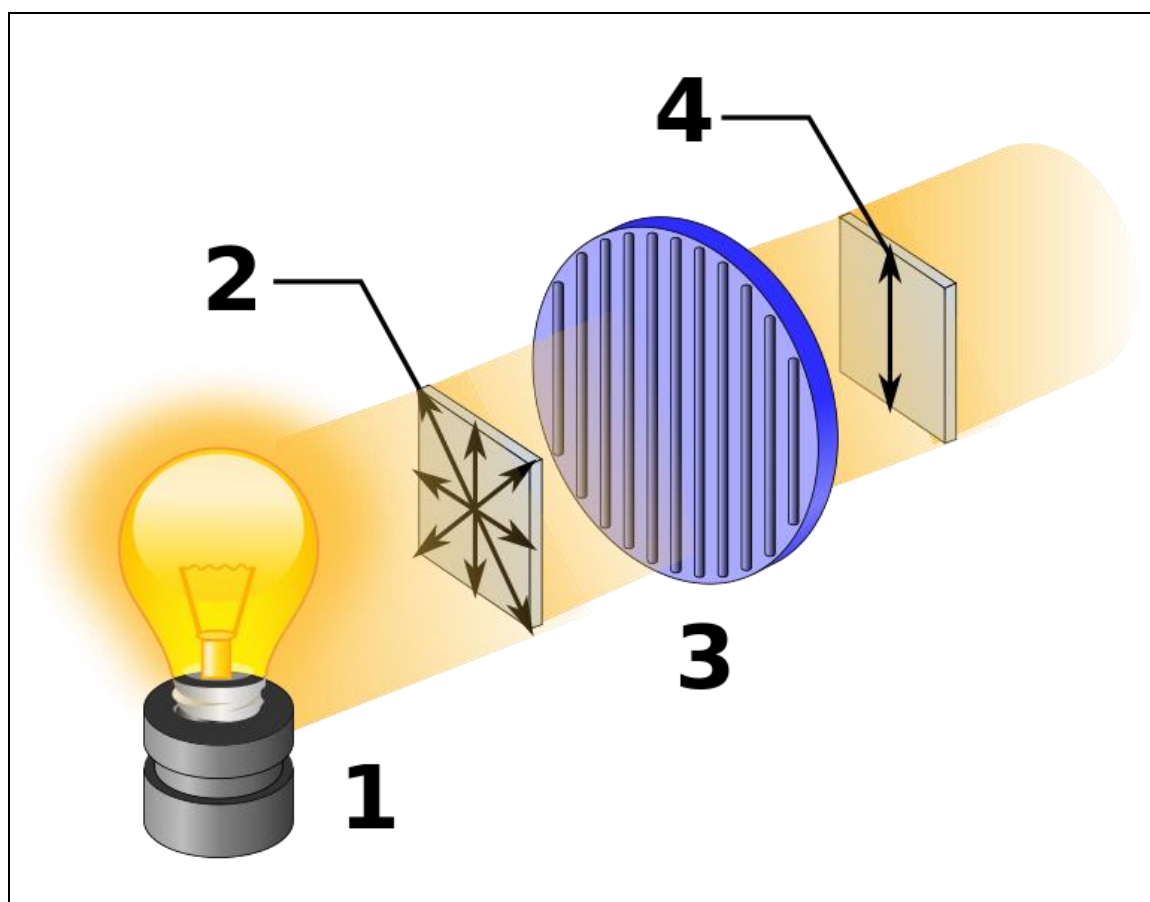
Jak poprzez pomiar skręcenia kąta polaryzacji liniowej światła po przejściu przez warstwę roztworu sacharozy można wyznaczyć stężenie tego roztworu?

Polaryzacja liniowa światła

Światło widzialne ma naturę fali elektromagnetycznej o długości w przedziale 380 – 780 nm. ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Fala elektromagnetyczna jest superpozycją (nałożeniem) zmiennych, wzajemnie indukujących się pól: elektrycznego i magnetycznego. Pola te charakteryzowane są przez dwie wektorowe wielkości: natężenie pola elektrycznego i natężenie pola magnetycznego. O własnościach optycznych światła, a także nas będą interesować, decyduje składowa elektryczna (zmienne pole elektryczne) fali świetlnej. Dlatego w przypadku analizowania zjawisk optycznych można pominąć składową magnetyczną. Wektor natężenia pola elektrycznego tworzącego składową fali świetlnej nazywany jest czasami **wektorem świetlnym**. Oznaczmy go przez ***E***.

Zmiany (drgania) pola elektrycznego, czyli zmiany jego „siły”, to zmiany wartości tego wektora, inaczej mówiąc, zmiany jego długości. Jego kierunek jest prostopadły do kierunku rozchodzenia się fali, a więc światło jest falą poprzeczną.

W świetle naturalnym, którego źródłem jest na przykład Słońce, świeca czy żarówka, (patrz rys. 1 poniżej) kierunki wektora świetlnego są nieuporządkowane (2 na rys. 1) i prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali.



Rys.1. Polaryzacja światła (Kaidor, Creative Commons Attribution 3.0 Unported)

(1 – źródło światła, 2 – kierunki drgań wektora świetlnego w świetle niespolaryzowanym, 3 – polaryzator, 4 - kierunek drgań wektora świetlnego w świetle spolaryzowanym)

Jeżeli jednak jakiś czynnik zewnętrzny wymusi uporządkowanie drgań tego wektora (3 na rys. 1), to mówimy wtedy o **polaryzacji światła**. Najprostszym jej przykładem jest tzw. **polaryzacja liniowa**. W takim przypadku wektor świetlny drga tylko w jednej płaszczyźnie (4 na rys. 1), która nazywana jest **płaszczyzną drgań**. Płaszczyzna prostopadła do kierunku drgań tego wektora nazywana jest **płaszczyzną polaryzacji**.

Jeżeli światło jest mieszaniną światła spolaryzowanego i niespolaryzowanego, to mówimy, że jest ono **częściowo spolaryzowane**.

Istnieje jeszcze inny typ polaryzacji zwany polaryzacją kołową, ale wiedza o nim nie jest konieczna do wyjaśnienia zjawisk, które obejmuje projekt.

Nasze oko, w odróżnieniu od oczu niektórych owadów, w zasadzie nie widzi różnicy między światłem spolaryzowanym i niespolaryzowanym. U wielu ludzi (nie wszystkich) występuje jednak pewne odkryte w 1844 roku zjawisko polegające na pojawianiu się w polu widzenia pewnego obrazu zwanego **figurą Haidingera** (po angielsku – „Haidinger's brush” czyli „szczotka Haidingera”), gdy do oka dociera światło spolaryzowane liniowo. Efekt ten występuje na przykład, gdy patrzymy na świecący biały ekran LCD (czyli ciekłokrystaliczny). W strukturze tego typu ekranu znajduje się bowiem folia polaryzująca i światło docierające od niego do naszego oka jest spolaryzowane liniowo (przynajmniej częściowo). Patrząc na taki świecący biały ekran trzeba kręcić głową w lewo i prawo – nie „przecząco” lecz „ze zdziwieniem”. Wtedy zauważymy (nie każdy!) w centrum pola widzenia żółtawy rozmyty pasek lub „hantelki”. Efektu tego nie zaobserwujemy na klasycznym monitorze kineskopowym – chyba że będzie pokryty polaryzującą folią antyodblaskową.

Polaryzator, analizator, prawo Malusa. Jak stwierdzać kierunek płaszczyzny polaryzacji?

