

## Nauka i technologia dla żywności

### Projekt badawczy

#### Temat: Czy wiemy, co może robić światło?

#### Wprowadzenie:

Światło jako fala elektromagnetyczna ma wiele fascynujących właściwości. Dwie spośród nich, barwa i natężenie, są rejestrowane przez nasz zmysł wzroku, natomiast trzecia nieodłączna właściwość, polaryzacja światła, pozostaje poza naszymi zdolnościami postrzegania. Choć oko ludzkie nie potrafi odróżnić, czy światło jest spolaryzowane, czy też nie, to człowiek potrafi wykorzystać zjawisko polaryzacji w badaniach naukowych (geologia, defektoskopia, chemia) oraz zastosowaniach praktycznych: okularach polaryzacyjnych (przeciwosłonecznych), filtrach fotograficznych, wyświetlaczach ciekłokrystalicznych (LCD), smartfonach czy w projekcji obrazów 3D (kina IMAX). Najprostszym typem polaryzacji jest polaryzacja liniowa.

Polaryzację światła wykorzystuje się do badania właściwości substancji, zwanych optycznie czynnymi, posiadających zdolność skręcenia płaszczyzny polaryzacji liniowej przechodzącego przez nie światła. Zjawisko to nazywane jest aktywnością optyczną. Na podstawie pomiarów aktywności optycznej substancji można uzyskać informacje o ich strukturze a także, poprzez pomiary kąta tego skręcenia, wykorzystać do określenia stężenia ciał optycznie czynnych w roztworach. Służą do tego przyrządy nazywane polarymetrami.

#### Cel projektu:

Celem projektu jest zapoznanie uczniów ze zjawiskiem **polaryzacji liniowej** światła, sposobami jej uzyskiwania i zastosowaniem. Uczniowie za pomocą polaryzatorów zbadają jakościowo i ilościowo przejście światła spolaryzowanego przez polaryzatory oraz nauczą się, jak można odróżnić światło spolaryzowane od niespolaryzowanego. Samodzielnie wykonają pomiary aktywności optycznej cukru i wyznaczą nieznane stężenie roztworu cukru wykorzystując liniową zależność kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji od stężenia roztworu cukru.

## Cele kształcenia:

### Uczeń:

- poznaje pojęcie „polaryzacja światła”
- wyjaśnia podstawy zjawiska polaryzacji światła,
- wymienia sposoby polaryzacji,
- podaje przykłady zastosowania zjawiska polaryzacji,
- analizuje efekty związane z przejściem światła przez jeden, dwa oraz trzy polaryzatory,
- opisuje zasadę działania najprostszego polarymetru,
- wykonuje roztwory cukru o odpowiednich stężeniach,
- wykonuje pomiary kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji przy pomocy polarymetru,
- nanosi dane pomiarowe na wykres, rysuje wykres funkcji jak najlepiej przybliżający zależność empiryczną,
- interpretuje rodzaj uzyskanej zależności (zależność kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji od stężenia roztworu)
- wyznacza nieznaną wartość stężenia roztworu cukru.

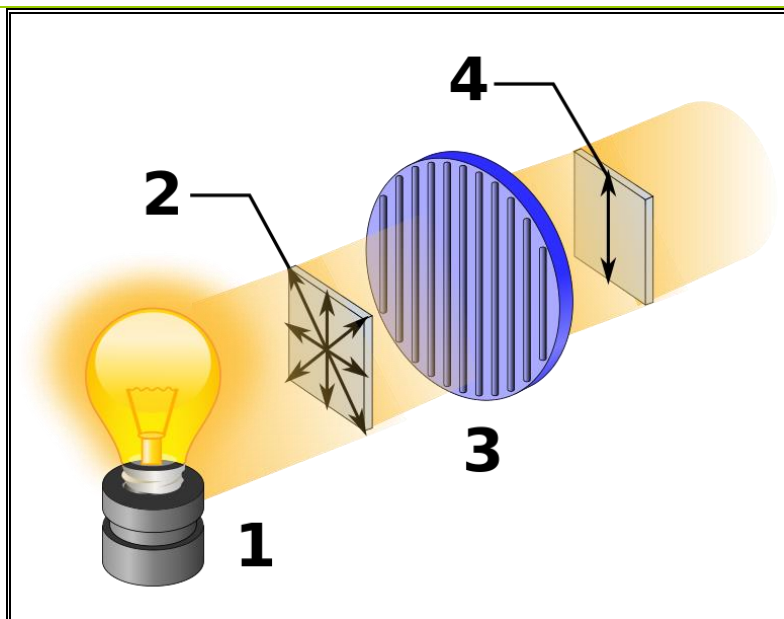
## Pytanie kluczowe:

**Jak można wyznaczyć zawartość cukru w roztworze (stężenie roztworu cukru) wykorzystując doświadczalne wyniki pomiaru kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji liniowej światła po jego przejściu przez warstwę tego roztworu?**

## Polaryzacja liniowa światła

Światło widzialne to część promieniowania elektromagnetycznego w zakresie długości fal 380-780 nm ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ), które może zarejestrować oko człowieka. Rozchodzi się ono w przestrzeni jako ciąg zmiennych pól elektrycznych i magnetycznych, wzajemnie sprzężonych, i prostopadłych względem siebie oraz względem kierunku rozchodzenia się światła. Światło jest więc falą poprzeczną. Pola te charakteryzują dwa wektory: wektor natężenia pola elektrycznego i wektor natężenia pola magnetycznego. Wektorem świetlnym przyjęto umownie nazywać wektor natężenia pola elektrycznego  $E$  ponieważ decyduje on o wszystkich zjawiskach optycznych. Mówimy, że światło naturalne wysyłane przez źródła światła takie jak np. Słońce, świeca, żarówka czy świetlówka jest **niespolaryzowane**, tzn. drgania wektora świetlnego  $E$  zachodzą we wszystkich możliwych kierunkach prostopadłych do kierunku rozchodzenia się fali świetlnej (Rys. 1).