Światło spolaryzowane liniowo można uzyskać w różny sposób. Istnieją substancje zwane **materiałami polaryzującymi**, które powodują, że przechodzące przez nie światło naturalne staje się spolaryzowane liniowo. Do materiałów o takich cechach należy na przykład folia polaryzująca.

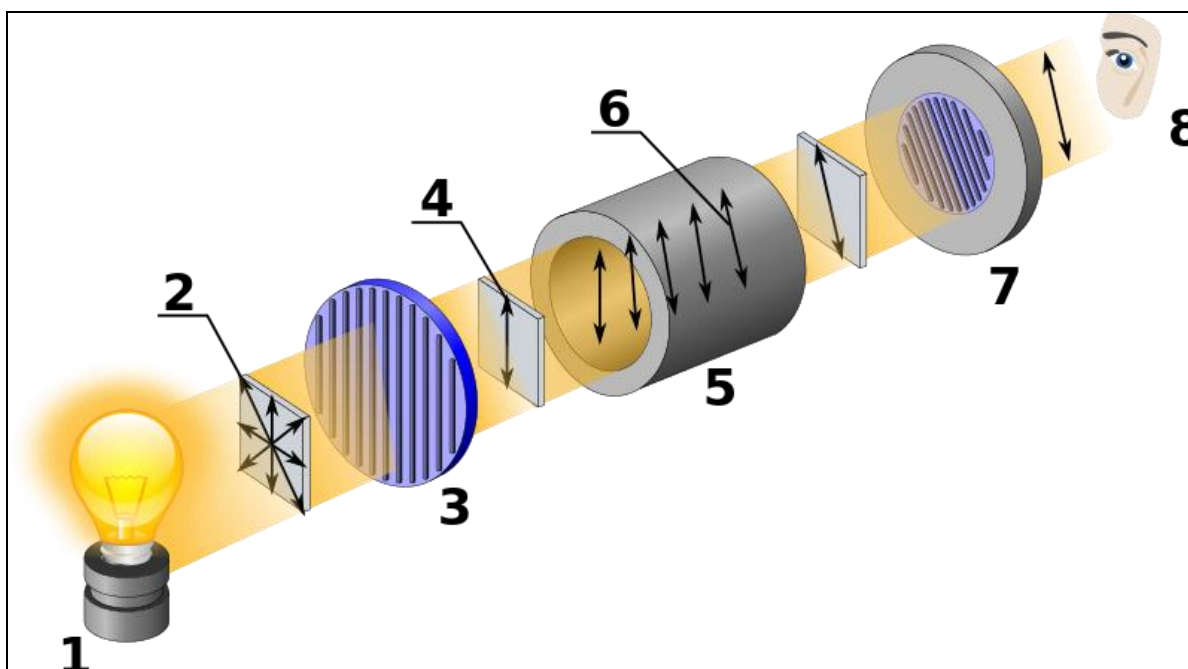
Materiał polaryzujący przepuszcza tylko tę składową drgań wektora świetlnego, która jest równoległa do pewnego kierunku charakterystycznego dla tego materiału, a pochłania (można powiedzieć „wycina”) składową prostopadłą.

Element optyczny polaryzujący światło nazywamy **polaryzatorem**. Obok folii polaryzującej (polimerowej) istnieją też inne rodzaje polaryzatorów. Wśród nich wyróżnia się klasyczny, bo stosowany od dawna, tak zwany pryzmat Nicola. Wykorzystuje on pewną szczególną właściwość kryształu kalcytu (inaczej: szpatu islandzkiego), zwaną dwójłomnością, polegającą na rozszczepieniu padającego na ten kryształ światła naturalnego na dwie wiązki różniące się nieco kierunkiem rozchodzenia, z których obie są spolaryzowane liniowo, ale w kierunkach wzajemnie prostopadłych. Sprytnie usunięcie jednej z nich wykorzystujące wspomniane różne kierunki rozchodzenia się daje w efekcie wychodzące z kryształu światło spolaryzowane liniowo.

Jeżeli po przejściu przez polaryzator światło jest spolaryzowane w określonej płaszczyźnie, na przykład pionowej, to mówimy, że kierunek polaryzacji tego polaryzatora jest pionowy.

Co będzie, gdy światło spolaryzowane liniowo przepuścimy przez kolejny polaryzator? Pamiętajmy, że przepuszcza on tylko falę świetlną z wektorem świetlnym równoległym do charakterystycznego kierunku (kierunku polaryzacji) polaryzatora. Innymi

słowy, przepuszcza tylko składową wektora świetlnego równoległą do kierunku polaryzacji, czyli rzut tego wektora na ten kierunek. Stąd wynika, że gdy ustawimy drugi polaryzator tak, aby jego kierunek polaryzacji był prostopadły do kierunku polaryzacji padającej wiązki, to nie przepuści on światła, bo „wytnie” cały wektor świetlny. Jeśli kąt między kierunkiem polaryzacji drugiego polaryzatora a kierunkiem polaryzacji padającego światła (kierunkiem polaryzacji pierwszego polaryzatora – nazwijmy go **polaryzatorem pierwotnym**) jest różny od kąta prostego, to światło zostanie osłabione. Dla kąta zerowego (kierunki są równoległe) światło przechodzi bez osłabienia. Widać, że przy pomocy drugiego polaryzatora można „wyczuć” kierunek polaryzacji dochodzącego do niego światła. Polaryzator użyty w tej roli nazywany jest **analizatorem**. Znając kierunek polaryzacji analizatora i przekręcając go tak, aby doprowadzić do całkowitego wygaszenia przechodzącego światła, możemy stwierdzić, że jego kierunek polaryzacji jest dokładnie prostopadły do ustawionego kierunku polaryzacji analizatora. Można również wykorzystać pozycję analizatora, przy której pojawia się maksymalna jasność. Wtedy kierunek polaryzacji tak ustawionego analizatora jest równoległy do kierunku polaryzacji dochodzącego światła (rys. 2 poniżej)).



Rys.2. Schemat polarymetru (Kaidor, Creative Commons Attribution 3.0 Unported)
 (1 – źródło światła, 2 – kierunki drgań wektora światła w świetle niespolaryzowanym, 3 – polaryzator, 4 – kierunek drgań wektora światła w świetle spolaryzowanym, 5 – pojemnik z substancją aktywną optycznie, 6 – skręcenie kierunku drgań wektora światła, 7 – analizator, 8 – oko obserwatora)

Na przedstawionej powyżej prostej metodzie opierają się precyzyjne przyrządy zwane **polarymetrami**. Ich podstawowymi elementami są: źródło światła monochromatycznego i dwa polaryzatory.

Efekt ten można ująć ilościowo. Niech wektor świetlny światła spolaryzowanego ma między pierwszym i drugim polaryzatorem amplitudę E_0 , a po przejściu przez drugi, czyli analizator, amplitudę E_1 . Gdy kąt między kierunkami polaryzacji obu polaryzatorów jest równy ϕ . Wtedy

$$E_1 = E_0 \cdot \cos(\phi).$$

Obserwujemy jednak nie wektor świetlny, lecz natężenie światła („jasność”). Jest ona proporcjonalna do kwadratu amplitudy wektora świetlnego. Wtedy

$$I_1 = I_0 \cdot \cos^2(\phi),$$

gdzie I_0 oraz I_1 są odpowiednio natężeniem światła przed i po przejściu przez analizator. Ostatni wzór jest treścią **prawa Malusa**.

Skrećanie płaszczyzny polaryzacji przez substancje optycznie czynne

Ustawmy w jednej linii źródło światła i dwa polaryzatory. Ten znajdujący się bliżej naszego oka będzie pełnić rolę analizatora. Utworzymy w ten sposób najprostszy polarymetr. Ustawmy tak analizator, aby nie przepuszczał światła. Jego kierunek polaryzacji musi być prostopadły do kierunku polaryzacji polaryzatora pierwotnego. Jeśli między tak ustawione polaryzatory wstawimy przezroczyste naczynie z roztworem cukru, to okaże się, że przez analizator przechodzi światło. Przekręcenie go o pewien kąt spowoduje powrót do całkowitego zaciemnienia. Oznacza to, że wstawiona między polaryzatory substancja spowodowała **skrećanie płaszczyzny polaryzacji** (liniowej) przechodzącego przez nią światła.

Tego typu oddziaływanie światła spolaryzowanego z substancją ma miejsce w przypadku tak zwanych **substancji aktywnych optycznie**. Przyczyna tej własności jest ukryta w przestrzennej budowie ich cząsteczek. Związek jest aktywny optycznie, jeśli jego cząsteczki są **chiralne**, czyli występują w formie dwóch nienakładalnych enancjomerów. Oznacza to, że taka cząsteczka i jej odbicie lustrzane nie pokrywają się/ nie nakładają się, tak jak odbicie lustrzane lewej dłoni ma formę dłoni prawej. Z tej analogii wziął się ten termin – po starogrecku „ręka” to „*cheir*” (χειρ). Mówi się, że lewa i prawa ręka są względem siebie **enancjomorficzne**. W przypadku związków chemicznych używa się terminu **enancjomery** na określenie **dwu** wersji przestrzennych cząsteczek tego samego związku chiralnego będących wzajemnie swoimi odbiciami lustrzanymi, jak dwie dłonie – lewa i prawa. W przypadku związków organicznych, centrami chiralności są najczęściej atomy węgla, które posiadają trzy lub cztery różne podstawniki. Enancjomery danego związku chemicznego można rozróżnić po własnościach optycznych, bowiem skrećają płaszczyznę polaryzacji w przeciwne strony, ale zawsze o taki sam kąt.

Co ciekawe, w strukturach biologicznych (organizmach żywych) syntetyzowany lub przyswajany z zewnątrz jest zwykle jeden określony enancjomer danego związku. Ten przeciwny nie jest dla organizmu użyteczny, a może być nawet szkodliwy.

Substancje aktywne optycznie mogą być ciałami stałymi lub cieczami, w szczególności roztworami substancji aktywnej optycznie w rozpuszczalniku. W tym ostatnim przypadku **kąt skrećania ϕ płaszczyzny polaryzacji** jest proporcjonalny do grubości L warstwy roztworu oraz do stężenia masowego c roztworu. Stężenie masowe jest zdefiniowane jako iloraz masy rozpuszczonej substancji i objętości roztworu. Jest liczbowo równe masie substancji rozpuszczonej zawartej w jednostce objętości roztworu i wyrażany jest w jednostce **kg/m³**.

Powyższą zależność można wyrazić wzorem:

$$\phi = K \cdot c \cdot L.$$

Występujący tu współczynnik proporcjonalności K nazywany jest **skrećaniem właściwym** i zależy od

- rodzaju rozpuszczonej substancji,
- rodzaju rozpuszczalnika,
- od długości fali świetlnej.

Z powodu tej ostatniej zależności należy używać do pomiarów skrećania źródła światła monochromatycznego (jednobarwnego) o określonej standardowej długości fali,

co najprościej spełnić przez użycie filtra monochromatyzującego.

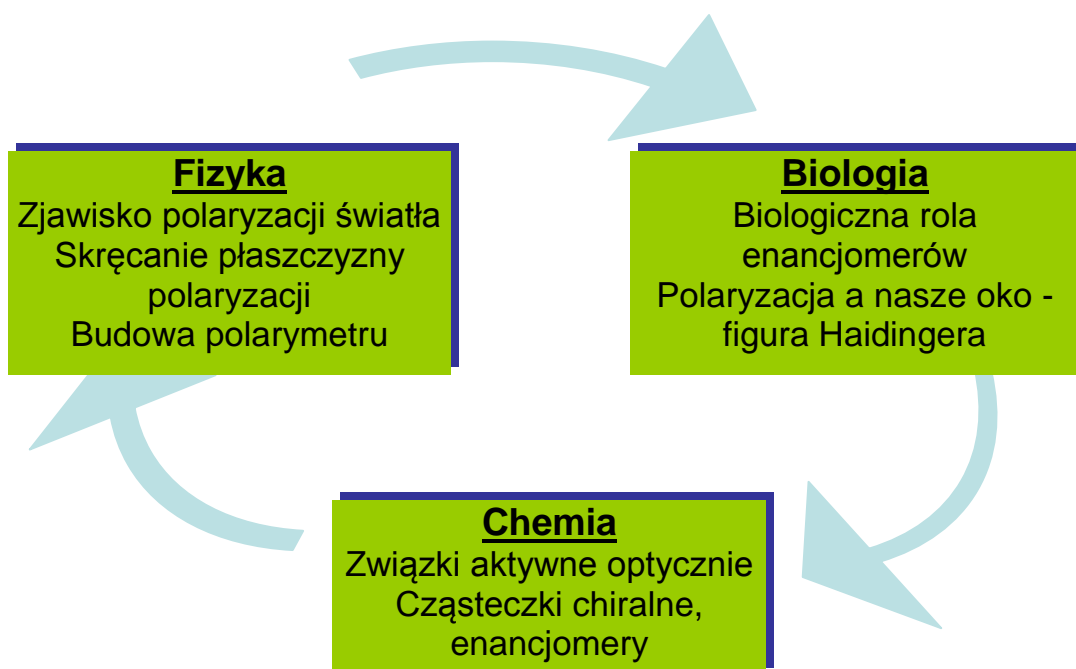
Jak łatwo zauważyć zależność kąta skręcenia od stężenia masowego roztworu jest liniowa. Wyznaczenie tej zależności pozwala na pomiar stężenia nieznanego roztworu za pośrednictwem pomiaru kąta skręcenia.

Uzasadnienie przydatności realizacji projektu

Zjawisko polaryzacji znajduje dziś wiele zastosowań praktycznych w urządzeniach powszechnego użytku. Okulary i lusterka antyodblaskowe, filtry fotograficzne, folie polaryzacyjne będące ważnym elementem struktury ekranów LCD – to tylko niektóre przykłady. Jednocześnie metody polaryzacyjne znalazły trwałe miejsce w laboratoriach analitycznych i pracowniach badawczych. Przykłady to: polarymetria analityczna w chemii lub przemyśle spożywczym, badanie powierzchni minerałów w mikroskopach polaryzacyjnych, polaryzacyjne metody badania powierzchni obiektów zabytkowych.

Nie trzeba więc długo uzasadniać, dlaczego warto poznać i zrozumieć podstawowe zjawiska związane z polaryzacją światła i prawami nimi rządzącymi. A poza tym pierwszym motywem skłaniającym człowieka do wejścia na drogę poznania jest zwykła ... ciekawość.

Integracja treści przedmiotowych:



Wykorzystanie matematyki i technologii informacyjnej:

- gromadzenie i zapisywanie informacji i danych uzyskiwanych podczas wykonywania kolejnych zadań,
- wykorzystywanie arkusza kalkulacyjnego do opracowywania wyników badań, wyznaczanie zależności liniowej przybliżającej zależność empiryczną (regresja liniowa),
- wykorzystanie wyników uzyskanych przy pomocy arkusza kalkulacyjnego (Excel lub Origin/Graph) do odpowiedzi na problem eksperymentalny (pomiar nieznanego stężenia roztworu).