Światło można spolaryzować liniowo, kołowo lub eliptycznie. **Polaryzacja światła to uporządkowanie kierunków drgań wektora świetlnego** (wektora natężenia pola elektrycznego  $E$ ) za pomocą jakiegoś czynnika zewnętrznego, zwanego **polaryzatorem**. Polaryzator przepuszcza tylko te fale, których kierunek drgań wektora elektrycznego jest zgodny z jego kierunkiem polaryzacji, natomiast pozostała część światła zostaje „wygaszona”. Najprostszym do wytworzenia typem polaryzacji jest **polaryzacja liniowa** (Rys. 1). Po przejściu przez polaryzator liniowy drgania wektora pola elektrycznego zachodzą tylko w jednym wyróżnionym kierunku, prostopadłym do kierunku rozchodzenia się światła, zwanym płaszczyzną drgań. Płaszczyzna prostopadła do kierunku drgań wektora świetlnego to **płaszczyzna polaryzacji**.



Rys. 1. Polaryzacja światła (Kaidor, Creative Commons Attribution 3.0 Unported)  
 (1 – źródło światła; 2 – światło niespolaryzowane; 3 – polaryzator; 4 – światło spolaryzowane)

Polaryzacja jest cechą, którą posiadają tylko fale poprzeczne (także mechaniczne). Fali podłużnej, a taką jest np. fala dźwiękowa rozchodząca się w powietrzu, spolaryzować nie można.

### **Metody otrzymywania światła spolaryzowanego liniowo**

Obserwacje zjawisk fizycznych zachodzących w otaczającym nas świecie oraz wykorzystywanych w technice uświadamiają nam, że zjawisko polaryzacji światła, choć niedostrzegane „gołym okiem”, jest nie tak rzadko spotykane.

W naturze otrzymamy światło częściowo spolaryzowane na przykład po odbiciu światła od szyby samochodu, tafli wody czy mokrej nawierzchni drogi. Również światło rozproszone przez chmury jest częściowo spolaryzowane. Światło emitowane przez laser może też być częściowo lub całkowicie spolaryzowane.

Najprostszą metodą uzyskania światła spolaryzowanego liniowo w technice jest użycie gotowych elementów optycznych zwanych **polaryzatorami optycznymi**:

- **polaryzatorów foliowych**, tzw. **polaroidów** (polaryzacja poprzez pochłanianie),
- **polaryzatorów odbiciowych** (polaryzacja przez odbicie światła),
- **polaryzatorów dwójłomnych** (polaryzacja przez załamanie światła).

**Polaroidy** są to specjalnie wykonane płytki zbudowane z długich i cienkich, ułożonych równolegle łańcuchów polimeru, np. alkoholu poliwinylowego wysycanego jodem. Polaryzator przepuszcza praktycznie bez strat energii tylko tę składową fali, której kierunek drgań elektrycznych jest prostopadły do kierunku wyznaczanego przez łańcuchy polimeru, pozostałe fale są odbijane.

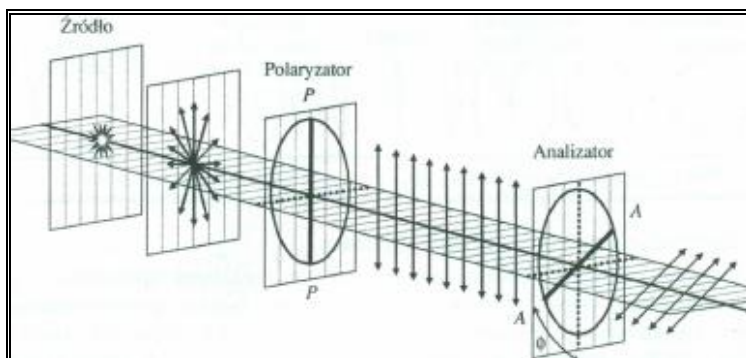
Innym rodzajem polaryzatora jest **polaryzator odbiciowy**, w którym światło całkowicie liniowo spolaryzowane można otrzymać przez odbicie od powierzchni dielektryka, na przykład szkła lub wody. Światło niespolaryzowane musi wówczas padać na granicę dwóch ośrodków przezroczystych pod kątem zwanym kątem Brewstera, czyli takim, przy którym promień odbity z promieniem załamanym tworzą kąt prosty ( $90^\circ$ ). Dla granicy szkło - powietrze kąt Brewstera wynosi ok.  $55^\circ$ . Zjawisko polaryzacji przez odbicie zostało odkryte w 1809 roku przez Malusa.

Światło spolaryzowane można również otrzymać wykorzystując zjawisko podwójnego załamania, które ma miejsce w kryształach występujących w przyrodzie, zwanych **kryształami dwójłomnymi**. Należą do nich kalcyt, turmalin czy mika. Kryształy

dwójłomne mają właściwość rozdzielania padającej pojedynczej wiązki promieni na dwie wiązki załamane. Każda z nich jest spolaryzowana, ale w kierunkach wzajemnie prostopadłych. Problem otrzymania światła liniowo spolaryzowanego przy wykorzystaniu kryształów dwójłomnych polega na znalezieniu metody wyeliminowania jednego z promieni załamanych. Pomysł ten został zrealizowany w kryształach wykazujących właściwość zwaną dichroizmem (np. w turmalinie) oraz w pryzmacie Nicola (kalcyt,  $\text{CaCO}_3$ ), tzw. nikolu. Kryształ turmalinu już o grubości 1 mm całkowicie pochłania promień zwyczajny, natomiast w pryzmacie Nicola do „wyeliminowania” promienia zwyczajnego wykorzystuje się **zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia**.

### **Jak określić kierunek płaszczyzny polaryzacji? Polaryzator, analizator.**

Do obserwacji kierunku polaryzacji trzeba posłużyć się układem dwóch polaryzatorów (Rys. 2). Światło niespolaryzowane przechodzi przez pierwszy polaryzator polaryzujący światło liniowo, a następnie przez drugi polaryzator (pamiętamy, że polaryzatory liniowe przepuszczają światło o określonym kierunku drgań wektora elektrycznego). Jeżeli ustawimy oba polaryzatory jeden za drugim tak, aby ich kierunki polaryzacji były równoległe do siebie, to światło przechodzi przez nie bez osłabienia – efekt jest taki jak dla jednego polaryzatora. Jeżeli polaryzatory skrzyżujemy (kierunki polaryzacji obu polaryzatorów będą wtedy do siebie prostopadłe), to światło przez taki układ nie przejdzie (drugi polaryzator „wyeliminuje” cały wektor świetlny). Drugi polaryzator może także zmienić kierunek polaryzacji światła, które nań pada, gdy ustawimy go tak, aby jego kierunek polaryzacji tworzył kąt pomiędzy 0 a 90 stopni. Stąd wynika, że obracając go, możemy sprawdzić, czy padające na niego światło było spolaryzowane i w jakiej płaszczyźnie (światło przechodzi lub zostaje pochłonięte). Drugi polaryzator służy zatem do badania stanu polaryzacji światła i dlatego nazywamy go analizatorem.



Rys. 2. Układ polaryzator – analizator.

Ilość światła (natężenie światła), która przechodzi przez analizator ustawiony pod dowolnym kątem do polaryzatora określa **prawo Malusa**, które mówi że natężenie światła przechodzącego przez dwa polaryzatory jest proporcjonalne do  $\cos^2\alpha$ , gdzie  $\alpha$  oznacza kąt pomiędzy kierunkami polaryzacji obu polaryzatorów.

Na przedstawionej powyżej zasadzie oparta jest budowa przyrządów zwanych **polarymetrami**. Ich podstawowymi elementami są: źródło światła monochromatycznego (jednobarwnego) i dwa polaryzatory: pierwszy zwany polaryzatorem, drugi – analizatorem.

### **Skrećanie płaszczyzny polaryzacji przez substancje optycznie czynne**

Zbudujmy najprostszy polarymetr, ustawiając w jednej linii źródło światła i dwa skrzyżowane polaryzatory: polaryzator i analizator. Taki układ, jak już wiemy, nie przepuszcza światła, gdyż kierunek polaryzacji analizatora jest prostopadły do kierunku polaryzacji polaryzatora. Jeśli między tak ustawione polaryzatory wstawimy płytkę



kwarcu lub przezroczyste naczynie z roztworem cukru, to zaobserwujemy, że ciemne uprzednio pole widzenia rozjaśni się (czyli światło przechodzi przez analizator). Oznacza to, że wstawiona między polaryzator i analizator substancja spowodowała zmianę kierunku polaryzacji przechodzącego przez nią światła (spolaryzowanego uprzednio przez polaryzator), czyli **skręcenie płaszczyzny polaryzacji**. Obracając analizator o pewien kąt (w prawo lub lewo) możemy ponownie całkowicie wygasić przechodzącą wiązkę (uzyskać całkowite zaciemnienie).

Zdolność zmiany kierunku polaryzacji przechodzącego światła nazywamy **aktywnością optyczną** a ciała je wywołujące – ciałami optycznie czynnymi (optycznie aktywnymi). Aktywność optyczną wykazuje wiele związków organicznych i nieorganicznych, zarówno w stanie stałym, jak i ciekłym (kwarc, terpentyna, nikotyna, aminokwasy, białka, kwasy nukleinowe, węglowodany). Właściwość skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła zawdzięczają budowie przestrzennej swoich cząsteczek, które nie posiadają symetrii odbiciowej (przedmiot i jego odbicie lustrzane nie są identyczne). Większość związków wykazujących tę cechę ma zazwyczaj jeden lub więcej atomów (np. węgla w związkach organicznych), do których są przyłączone co najmniej trzy różne podstawniki nie leżące w jednej płaszczyźnie. Takie związki nazywamy **enancjomerami**. Enancjomery danego związku chemicznego można rozróżnić po własnościach optycznych, bowiem skręcają płaszczyznę polaryzacji w przeciwne strony, ale zawsze o taki sam kąt.

Aktywność optyczną wykazują także roztwory substancji optycznie czynnych w cieczach optycznie nieaktywnych (taką cieczą jest woda), np. roztwór cukru w wodzie. **Kąt skręcenia  $\varphi$  płaszczyzny polaryzacji** jest proporcjonalny do grubości  $l$  warstwy roztworu oraz do stężenia  $c$  roztworu. Pomiary kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji wykorzystuje się do pomiaru zawartości cukru w soku wytłoczonym z buraków cukrowych.

Powyższą zależność można wyrazić wzorem:

$$\varphi = K \cdot c \cdot l \quad (1)$$

Współczynnik proporcjonalności  $K$  nazywamy jest **skręceniem właściwym** i zależy od rodzaju rozpuszczonej substancji, rodzaju rozpuszczalnika oraz od długości fali świetlnej. Ze względu na zależność skręcenia właściwego od długości fali światła, w pomiarach należy używać źródła światła monochromatycznego (jednobarwnego) o określonej długości fali, co najprościej spełnić przez użycie filtra monochromatycznego (pamiętamy, że zakres długości fal widma widzialnego to 380-780 nm).

Zależność kąta skręcenia od stężenia roztworu jest liniowa. Mierząc zależność kąta skręcenia w funkcji stężenia roztworu można na podstawie zależności (1) wyznaczyć skręcenie właściwe cukru. Wyznaczenie tej zależności pozwala także na pomiar nieznanego stężenia roztworu cukru za pośrednictwem pomiaru kąta skręcenia.

W technice do określenia stężenia ciał optycznie czynnych w roztworach są stosowane **polarymetry**. Te z nich, które służą do badania roztworów cukru, nazywamy **sacharymetrami**.