Materiały i środki dydaktyczne:

- polarymetr półcieniowy,
- zestaw do wyjaśnienia zjawiska polaryzacji (laser, kryształ kalcytu, różne typy polaryzatorów),
- 8-12 zestawów: 3 polaryzatory foliowe (polaroidy), źródło światła (lampa LED lub laser), podstawki do mocowania polaroidów, miarka kątowna, naczynia miarowe, zlewki, pojemnik szklany o długości co najmniej 20 cm,
- woda destylowana, sacharoza, przygotowany roztwór sacharozy o dużym stężeniu (syrup),
- komputer z oprogramowaniem,
- instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych,
- karty pracy.

Metody pracy:

- „zabawa” polaryzatorami foliowymi – odkrywanie ich właściwości oraz cech zjawiska polaryzacji,
- konstruowanie z przygotowanych elementów prostego polarymetru na podstawie zdobytej wiedzy w celu wykonania pomiaru,
- samodzielne przygotowanie roztworu sacharozy o określonym stężeniu,
- dyskusja, porównanie i wymiana wyników,
- praca z komputerem (obliczenia z wykorzystaniem arkusza kalkulacyjnego Excel lub programu Origin/Graph na podstawie danych uzyskanych przez całą grupę).

Etapy projektu:

etap	działania	czas
Organizacja	<ul style="list-style-type: none">- ustalenie stanowisk pracy, podział na zespoły,- omówienie zasad bezpieczeństwa przy pracy ze źródłami światła (laser, dioda LED),- poznanie podstaw zjawiska polaryzacji,- poznanie elementów zestawów eksperymentalnych,	40 minut
Planowanie	<ul style="list-style-type: none">- przedstawienie zadań do realizacji podczas zajęć- ustalenie kolejności i czasu wykonywania poszczególnych zadań	10 minut
Realizacja	<ol style="list-style-type: none">1. „Zabawa” zestawami polaryzatorów foliowych w celu poznania ich właściwości i cech zjawiska polaryzacji,2. Montaż i ustawienie zestawu polarymetru,3. Przygotowanie wody destylowanej i roztworu cukru o wskazanym stężeniu masowym oraz napełnienie naczynia pomiarowego,4. Wykonanie pomiaru zerowego dla wody i kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla roztworu sacharozy,5. Napełnienie naczynia pomiarowego roztworem sacharozy o nieznanym stężeniu,6. Wykonanie pomiaru kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla roztworu o nieznanym stężeniu,7. Wykonanie pomiarów kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji na polarymetrze Lippicha/Zeiss7. Opracowanie wyników pomiarów (w arkuszu kalkulacyjnym Excel lub programie Origin/Graph), odczyt nieznanego stężenia roztworu,8. Dyskusja i podsumowanie	30 minut 20 minut 15 minut 20 minut 10 minut 15 minut 45 minut 50 minut 15 minut
Prezentacja	<ul style="list-style-type: none">- karty pracy,- prezentacja obliczeń wykonanych w arkuszu kalkulacyjnym Excel lub programie Origin/Graph.	-
Ocena	<ul style="list-style-type: none">- samoocena (uczeń),- ocena opisowa (nauczyciel).	-

Szczegółowy opis zadań na etapie realizacji projektu:

Zadanie 1

„Zabawa” zestawem polaryzatorów foliowych. Polaryzacja i analiza światła za pomocą polaroidów

Opis zadania (co robimy, dlaczego)

Uczeń (zespół) ma do dyspozycji trzy polaryzatory foliowe. Ma za zadanie poznać ich własności optyczne. Po pierwsze, jak przy pomocy jednego polaryzatora odróżnić światło spolaryzowane od niespolaryzowanego. Po drugie, jakie efekty występują, gdy światło przechodzi kolejno przez dwa polaryzatory i jak zmienia się jego natężenie. Po trzecie, co się dzieje, gdy pomiędzy dwa polaryzatory ustawione tak, by nie przepuszczały światła, wstawi się trzeci. Czy coś się zmieni? Jak to wyjaśnić wykorzystując pojęcie „liniowej polaryzacji światła” i „kierunku polaryzacji polaryzatora”?

Możliwe trudności w czasie realizacji zadania

Mogą wystąpić trudności pojęciowe i terminologiczne z powodu pewnej „egzotyczności” zjawisk związanych z polaryzacją. Na przykład zdarza się mieszanie pojęcia kierunku rozchodzenia się światła i kierunku polaryzacji (kierunku wektora świetlnego).

Kto wykonuje zadanie?

Uczniowie wykonują zadanie w zespołach dwu- (ewentualnie trzy-) osobowych. Nie wyklucza się szukania odpowiedzi na postawione problemy badawcze w trybie „burzy mózgów” w większych grupach.

Sposób wykonania

Zadanie to należy wykonać zgodnie z informacjami i wskazówkami zamieszczonymi w **Instrukcji 1**.

Wskazówki dla ucznia

Należy kręcić polaryzatorami wokół kierunku wiązki światła i obserwować efekty. Przy interpretacji trzeba pamiętać, że polaryzator „usuwa” składową wektora świetlnego prostopadłą do określonego kierunku zwanego kierunkiem polaryzacji polaryzatora.

Oczekiwany efekt pracy ucznia

Efektem pracy ucznia powinno być wypełnienie **Karty pracy 1**, w której powinien zawrzeć odpowiedzi na postawione tam pytania. Odpowiedzi te powinny być oparte o wyniki obserwacji i analizę wykonywanych prostych doświadczeń. Uczeń powinien umieć wyjaśnić zjawisko w ramach modelu fizycznego stosującego nieintuicyjne pojęcia typu wektora świetlnego lub kierunku polaryzacji. Pojęcia te nie należą do rzeczywistości bezpośrednio obserwowalnej, ale pozwalają prosto i w sposób jednolity wyjaśnić obserwowane zjawiska.

Oczekiwania wobec nauczyciela opiekuna

Rolą nauczyciela podczas realizacji tego zadania jest nadzorowanie wykonywanych przez ucznia czynności, wspieranie go, motywowanie pytaniami i sugestiami, zachęcanie do

cierpliwej i spokojnej pracy oraz sprawdzanie wiedzy teoretycznej ucznia, którą powinien przyswoić sobie przed przystąpieniem do zajęć. Nauczyciel powinien nadzorować pracę ucznia, jednak powinien unikać wykonywania pracy za niego, nawet jeśli jakieś zadanie zajmuje uczniowi więcej czasu, niż pozostałym uczestnikom zajęć. Uczeń powinien mieć szansę sprawdzenia się, wykazania samodzielnością, kreatywnością, jednocześnie jednak nie powinien bać się czy wstydzić zadawać pytań nauczycielowi czy prosić go o radę.