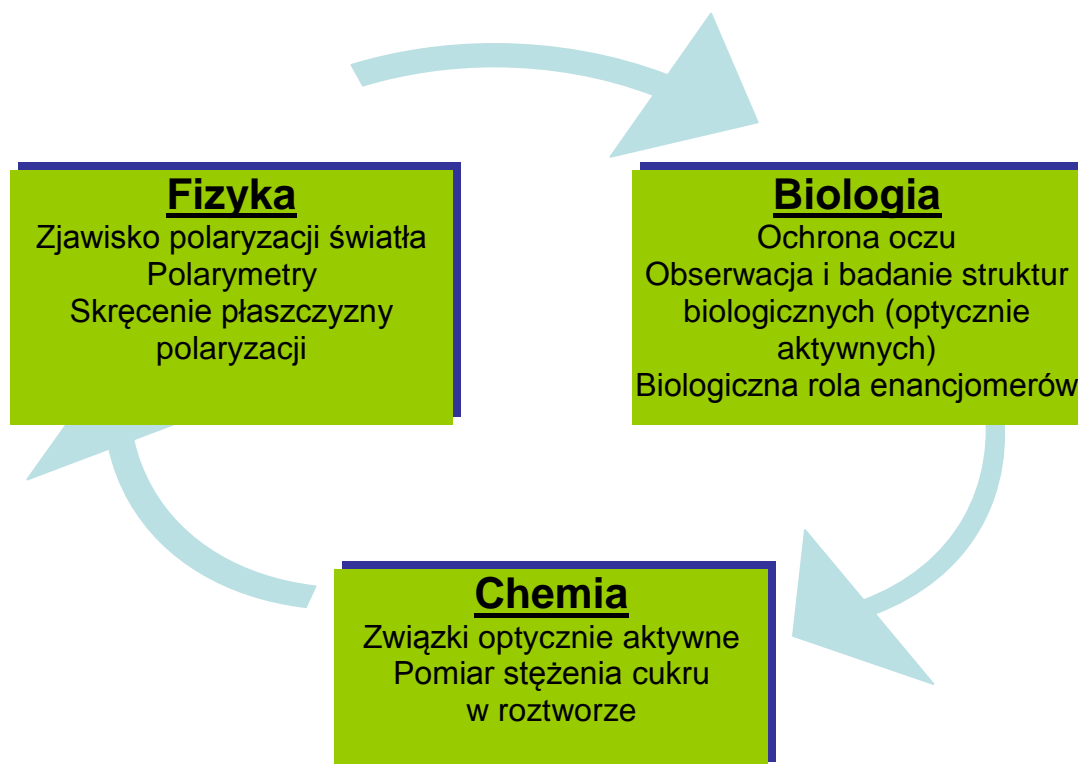
### Uzasadnienie przydatności realizacji projektu

Zjawisko polaryzacji jest wykorzystywane przez przyrodę ożywioną. Pszczoły wykorzystują je do orientacji w terenie, ośmiornice, kałamarnice – do komunikacji a głowonogi do odstraszenia drapieżników. Znajduje też wiele zastosowań praktycznych. Okulary polaryzacyjne zapobiegające pojawianiu się refleksów i poprawiające komfort widzenia (przydatne dla kierowców pojazdów mechanicznych, osób pracujących przy

ekranach monitorów) i lusterka antyodblaskowe zwiększające bezpieczeństwo, filtry fotograficzne (przyciemniają błękit nieba, zapobiegają odblaskom i umożliwiają robienie zdjęć przez szyby), folie polaryzacyjne będące ważnym elementem struktury ekranów LCD czy techniki projekcji trójwymiarowej w kinach IMAX – to tylko niektóre przykłady. Metody polaryzacyjne są powszechnie stosowane w laboratoriach badawczych i przemyśle. Mikroskopy polaryzacyjne służą do obserwacji i badania obiektów anizotropowych, optycznie czynnych: minerałów, ciekłych kryształów, elementów struktur biologicznych oraz powierzchni obiektów zabytkowych. Zjawisko polaryzacji można wykorzystać we wczesnym wykrywaniu uszkodzeń maszyn (defektoskopia). W przemyśle spożywczym pomiary stopnia skręcenia płaszczyzny polaryzacji za pomocą polarymetrów, zwanych sacharymetrami, wykorzystuje się do pomiaru zawartości cukru w soku wytłoczonym z buraków cukrowych czy trzciny cukrowej.

Polaryzacja jest wszechobecna, tak jak światło – dlatego też ludzie dążą do jak najpełniejszego wykorzystania tej właściwości fal świetlnych dla swoich potrzeb. Poznanie i zrozumienie podstawowych pojęć i zjawisk związanych z polaryzacją światła, a także obserwacja zjawiska polaryzacji w przeprowadzonych samodzielnie eksperymentach doskonale nadaje się do uzmysłowienia uczniowi, że choć nie jest zauważalna gołym okiem, to zdobywanie wiadomości o polaryzacji nie jest bezużyteczne. Różnorodność jej zastosowań powinna obudzić nie tylko ciekawość badawczą, ale zmotywować do obserwacji procesów występujących w przyrodzie i życiu codziennym. Samodzielne przeprowadzenie eksperymentów (praca w zespołach 2-3 osobowych) sprzyja praktycznemu utrwalaniu wiedzy poprzez obserwację, analizę i wnioskowanie oraz uczy pracy w zespole.

## Integracja treści przedmiotowych:



## Wykorzystanie matematyki i technologii informacyjnej:

- gromadzenie i zapisywanie informacji oraz danych uzyskiwanych podczas wykonywania kolejnych zadań,
- tworzenie tabel zestawiających wyniki uzyskanych pomiarów,
- wyznaczenie zależności kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji od stężenia roztworu,
- tworzenie prezentacji multimedialnej podsumowującej efekty pracy w laboratorium.

### Materiały i środki dydaktyczne:

- polarymetry półcieniowe;
- zestaw do wyjaśnienia zjawiska polaryzacji (różne typy polaryzatorów, laser, kryształ kalcytu, celofan, pudełko po tic-tac);
- 12 zestawów: 3 polaryzatory foliowe (polaroidy), źródło światła (lampa LED lub laser), podstawki do mocowania polaroidów/uchwyty obrotowe do mocowania polaroidów zaopatrzone w podziałkę kątową, naczynia miarowe, zlewki, rura szklana z płaskim dnem/pojemnik szklany o długości co najmniej 20 cm;
- woda destylowana, cukier;
- instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych;
- karty pracy.

### Metody pracy:

- „zabawa” polaryzatorami foliowymi – odkrywanie ich właściwości oraz cech zjawiska polaryzacji,
- sprawdzanie zjawiska podwójnego załamania (na przykładzie celofanu),
- budowa prostego polarymetru (z przygotowanych elementów) służącego do wykonania pomiarów jakościowych i ilościowych,
- samodzielne przygotowanie roztworów cukru o określonych stężeniach,

- wyznaczenie nieznanego stężenia roztworu,
- dyskusja, porównanie i wymiana wyników,
- opracowanie prezentacji z przebiegu zadań.