Zadanie 2

Pomiar kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla roztworu sacharozy o różnym stężeniu masowym

Opis zadania

Zespół z dostarczonych elementów konstruuje najprostszy polarymetr składający się ze źródła światła, dwu polaryzatorów w podstawkach i naczynie pomiarowe na badany roztwór. Przy jego pomocy ma wykonać dwa pomiary: dla przygotowanego samodzielnie roztworu sacharozy o znanym stężeniu oraz dla roztworu o nieznanym stężeniu. Każdy zespół przygotowuje roztwór o innym stężeniu wskazanym przez prowadzącego. Samodzielnie wylicza proporcje składników (sacharozy i wody lub syropu i wody) potrzebnych do otrzymania roztworu o danym stężeniu masowym. Roztwór o nieznanym stężeniu (różnym dla poszczególnych zespołów) dostarcza prowadzący. Uczeń napełnia naczynie pomiarowe wodą destylowaną i wstawia między polaryzatory. Analizator przekręca do pozycji, w której nie przepuszcza światła i zapisuje jego ustawienie – wskazanie na skali kątovej. Jest to tak zwany **pomiar zerowy** lub **pomiar odniesienia**. Następnie napełnia naczynie pomiarowe roztworem o znanym stężeniu i wstawia między polaryzatory, co powoduje skręcenie płaszczyzny polaryzacji światła. Ponownie ustawia analizator „na ciemność” i zapisuje jego położenie. Różnica powyższych odczytów stanowić będzie wartość kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla danego roztworu. Następnie powtarza te same czynności (bez powtórnego pomiaru odniesienia) dla roztworu o nieznanym stężeniu.

Podczas pomiarów należy zastanowić się, z jaką niepewnością, czyli błędem, zostały odczytane wartości kąta skręcenia i jaka jest niepewność wartości stężenia masowego przygotowanego samodzielnie roztworu.

Po pomiarach zespoły wymieniają się wynikami pomiaru kąta skręcenia dla znanych roztworów, co zwiększa liczbę danych, na których podstawie każdy zespół wyznaczy liniową zależność kąta skręcenia od stężenia roztworu (Zadanie 4).

Ostatecznym efektem wykonania zadania będzie odczytanie stężenia nieznanego roztworu z wyznaczonej zależności.

Możliwe trudności w czasie realizacji zadania

Mogą wystąpić trudności techniczne związane z nieosiowym ustawieniem elementów polarymetru. Wtedy wiązka światła nie będzie przechodziła przez wszystkie elementy

układu. Problemem może być też niejednorodny roztwór cukru (niewystarczająco zmieszany), w którym wiązka światła rozprasza się tak intensywnie, że nie dociera do analizatora (drugiego polaryzatora) i pomiar jest niemożliwy. Należy w takim przypadku powtórnie dokładnie wymieszać roztwór. Aby wyraźniej widzieć wiązkę światła należy, o ile to możliwe, zmniejszyć oświetlenie otoczenia (np. przygasić lampy w pomieszczeniu laboratorium).

Kto wykonuje zadanie?

Uczniowie wykonują zadanie w zespołach dwu- (ewentualnie trzy-) osobowych. Następnie wymieniają się wynikami pomiaru dla roztworów o znanym stężeniu.

Sposób wykonania

Zadanie to należy wykonać zgodnie z informacjami i wskazówkami zamieszczonymi w **Instrukcji 2**.

Wskazówki dla ucznia

Układ pomiarowy (polarymetr) ustawić tak, aby polaryzatory foliowe były do siebie równoległe i znajdowały się na drodze przebiegu wiązki światła, a ich płaszczyzny prostopadłe do tej wiązki. Odległość między nimi powinna być jak najmniejsza, ale taka, by zmieściło się między nimi naczynie pomiarowe z roztworem.

Płukać naczynie pomiarowe wodą destylowaną przy zmianie roztworu.

Oczekiwany efekt pracy ucznia

Efektom pracy ucznia powinno być wypełnienie **Karty pracy 2**, na której powinien zapisać wyniki własnych pomiarów kąta skręcenia dla trzech przypadków: pomiaru odniesienia, pomiaru dla roztworu znanego oraz nieznanego. Należy także zapisać oszacowane wartości niepewności tych pomiarów. Dane powinny zostać uzupełnione o wyniki otrzymane przez pozostałe zespoły dla roztworów znanych.

Oczekiwania wobec nauczyciela opiekuna

Rolą nauczyciela podczas realizacji tego zadania jest nadzorowanie wykonywanych przez ucznia czynności, wspieranie go, motywowanie pytaniami i sugestiami, zachęcanie do cierpliwej i spokojnej pracy oraz sprawdzanie wiedzy teoretycznej ucznia, którą powinien przyswoić sobie przed przystąpieniem do zajęć. Nauczyciel powinien nadzorować pracę ucznia, jednak powinien unikać wykonywania pracy za niego, nawet jeśli jakieś zadanie zajmuje uczniowi więcej czasu, niż pozostałym uczestnikom zajęć. Uczeń powinien mieć szansę sprawdzenia się, wykazania samodzielnością, kreatywnością, jednocześnie jednak nie powinien bać się czy wstydzić zadawać pytań nauczycielowi czy prosić go o radę.

Zadanie 3

Polarymetr półcieniowy Lippicha/firmy Zeiss - pomiar kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla roztworu sacharozy

Opis zadania

W poprzednim zadaniu (zadanie 2) uczniowie z dostarczonych elementów samodzielnie budowali polarymetr, składający się ze źródła światła, dwu polaryzatorów w podstawkach i naczynia pomiarowego. Można go skonstruować w każdej szkole, gdyż nie wymaga specjalnego nakładu środków finansowych. Mimo prostoty ma on jedną zasadniczą wadę: dokładność wyznaczenia całkowitego wygaszenia jest bardzo mała, co czyni pomiar bardzo niedokładnym. W tym zadaniu uczniowie zaznajomią się z polarymetrami stosowanymi w laboratoriach naukowych i przemysłowych. Obecnie w laboratoriach do pomiaru kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji używamy prawie wyłącznie polarymetrów półcieniowych. Mają one oprócz polaryzatora i analizatora cienką płytkę półcieniową (umieszczoną między polaryzátorem a badanym roztworem substancji optycznie czynnej) zasłaniającą część pola widzenia (w polarymetrze Lippicha - prawą stronę, w polarymetrze firmy Zeiss - jego środkowy pasek). Dzięki temu pole widzenia obserwowane od strony analizatora składa się z dwóch (lub trzech) obszarów różniących się barwą. Ponieważ oko ludzkie doskonale rozróżnia kontrasty sąsiadujących ze sobą obszarów słabo oświetlonych, to pomiar staje się bardzo dokładny. Uczniowie za pomocą polarymetru Lippicha (lub firmy Zeiss) wykonują pomiar kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla roztworów sacharozy o takich samych stężeniach jak w Zadaniu 2.

Ostatecznym efektem wykonania zadania będzie odczytanie stężenia nieznanego roztworu z wyznaczonej zależności i porównanie jej z wartościami wyznaczonymi w Zadaniu 2.

Możliwe trudności w czasie realizacji zadania

Mogą pojawić się trudności związane z pracą na nowym, nieznanym sprzęcie laboratoryjnym. Urządzenie nie jest jednak trudne w obsłudze i po wyjaśnieniu przez prowadzącego nie powinno stanowić bariery technicznej. Poprawne wykonanie pomiarów wymaga dokładnego płukania kuwety wodą destylowaną i badanym roztworem.

Kto wykonuje zadanie?

Uczniowie wykonują zadanie w zespołach dwu- (ewentualnie trzy-) osobowych.

Sposób wykonania

Zadanie to należy wykonać zgodnie z informacjami i wskazówkami zamieszczonymi w **Instrukcji 3**.

Wskazówki dla ucznia

Pomiar jest dobrze wykonany, gdy odczytane dla danego roztworu wyniki różnią się między sobą co najwyżej o kilka dziesiątych stopnia. Szkiełka zamykające kuwetę powinny być suche a w kuvecie nie powinno być pęcherzyków powietrza. Przy zmianie roztworu należy płukać kuwetę wodą destylowaną i badanym roztworem.