### **Etapy projektu:**

| <b>etap</b>        | <b>działania</b>  | <b>Czas</b>  |
|--------------------|---|--|
| <b>Organizacja</b> | - omówienie zasad bezpieczeństwa i higieny pracy ze źródłami światła (laser, dioda LED),<br>- poznanie elementów zestawów eksperymentalnych,<br>- poznanie podstaw zjawiska polaryzacji,<br>- podział na zespoły badawcze oraz ustalenie stanowisk pracy,<br>- rozdanie kart pracy.   | 40 minut   |
| <b>Planowanie</b>  | - omówienie planowanych do wykonania zadań oraz kart pracy,<br>- ustalenie kolejności i czasu wykonywania poszczególnych zadań  | 10 minut   |
| <b>Realizacja</b>  | 1. „Zabawa” zestawami polaryzatorów foliowych w celu poznania ich właściwości i cech zjawiska polaryzacji,<br>2. „zabawa” z celofanem, badanie zjawiska podwójnego załamania,<br>3. Montaż i ustawienie zestawu polarymetru,<br>4. Przygotowanie roztworu cukru o wskazanym stężeniu i napełnienie naczynia pomiarowego,<br>5. Wykonanie pomiaru zerowego dla wody destylowanej oraz kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla przygotowanego roztworu,<br>6. Wykonanie pomiaru kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla roztworu o nieznanym stężeniu,<br>7. Wyznaczenie nieznanego stężenia roztworu cukru,<br>8. Opracowanie wyników badań w formie prezentacji/dokumentu,<br>9. Dyskusja i podsumowanie. | 30 minut<br>15 minut<br>20 minut<br>20 minut<br>20 minut<br>15 minut<br>25 minut<br>60 minut<br>15 minut |
| <b>Prezentacja</b> | - karty pracy,<br>- sprawozdanie wykonane w formie prezentacji w programie Power Point lub dokumentu tekstowego,<br>- dyskusja.   | -  |
| <b>Ocena</b>       | - samoocena (uczeń),<br>- ocena opisowa (nauczyciel).   | -  |

### **Szczegółowy opis zadań na etapie realizacji projektu:**

#### **Zadanie 1**

#### **„Zabawa” zestawem polaryzatorów foliowych**

#### **Opis zadania (co robimy, dlaczego)**

Uczniowie poznają właściwości optyczne polaryzatorów foliowych. Mając do dyspozycji



trzy polaryzatory foliowe i źródło światła zbadają jakościowo przejście światła kolejno przez jeden, dwa i trzy polaryzatory. Będą mogli odpowiedzieć na pytania:

1. Jak za pomocą jednego polaryzatora odróżnić światło spolaryzowane od niespolaryzowanego?
2. Jak zachowa się wiązka światła spolaryzowanego, jeśli na jej drodze ustawimy dodatkowy polaryzator i jak zmienia się natężenie światła po przejściu przez drugi polaryzator, obracany względem pierwszego (czyli o różnym kierunku polaryzacji)?
3. Co zaobserwujemy, gdy pomiędzy dwa skrzyżowane polaryzatory (ustawione tak, by nie przepuszczały światła), wstawimy trzeci?
4. Czy światło lasera jest spolaryzowane?
5. Jak wyjaśnić te zjawiska, wykorzystując pojęcie „liniowej polaryzacji światła” i „kierunku polaryzacji polaryzatora”?

### **Możliwe trudności w czasie realizacji zadania**

Główne trudności to nieznanomość i mylenie pojęć takich jak polaryzacja, kierunek polaryzacji, kierunek rozchodzenia się światła. Wymagane jest staranne wykonanie eksperymentów z dwoma i trzema polaryzatorami, by uzyskać satysfakcjonujące odpowiedzi. Rozwiązaniem tych trudności jest dostosowanie sposobu przekazywania informacji przez prowadzącego oraz zadawanie dodatkowych pytań przez ucznia, które pomogą rozwiązać niejasności.

### **Kto wykonuje zadanie?**

Uczniowie wykonują zadanie w dwu-, trzyosobowych zespołach. 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 (w dalszej części projektu).

### **Wskazówki dla ucznia**

Należy obracać polaryzatorami względem siebie wokół kierunku rozchodzenia się wiązki światła (prostopadle do kierunku rozchodzenia się światła) i obserwować efekty na ekranie. Trzeba pamiętać, że polaryzator „usuwa” składową wektora świetlnego prostopadłą do określonego kierunku zwanego kierunkiem polaryzacji polaryzatora.

### **Oczekiwany efekt pracy ucznia**

Efektom pracy ucznia powinna być wypełniona Karta pracy 1, zawierająca odpowiedzi na postawione tam pytania. Odpowiedzi te powinny być oparte o wyniki obserwacji i analizę wykonywanych prostych doświadczeń.

### **Oczekiwania wobec nauczyciela opiekuna**

Nauczyciel powinien głównie motywować uczniów do samodzielnego wykonywania zadania oraz zachęcać do cierpliwej i spokojnej pracy. Udzielanie ewentualnych wskazówek nie powinno ograniczać ich samodzielności i kreatywności. Nauczyciel powinien być jednocześnie „otwarty” na pytania i prośby o radę, z którymi zwrócą się do niego uczniowie.

## Zadanie 2

### Podwójne załamanie w celofanie

#### **Opis zadania (co robimy, dlaczego)**

Zwykły celofan jest materiałem dwójłomnym (podobnie jak szyba szklana). Tę właściwość optyczną uzyskuje w procesach technologicznych. Podczas produkcji celofanu pojawiają się w nim naprężenia towarzyszące rozciąganiu cienkich warstwek. Uczeń przeprowadzi doświadczenie z celofanem umieszczonym pomiędzy skrzyżowanym polaryzatorem i analizatorem. W trakcie realizacji doświadczenia uczeń zapozna się ze zjawiskiem podwójnego załamania i dwójłomności oraz postara się wyjaśnić dlaczego na ekranie pojawia się cała gama fantastycznych kolorów (barwy interferencyjne) w czymś, co na co dzień jest bezbarwne.

#### **Możliwe trudności w czasie realizacji zadania**

Mogą wystąpić trudności związane z niezajomością pojęć takich jak podwójne załamanie, dwójłomność i interferencja. Precyzji wymaga też ustawienie polaryzatora i analizatora w pozycji skrzyżowanej.

#### **Kto wykonuje zadanie?**

Uczniowie wykonują zadanie w dwu-, trzyosobowych zespołach. Nie wyklucza się szukania odpowiedzi na postawione problemy badawcze podczas dyskusji w grupie.

#### **Sposób wykonania**

Zadanie to należy wykonać zgodnie z informacjami i wskazówkami zamieszczonymi w Instrukcji 2 (w dalszej części projektu).