Oczekiwany efekt pracy ucznia

Efektem pracy ucznia powinno być wypełnienie **Karty pracy 3**, na której powinien zapisać wyniki własnych pomiarów kąta skręcenia dla trzech przypadków: pomiaru odniesienia, pomiaru dla roztworu znanego oraz nieznanego. Wyniki te zostaną wykorzystane do obliczenia nieznanego stężenia roztworu sacharozy. Porównanie wyników uzyskanych w zadaniu 2 i 3 umożliwi uczniowi ocenę błędu pomiarowego.

Oczekiwania wobec nauczyciela opiekuna

Rolą nauczyciela podczas realizacji tego zadania jest nadzorowanie wykonywanych przez ucznia czynności, wspieranie go, motywowanie pytaniami i sugestiami, zachęcanie do cierpliwej i spokojnej pracy oraz sprawdzanie wiedzy teoretycznej ucznia, którą powinien przyswoić sobie przed przystąpieniem do zajęć. Nauczyciel powinien nadzorować pracę ucznia, jednak powinien unikać wykonywania pracy za niego, nawet jeśli jakieś zadanie zajmuje uczniowi więcej czasu, niż pozostałym uczestnikom zajęć. Uczeń powinien mieć szansę sprawdzenia się, wykazania samodzielnością, kreatywnością, jednocześnie jednak nie powinien bać się czy wstydzić zadawać pytań nauczycielowi, czy prosić go o radę.

Zadanie 4

Zadanie obliczeniowe – wyznaczenie zależności kąta skręcenia od stężenia masowego roztworu sacharozy

Opis zadania (co robimy, dlaczego)

Celem zadania jest wyznaczenie przy wykorzystaniu arkusza Excel lub programu Graph zależności liniowej kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji od stężenia masowego roztworu sacharozy, dyskusji niepewności pomiarowej, inaczej – błędu pomiaru (źródła, sposób przejawiania się, ewentualna obecność błędu grubego). Z uzyskanej zależności liniowej należy odczytać wartość stężenia nieznanego roztworu sacharozy wykorzystując wynik pomiaru kąta skręcenia dla tego roztworu.

Możliwe trudności w czasie realizacji zadania

Problemy mogą pojawić się przy obsłudze oprogramowania (Origin/Excel lub Graph). Nie chodzi oczywiście o to, by uczeń opanował wszystkie opcje programu, ale tylko te pomocne w rozwiązaniu zadania. Tu konieczna jest pomoc nauczyciela lub pomoc innych uczniów bardziej biegłych w obsłudze oprogramowania tego rodzaju.

Trudności mogą pojawić się również przy analizie niepewności pomiaru. Dla uczniów tematyka ta jest niejasna. Oczekują bowiem ścisłych „matematycznych” odpowiedzi. Często nie rozumieją istoty pojęcia „szacowanie niepewności”, oznaczającego przybliżone określanie odstępstwa pomiaru od wartości prawidłowej, czasem „na oko”. Owo szacowanie wymaga niekiedy uruchomienia wyobraźni. Tu też jest potrzebna pomoc nauczyciela.

Kto wykonuje zadanie?

Uczniowie wykonują zadanie w zespołach dwu- (ewentualnie trzy-) osobowych.

Sposób wykonania

Zadanie to należy wykonać zgodnie z informacjami i wskazówkami zamieszczonymi w **Instrukcji 4**.

Wskazówki dla ucznia

Korzystać z rad i podpowiedzi związanych z obsługą oprogramowania (Origin/Excel lub Graph).

Oczekiwany efekt pracy ucznia

Efektom pracy ucznia powinno być wypełnienie **Karty pracy 4**, w której powinien zawrzeć odpowiedzi na postawione pytania i wyniki liczbowe uzyskane. Uczeń powinien umieć wyjaśnić drogę, na której doszedł do ostatecznego wyniku, czyli wartości stężenia nieznanego roztworu sacharozy.

Oczekiwania wobec nauczyciela opiekuna

Rolą nauczyciela podczas realizacji tego zadania jest nadzorowanie wykonywanych przez ucznia czynności, wspieranie go, motywowanie pytaniami i sugestiami, zachęcanie do cierpliwej i spokojnej pracy oraz pomoc w obsłudze oprogramowania (Origin/Excel lub Graph) i oceny niepewności pomiarowej. Nauczyciel powinien nadzorować pracę ucznia, jednak powinien unikać wykonywania pracy za niego, nawet jeśli jakieś zadanie zajmuje uczniowi więcej czasu, niż pozostałym uczestnikom zajęć. Uczeń powinien mieć szansę sprawdzenia się, wykazania samodzielnością, kreatywnością, jednocześnie jednak nie powinien bać się czy wstydzić zadawać pytań nauczycielowi czy prosić go o radę.

Instrukcja nr 1

„Zabawa” zestawem polaryzatorów foliowych. Polaryzacja i analiza światła za pomocą polaroidów

Doświadczenie 1

1. Zbliź polaryzator do oka i przyjrzyj się uważnie otoczeniu, zwracając uwagę na przedmioty niemetalowe: meble, szkło (dielektryk przezroczysty), różne „plastiki”, niebo.
2. Obserwuj te przedmioty obracając polaryzator. Zastanów się, jakie zmiany zachodzą (co widzisz)?
3. Oceń jak zmienia się natężenie światła niespolaryzowanego po przejściu przez jeden polaryzator.

W karcie pracy zapisz obserwacje i narysuj (schematycznie) przejście światła niespolaryzowanego przez jeden polaryzator (działanie polaryzatora)

Doświadczenie 2

1. Zbuduj „układ” składający się z dwóch polaryzatorów i źródła światła niespolaryzowanego.
2. Spójrz na światło tak, aby promienie przechodziły przez dwa polaryzatory – najpierw przez jeden (polaryzator), potem przez drugi (analizator); obserwuj obraz z pozycji za analizatorem w kierunku źródła światła.
3. Obracaj drugi polaryzator względem pierwszego (analizator względem polaryzatora) tak, aby kąt skręcenia analizatora względem polaryzatora zmieniał się o kąt od 0° do 90° .
4. Co obserwujesz? Oceń, kiedy światło jest spolaryzowane? Określ płaszczyznę polaryzacji obu polaryzatorów i płaszczyznę drgań wektora świetlnego.

W karcie pracy zapisz obserwacje i narysuj (schematycznie) przejście światła niespolaryzowanego przez dwa skrzyżowane polaryzatory (ustawione względem siebie pod kątem $\alpha = 90^\circ$).

Doświadczenie 3

1. Ustaw dwa polaryzatory w pozycji skrzyżowanej (tak, aby nie przepuszczały światła)
2. Pomiędzy tak ustawione polaryzatory wstaw trzeci. Co obserwujesz?
3. Wykorzystując pojęcie liniowej polaryzacji światła i kierunku polaryzacji światła wyjaśnij, co się zmienia i dlaczego.

Uzupełnij kartę pracy o obserwacje z doświadczenia 3.