#### **Wskazówki dla ucznia**

Wynik doświadczenia można udokumentować za pomocą aparatu fotograficznego. Analogiczne doświadczenie jak z celofanem, można wykonać także z kalcytem ( $\text{CaCO}_3$ ), naprężonymi kawałkami pleksi czy „plastikiem”, (np. wyłamanym z pudełka po tic-tac).

#### **Oczekiwany efekt pracy ucznia**

Efektom pracy ucznia powinna być wypełniona Karta pracy 2 oraz udział w dyskusji podsumowującej uzyskane rezultaty.

#### **Oczekiwania wobec nauczyciela opiekuna**

Nauczyciel powinien głównie motywować uczniów do samodzielnego wykonywania zadania oraz zachęcać do cierpliwej i spokojnej pracy. Udzielanie ewentualnych wskazówek nie powinno ograniczać ich samodzielności i kreatywności. Nauczyciel powinien być jednocześnie „otwarty” na pytania i prośby o radę, z którymi zwrócą się do niego uczniowie.

### Zadanie 3

#### Wyznaczanie kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla roztworu cukru o różnym stężeniu

##### Opis zadania

Uczniowie z dostarczonych elementów budują prosty polarymetr składający się ze źródła światła, dwu polaryzatorów liniowych (w podstawkach zawierających podziałkę kątową) i naczynia pomiarowego na badany roztwór, umieszczanego między polaryzatorami. Na skonstruowanym polarymetrze każdy zespół wykona trzy pomiary: dla wody destylowanej, dla przygotowanego samodzielnie roztworu cukru o znanym stężeniu wskazanym przez prowadzącego oraz dla roztworu o nieznanym stężeniu dostarczonym przez prowadzącego. Różnica odczytów dla roztworu cukru i dla wody destylowanej stanowić będzie wartość kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla danego roztworu.

Po wykonaniu pomiarów zespoły wymieniają się wynikami, co zwiększa liczbę danych, na podstawie których każdy zespół wyznaczy zależność kąta skręcenia od stężenia roztworu. Efektem wykonania zadania będzie odczytanie wartości nieznanego stężenia roztworu cukru  $c_x$  z wyznaczonej zależności a także obliczenie jej bezpośrednio ze wzorów:  $\varphi_1 = K \cdot c_1 l$  oraz  $\varphi_x = K \cdot c_x l$  (zależność kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji od stężenia roztworu jest liniowa) oraz porównanie otrzymanych wartości.

##### Możliwe trudności w czasie realizacji zadania

Problemy z realizacją zadania mogą być związane z nieosiowym ustawieniem wszystkich elementów polarymetru, przez które powinna przechodzić wiązka światła. Problemem może być też niejednorodny roztwór cukru (obecność w roztworze nierozpuszczonego cukru), w którym wiązka światła rozprasza się tak intensywnie, że nie dociera do analizatora i pomiar jest niemożliwy lub błędny (inne stężenie roztworu niż zadane). W takim przypadku należy powtórnie dokładnie wymieszać roztwór, lub zrobić go ponownie. Poprawne wykonanie pomiarów wymaga płukania naczynia pomiarowego przy każdej zmianie roztworu. Aby wiązka światła była lepiej widoczna na ekranie należy, o ile to możliwe, zmniejszyć oświetlenie w laboratorium.

##### Kto wykonuje zadanie?

Uczniowie wykonują zadanie w zespołach dwu-, ewentualnie trzyosobowych.

##### Sposób wykonania

Zadanie to należy wykonać zgodnie z informacjami i wskazówkami zamieszczonymi w Instrukcji 3 (w dalszej części projektu).

##### 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 kierunku tej wiązki. Odległość między nimi powinna być jak najmniejsza, ale taka, by zmieściło się między nimi naczynie pomiarowe z roztworem cukru. Naczynie pomiarowe należy płukać wodą destylowaną (oraz roztworem) przy każdej zmianie roztworu.

### **Oczekiwany efekt pracy ucznia**

Wymiernym efektem pracy ucznia będzie wypełniona Karta pracy 3, zawierająca wyniki pomiarów kąta skręcenia dla trzech przypadków: pomiaru odniesienia ( $H_2O$ ), pomiarów dla roztworów cukru o znanym oraz nieznanym stężeniu oraz wyznaczenie nieznanego stężenie  $c_x$  roztworu cukru.

### **Oczekiwania wobec nauczyciela opiekuna**

Jak w zadaniu 1.

## **Zadanie 4**

### **Opracowanie prezentacji/sprawozdania z przebiegu zadań**

#### **Opis zadania (co robimy, dlaczego)**

Uczniowie powinni wykonać samodzielnie prezentację multimedialną w programie Power Point lub sprawozdanie w dokumencie tekstowym Word (do wyboru)\*. Wykonanie prezentacji ma na celu podsumowanie ćwiczeń, sformułowanie wniosków i utrwalenie wiedzy zdobytej w trakcie przeprowadzania eksperymentów.

#### **Możliwe trudności w czasie realizacji zadania (zapobieganie, radzenie sobie z trudnościami)**

Trudność może stanowić niedostatecznie opanowana obsługa oprogramowania (Power Point, Word). Ćwiczenie wymaga także samodzielnego analizowania otrzymanych wyników i formułowania wniosków. Trudności te mogą być pokonane jedynie przez systematyczne ćwiczenia.

#### **Kto wykonuje zadanie (uczeń samodzielnie, uczniowie w parach, ...)**

Prezentacja lub sprawozdanie może być przygotowana samodzielnie lub przez te same zespoły dwu-, trzyosobowe, które wykonywały doświadczenia. Praca w zespołach umożliwi uczniom dodatkową dyskusję uzyskanych wyników.

#### **Sposób wykonania**

Zadanie to należy wykonać zgodnie z wytycznymi zamieszczonymi w Instrukcji nr 4 przygotowanej dla uczniów wykonujących zadanie. Instrukcja została umieszczona w dalszej części opracowania.

#### **Wskazówki dla ucznia**

Prezentacja powinna przedstawiać wszystkie wykonywane zadania. Temat każdego zadania powinien być jasno sprecyzowany. Opis zadania powinien zawierać bardzo krótki opis doświadczenia, obserwacje oraz wyniki i wnioski z przeprowadzonych eksperymentów. Wyniki można zestawić w formie tabel, rysunków czy fotografii.

#### **Oczekiwany efekt pracy ucznia**

Efektom pracy uczniów będzie wykonanie prezentacji multimedialnej lub sprawozdania.

#### **Oczekiwania wobec nauczyciela opiekuna**

Uczniowie powinni pracować samodzielnie, konsultując między sobą uzyskane wyniki.

Nauczyciel może ukierunkować uczniów stawiając pytania lub udzielając drobnych wskazówek. Nie powinien ograniczać kreatywności uczniów ani narzucać jednego rozwiązania. Prezentacje/sprawozdania powinny być skopiowane przez nauczyciela, przedyskutowane i ocenione. Wystawiona ocena powinna być uzasadniona.

*\* Wybór należy do uczniów. Alternatywa związana jest z umiejętnością korzystania z programów Power Point i Word.*



## Instrukcja nr 1 „Zabawa” zestawem polaryzatorów foliowych

### 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 ilość/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  $0^\circ$  do  $90^\circ$ .
4. Co obserwujesz? Oceń, kiedy światło jest spolaryzowane? Określ płaszczyznę polaryzacji obu polaryzatorów.

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**  
**Podwójne załamanie w celofanie**

1. Zbuduj „układ” składający się z dwóch polaryzatorów i źródła światła niespolaryzowanego (równoległa wiązka światła np. z rzutnika).
2. Ustaw polaryzator i analizator w pozycji skrzyżowanej; pole widzenia jest ciemne.
3. Pomiędzy skrzyżowanym polaryzátorem i analizátorem umieść pasek celofanu.
4. Co obserwujesz?
5. Pomiędzy skrzyżowanym polaryzátorem i analizátorem umieść kawałek zmiętego celofanu.
6. Co obserwujesz w tym przypadku?
7. Uzupełnij kartę pracy, zapisz obserwacje. Wynik doświadczenia możesz udokumentować za pomocą aparatu fotograficznego.

### Instrukcja nr 3

#### Wyznaczenie kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla roztworu cukru o różnym stężeniu

1. Z dostarczonych elementów zbuduj polarymetr składający się z polaryzatora i analizatora (polaryzatory foliowe) oraz źródła światła monochromatycznego (laser zielony). Odległość między polaryzátorem i analizátorem powinna być jak najmniejsza ale taka, by zmieściło się między nimi naczynie pomiarowe/kuweta z badanym roztworem.
2. Ustaw polaryzatory foliowe tak, by ich płaszczyzny były do siebie równoległe i znajdowały się na drodze przebiegu wiązki światła (prostopadle do kierunku wiązki światła).
3. Polaryzator i analizator ustaw tak, aby nie przepuszczały światła (na ekranie otrzymamy ciemne pole widzenia).
4. W cylindrze miarowym przygotuj  $100 \text{ cm}^3$  (100 ml) roztworu cukru o znanym stężeniu (wartość stężenia podaje prowadzący). W tym celu oblicz, ile cukru jest potrzebne do otrzymania roztworu o tym stężeniu. Określoną ilość cukru odważ na wadze, wsyp ją do cylindra miarowego, uzupełnij wodą destylowaną do objętości 100 ml i roztwór dokładnie wymieszaj. Upewnij się, że na dnie nie ma nierozpuszczonych kryształków cukru. Cylinder z roztworem odstaw na bok.
5. Napełnij naczynie pomiarowe/kuwetę wodą destylowaną (w kuwecie nie powinno być pęcherzyków powietrza) i umieść w polarymetrze (między polaryzátorem i analizátorem). Znajdź takie położenie analizatora (poprzez obrót jego ramki), w którym nie przepuszcza on światła (ustawianie „na ciemność”) i na jego skali kątowej odczytaj wskazanie (kąt). Będzie to **położenie zerowe analizatora**.
6. W celu wyeliminowania błędu, pomiary położenia zerowego wykonaj trzykrotnie, za każdym razem zmieniając położenie analizatora i szukając położenia, w którym nie przepuszcza on światła. Oblicz średnią wartość położenia zerowego  $\alpha_{\text{sr}}$ . Ten i następane pomiary zapisz w tabeli (Karta pracy do zadania 3).
7. Z kuwety wylej wodę destylowaną i napełnij ją samodzielnie przygotowanym roztworem cukru o znanym stężeniu (**uwaga: przy każdej zmianie roztworu kuwetę należy płukać wodą destylowaną a następnie dwukrotnie niewielką ilością roztworu o tym stężeniu**).
8. Umieść kuwetę z roztworem cukru w polarymetrze. Na ekranie zaobserwujesz rozjaśnienie pola widzenia. Wstawienie kuwety z roztworem cukru spowodowało skręcenie płaszczyzny polaryzacji, dlatego należy ponownie, poprzez obrót analizatora, ustawić go na „ciemność”. Pomiar powtórz trzykrotnie i oblicz średnią wartość odczytów  $\beta_{\text{sr}}$ . Kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji to:  $\varphi = \alpha_{\text{sr}} - \beta_{\text{sr}}$ .
9. Przelej roztwór cukru z kuwety do cylindra miarowego i podaj prowadzącemu zajęcia. Po otrzymaniu roztworu o nieznanym stężeniu wykonaj pomiary jak w punktach 7-8 (bez powtórnego wyznaczania punktu zerowego  $\alpha_{\text{sr}}$ ).
10. Uporządkuj stanowisko pracy.
11. Po wykonaniu swoich pomiarów, uzupełnij tabelę o wyniki pomiarów kąta skręcenia dla innych roztworów cukru o znanych stężeniach, uzyskane przez pozostałe zespoły (Karta pracy do zadania 3).
12. Na podstawie danych z tabeli wykonaj wykres zależności kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji od stężenia roztworu.
13. Odczytaj z wykresu nieznaną wartość stężenia otrzymanego roztworu  $c_x$ .
14. Spróbuj także obliczyć nieznaną wartość stężenia otrzymanego roztworu  $c_x$  z zależności:  $\varphi_1 = K \cdot c_1 l$  oraz  $\varphi_x = K \cdot c_x l$  (zależność kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji od stężenia roztworu jest liniowa). Porównaj otrzymane wartości.
15. Wypełnij kartę pracy.