Instrukcja nr 2

Pomiar kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla roztworów sacharozy o różnym stężeniu

1. Z dostarczonych elementów zbuduj polarymetr (w konfiguracji pionowej przy wykorzystaniu stojaka laboratoryjnego) składający się z polaryzatora i analizatora (polaryzatory foliowe) oraz źródła światła monochromatycznego (laser zielony). Odległość między polaryzatorem i analizatorem powinna być jak najmniejsza, ale taka, by zmieściło się między nimi naczynie pomiarowe/kuweta z badanym roztworem.
2. Ustaw polaryzatory foliowe tak, by były do siebie równoległe i znajdowały się na drodze przebiegu wiązki światła. Płaszczyzny powierzchni polaryzatora i analizatora będą wówczas prostopadłe do kierunku wiązki światła.
3. Polaryzator i analizator ustaw tak, aby były skrzyżowane, czyli nie przepuszczały światła (na położonym na stole ekranie otrzymamy ciemne pole widzenia).
4. W cylindrze miarowym przygotuj 100 cm^3 (100 ml) roztworu sacharozy o znanym stężeniu masowym (podaje prowadzący). W tym celu oblicz ile sacharozy jest potrzebne do otrzymania roztworu o tym stężeniu. Określoną ilość sacharozy odważ na wadze, wsyp ją do cylindra miarowego i uzupełnij wodą destylowaną do objętości 100 ml. Roztwór dokładnie wymieszaj, aby sacharoza była całkowicie rozpuszczona i odstaw cylinder.
5. Napełnij naczynie pomiarowe/kuwetę wodą destylowaną (w kuwecie nie powinno być pęcherzyków powietrza) i umieść w polarymetrze. Poprzez obrót ramki analizatora znajdź takie jego położenie, w którym nie przepuszcza on światła (ustawianie na ciemność) i na jego skali kątowej odczytaj wskazanie. Będzie to **pomiar zerowy** lub **odniesienia**. W celu wyeliminowania błędu, pomiar zerowy wykonaj trzykrotnie, za każdym razem zmieniając położenie analizatora i szukając położenia, w którym nie przepuszcza on światła. Oblicz średnią wartość położenia zerowego α_{sr} . Ten i następane pomiary zapisz w tabeli (Karta pracy do zadania 2).
6. Z kuwety wylej wodę destylowaną i napełnij ją samodzielnie przygotowanym roztworem sacharozy o znanym stężeniu (**uwaga: przy każdej zmianie roztworu kuwetę należy płukać wodą destylowaną a następnie dwukrotnie niewielką ilością roztworu o tym stężeniu**).
7. Umieść kuwetę z roztworem sacharozy w polarymetrze. Na ekranie zaobserwujesz rozjaśnienie pola widzenia; wstawienie kuwety z roztworem sacharozy spowodowało bowiem skręcenie płaszczyzny polaryzacji, dlatego należy ponownie poprzez obrót analizatora ustawić go na „ciemność”. Pomiar powtórz trzykrotnie i oblicz średnią wartość odczytów β_{sr} . Kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji to: $\varphi = \alpha_{\text{sr}} - \beta_{\text{sr}}$.
8. Roztwór o znanym stężeniu zlej z kuwety do cylindra miarowego i podaj prowadzącemu zajęcia. Po otrzymaniu roztworu o nieznanym stężeniu wykonaj pomiary jak w punktach 6-7 (bez powtórnego wyznaczania punktu zerowego α_{sr}).
9. Uporządkuj stanowisko pracy.
10. Po wykonaniu pomiarów, uzupełnij tabelę o wyniki pomiarów kąta skręcenia dla innych roztworów sacharozy o znanych stężeniach masowych, uzyskane przez pozostałe zespoły (Karta pracy do zadania 2).
11. Zmierz długość naczynia pomiarowego/kuwety, oceń niepewność pomiaru długości (do wykorzystania w zadaniu 4).
12. Oszacuj i zapisz (Karta pracy do zadania 2) niepewność pomiarową (błąd pomiaru), z jaką zostały odczytane wartości kąta skręcenia i jaka jest niepewność wartości stężenia masowego samodzielnie przygotowanego roztworu.
13. Wypełnij kartę pracy.

Ostateczny efekt wykonania zadania 2 będzie znany po wykonaniu Zadania 4: Wyznaczenie nieznanego stężenia roztworu sacharozy oraz jego niepewności pomiarowej na podstawie wykresu.

Instrukcja nr 3

Polarymetr półcieniowy Lippicha/firmy Zeiss - pomiar kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla roztworu sacharozy

1. Napełnij rurkę wodą destylowaną tak, aby powstał menisk wypukły a następnie z góry nałóż na nią szkiełko i zakręć nakrętkę. W rurce nie powinno być pęcherzyków powietrza a zamykające ją z obu stron szkiełka powinny być z zewnątrz suche.
2. Umieść rurkę w polarymetrze i patrząc na okular w kierunku źródła światła, ustaw najlepszą ostrość widzenia przez obrót oprawki okularu. Wówczas pionowa linia rozdzielająca obie połówki pola widzenia będzie maksymalnie ostra (w polarymetrze Lippicha); w polarymetrze firmy Zeiss – będą to dwie linie pionowe rozdzielające środkową część pola widzenia.
3. Poprzez obrót gałki analizatora znajdź takie jego ustawienie, w którym obie połówki pola widzenia będą jednakowo ciemne. Będzie to **położenie zerowe analizatora**. Pomiar zerowy wykonaj trzykrotnie, za każdym razem zmieniając położenie analizatora i szukając położenia, w którym obie połówki pola widzenia są jednakowo ciemne. Pomiar jest dobrze wykonany, gdy odczytane dla danego roztworu wyniki różnią się między sobą co najwyżej o kilka dziesiątych stopnia. Oblicz średnią wartość położenia zerowego α_{sr} . Ten i następne wyniki pomiarów zapisz w tabeli (Karta pracy do zadania 3).
4. Z rurki wylej wodę destylowaną i napełnij ją roztworem sacharozy o znanym stężeniu (uwaga: przy każdej zmianie roztworu rurkę należy płukać wodą destylowaną a następnie dwukrotnie niewielką ilością roztworu o tym stężeniu).
5. Umieść rurkę z roztworem sacharozy w polarymetrze. Na ekranie zaobserwujesz rozjaśnienie pola widzenia; wstawienie rurki z roztworem sacharozy spowodowało skręcenie płaszczyzny polaryzacji, dlatego należy ponownie ustawić analizator tak (poprzez obrót gałki analizatora w prawo lub lewo), by całe pole widzenia było jednakowo zaciemnione.
6. Pomiar powtórz trzykrotnie i oblicz średnią wartość odczytów β_{sr} . **Kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji to: $\varphi = \alpha_{\text{sr}} - \beta_{\text{sr}}$.**
7. W analogiczny sposób wykonaj pomiar dla roztworu o nieznanym stężeniu.
8. Uporządkuj stanowisko pracy.
9. Wypełnij kartę pracy.

Instrukcja nr 4

Zadanie obliczeniowe – wyznaczenie zależności kąta skręcenia od stężenia masowego roztworu sacharozy

Do zrealizowania tego zadania wykorzystaj wyniki uzyskane w laboratorium (Zadanie 2).

1. Przyjmując we wzorze $\varphi = \mathbf{K} \cdot \mathbf{c} \cdot \mathbf{L}$: $y = \varphi$, $x = c/l$ mamy zależność liniową y od x w postaci $y = \mathbf{K} \cdot x$, gdzie skręcenie właściwe \mathbf{K} gra rolę współczynnika kierunkowego. Korzystając z oprogramowania (ORIGIN lub EXCEL) wprowadzić dane uzyskane w zadaniu 2 (znane stężenia roztworów sacharozy i odpowiadające im kąty skręcenia) do arkusza i wygenerować wykres oraz przybliżenie eksperymentalnej zależności funkcją liniową przy wykorzystaniu metody najmniejszych kwadratów. Odczytać skręcenie właściwe \mathbf{K} jako współczynnik kierunkowy uzyskanego liniowego przybliżenia zależności y od x .
2. Z uzyskanego przy pomocy programu wykresu liniowej zależności odczytaj stężenie nieznanego roztworu sacharozy.
3. Wyznacz nieznaną stężenie roztworu bezpośrednio z zależności: $\varphi = \mathbf{K} \cdot \mathbf{c} \cdot \mathbf{L}$ w oparciu o wcześniej uzyskaną wartość skręcenia właściwego \mathbf{K} .
4. Spróbuj również obliczyć nieznaną stężenie roztworu sacharozy wykorzystując zmierzone przez siebie wartości kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla roztworu o znanym stężeniu i stężeniu nieznanym (z zadania 2). Oszacuj niepewność tego pomiaru złożonego na podstawie niepewności pomiarowych z jakimi zostały odczytane wartości kąta skręcenia i jaka jest niepewność wartości stężenia masowego samodzielnie przygotowanego roztworu.
5. Porównaj wyniki uzyskane trzema powyższymi metodami (punkty 2, 3 i 4).

KARTA PRACY DO ZADANIA 1

„Zabawa” zestawem polaryzatorów foliowych. Polaryzacja i analiza światła za pomocą polaroidów

Doświadczenie 1

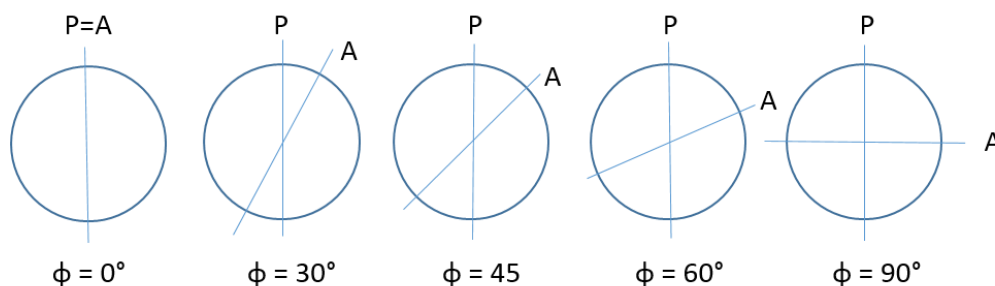
Narysuj schematycznie przejście światła niespolaryzowanego przez polaryzator:

Jak zmienia się natężenie światła po przejściu przez jeden polaryzator?

Jak odróżnić światło spolaryzowane od niespolaryzowanego przy pomocy jednego polaryzatora?

Doświadczenie 2

Na poniższym rysunku zilustruj prawo Malusa dla różnych kątów skręcenia analizatora względem polaryzatora poprzez zaciemnianie obrazów (od barwy jasnej do ciemnej).



Jak zmienia się natężenie światła po przejściu przez układ polaryzator-analizator? Uzasadnij korzystając z wzoru: $I_1 = I_0 \cdot \cos^2(\varphi)$

Doświadczenie 3

Co obserwujesz jeśli między dwa polaryzatory ustawione w pozycji skrzyżowanej (tak, aby nie przepuszczały światła) wstawisz trzeci? Opisz, jakie zmiany powoduje dodatkowy polaryzator? Wykorzystując pojęcie liniowej polaryzacji światła i kierunku polaryzacji światła wyjaśnij obserwowane zjawisko.

KARTA PRACY DO ZADANIA 2

Wyznaczenie kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla roztworu cukru o różnym stężeniu

Tabela 1

Rodzaj roztworu	Odczyt położenia zerowego analizatora α [°]	Średnia wartość położenia zerowego analizatora α_{sr} [°]	Odczyt kąta skręcenia β [°]	Średnia wartość kąta skręcenia β_{sr} [°]	Poprawiona wartość kąta skręcenia $\varphi = \beta_{sr} - \alpha_{sr}$ [°]	Stężenie roztworu cukru c [g/100cm ³]
Woda destylowana						0
Roztwór o znanym stężeniu c						
Roztwór o nieznanym stężeniu c_x						? Wynik w Zadaniu 4

Tabelę 2 uzupełnij wynikami uzyskanymi przez pozostałe zespoły (z Tabeli 1 dla roztworów cukru o znanym stężeniu):

Tabela 2

Numer roztworu:	Roztwór własny	1	2	3	4	5	6	7
Stężenie roztworu cukru [g/100cm ³]								
Kąt skręcenia $\varphi = \beta_{sr} - \alpha_{sr}$ [°]								

Na podstawie danych z tabeli 2 wykonasz w Zadaniu 4, przy wykorzystaniu programu Excel, liniowe przybliżenie zależności kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji od znanego stężenia roztworu i odczytasz z niego nieznaną wartość c_x stężenia roztworu własnego. Porównasz ją z wynikiem uzyskanym z obliczeń c_x w Zadaniu 3.

KARTA PRACY DO ZADANIA 3

Polarymetr półcieniowy Lippicha/firmy Zeiss - pomiar kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla roztworu sacharozy

Tabela 1

Rodzaj roztworu	Odczyt położenia zerowego analizatora α [°]	Średnia wartość położenia zerowego analizatora α_{sr} [°]	Odczyt kąta skręcenia β [°]	Średnia wartość kąta skręcenia β_{sr} [°]	Poprawiona wartość kąta skręcenia $\varphi = \beta_{sr} - \alpha_{sr}$ [°]	Stężenie roztworu cukru c [g/100cm ³]
Woda destylowana						0
Roztwór o znanym stężeniu c						
Roztwór o nieznanym stężeniu c_x						

Oblicz nieznaną wartość stężenia otrzymanego roztworu c_x z zależności: $\varphi_1 = K \cdot c \cdot l$ oraz $\varphi_x = K \cdot c_x \cdot l$. Obliczenia wykonaj poniżej. Pamiętaj o odpowiednich zaokrągleniach. Wynik wpisz do powyższej tabeli.

OBLICZENIA



KARTA PRACY DO ZADANIA 4

Zadanie obliczeniowe – wyznaczenie zależności kąta skręcenia od stężenia masowego roztworu sacharozy przy wykorzystaniu programu Excel

Przepisz dane zawarte w Tabeli 2 z Karty pracy 2 do poniższej tabeli. Stężenie cukru możesz uporządkować rosnąco. Przepisz z Tabeli 1 z Karty pracy 2 wartość kąta skręcenia dla nieznanego roztworu. Następnie wprowadź te dane je do odpowiednich komórek przygotowanego arkusza Excela. Odczytaj współczynnik kierunkowy prostej będącej liniowym przybliżeniem zależności kąta skręcenia od stężenia roztworu. Do Karty pracy 4 dołącz wydruk arkusza Excela.

Tabela 1

Numer roztworu:	Roztwór własny	1	2	3	4	5	6	7
Stężenie roztworu cukru [g/100cm ³]								
Kąt skręcenia $\varphi = \beta_{sr} - \alpha_{sr}$ [°]								
Kąt skr. roztworu nieznanego $\varphi = \beta_{sr} - \alpha_{sr}$ [°]								
Stężenie roztworu nieznanego [g/100cm ³]								
Współczynnik kierunkowy a								
Skręcenie właściwe K = a/l								
		<i>l – grubość warstwy roztworu użytego do pomiarów w Zadaniu 2.</i>						

DYSKUSJA WYNIKÓW

Która z uzyskanych wartości nieznanego stężenia roztworu cukru wydaje ci się dokładniejsza (bliższa prawdziwej) – ta na Karcie pracy 3 czy Karcie pracy 4? Weź pod uwagę jakość przyrządów i metody obliczeniowe.