## Instrukcja nr 4

### Opracowanie prezentacji/sprawozdania z przebiegu zadań

Na podstawie wypełnionych kart pracy przygotuj prezentację multimedialną lub sprawozdanie w dokumencie tekstowym podsumowującą projekt.

Pamiętaj, aby w prezentacji podać:

- temat każdego doświadczenia,
- krótki jego opis,
- wyniki i obserwacje dotyczące wykonanych doświadczeń (można zamieścić zdjęcie lub rysunek),
- wnioski wynikające z przeprowadzonych doświadczeń.

Dane liczbowe (stężenia roztworów, kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji) wyznaczone w zadaniu 3 należy zestawić w odpowiednio opisanej tabeli.

Szczególnie istotne jest wyjaśnienie na czym polega polaryzacja i jak można odróżnić światło spolaryzowane od niespolaryzowanego, jak je otrzymać oraz wykorzystać.

Czas na realizację zadania jest stosunkowo krótki, zatem należy dobrze rozplanować realizację poszczególnych elementów prezentacji, żeby znalazły się w niej najważniejsze elementy.

**Załączniki – karty pracy do ćwiczeń 1-3.**

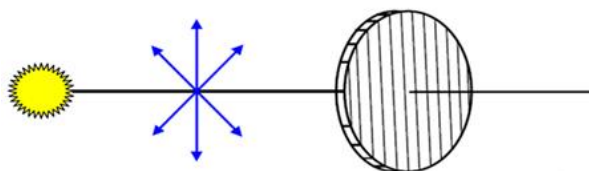
## KARTA PRACY DO ZADANIA 1

### „Zabawa” zestawem polaryzatorów foliowych

#### Doświadczenie 1

Jakie zmiany widzisz, gdy obserwujesz otoczenie przez polaryzator?

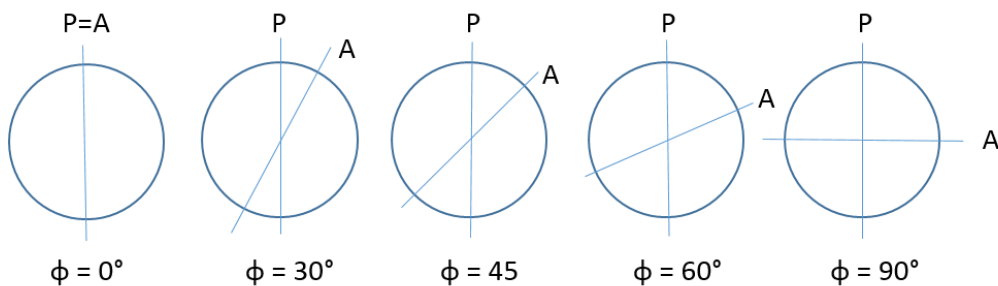
Narysuj schematycznie przejście światła niespolaryzowanego przez polaryzator.



Światło przechodząc przez jeden polaryzator jest światłem .....

#### Doświadczenie 2

Na poniższym rysunku zacieniuj obraz (od jasnej do barwy ciemnej), który widzi obserwator po przejściu światła przez układ polaryzator-analizator (z pozycji za analizatorem w kierunku źródła światła).



Kiedy światło przechodzi bez osłabienia?

Jak należy ustawić dwa polaryzatory, aby uzyskać całkowite wygaszenie światła?

#### Doświadczenie 3

Co obserwujesz jeśli między dwa polaryzatory ustawione w pozycji skrzyżowanej (tak, aby nie przepuszczały światła) wstawisz trzeci polaryzator? Dlaczego?



## KARTA PRACY DO ZADANIA 2

### Podwójne załamanie w celofanie

Co zaobserwowałeś, gdy pomiędzy dwoma kolejno skrzyżowanymi polaryzatorami, przez które przechodzi wiązka światła, umieściłeś pasek celofanu?

Co zaobserwowałeś, gdy pomiędzy skrzyżowane polaryzatory wstawiłeś kawałek zmiętego celofanu lub pudełka po tic-tac?

Obserwacje udokumentuj, np. zdjęciem. Wyjaśnij powstałe zjawiska.

## KARTA PRACY DO ZADANIA 3

### Wyznaczenie kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji dla roztworu cukru o różnym stężeniu

**Tabela 1**

| Rodzaj roztworu                    | Odczyt położenia zerowego analizatora $\alpha$ [°] | Średnia wartość położenia zerowego analizatora $\alpha_{sr}$ [°] | Odczyt kąta skręcenia $\beta$ [°] | Średnia wartość kąta skręcenia $\beta_{sr}$ [°] | Poprawiona wartość kąta skręcenia $\varphi = \beta_{sr} - \alpha_{sr}$ [°] | Stężenie roztworu cukru $c$ [g/100cm <sup>3</sup> ] |
|------------------------------------|--|--|-----------------------------------|---|--|---|
| Woda destylowana                   |  |  |                                   |   |  | <b>0</b>  |
|                                    |  |  |                                   |   |  |   |
|                                    |  |  |                                   |   |  |   |
| Roztwór o znanym stężeniu $c$      |  |  |                                   |   |  |   |
|                                    |  |  |                                   |   |  |   |
|                                    |  |  |                                   |   |  |   |
| Roztwór o nieznanym stężeniu $c_x$ |  |  |                                   |   |  | <b>?<br/>Wynik odczytany z wykresu</b>              |
|                                    |  |  |                                   |   |  |   |
|                                    |  |  |                                   |   |  |   |

Tabelę 2 uzupełnij wynikami własnymi oraz uzyskanymi przez pozostałe zespoły (z tabeli 1) dla roztworów cukru o znanym stężeniu (stężenie cukru uporządkuj rosnąco):

**Tabela 2**

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

Na podstawie danych z tabeli 2 wykonaj wykres zależności kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji od stężenia roztworu i odczytaj z niego nieznaną wartość stężenia roztworu własnego  $c_x$ .

Oblicz także nieznaną wartość stężenia otrzymanego roztworu  $c_x$  z zależności:  $\varphi_1 = K \cdot c \cdot l$  oraz  $\varphi_x = K \cdot c_x \cdot l$  (wykorzystaj dane własne z Tabeli 1). Obliczenia wykonaj poniżej. Pamiętaj o odpowiednich zaokrągleniach. Wynik wpisz do Tabeli 1. Porównaj uzyskane wyniki.

| OBLICZENIA |
|------------|
|            |

