

## ZJAWISKO SKRĘCENIA PŁASZCZYZNY POLARYZACJI ŚWIATŁA

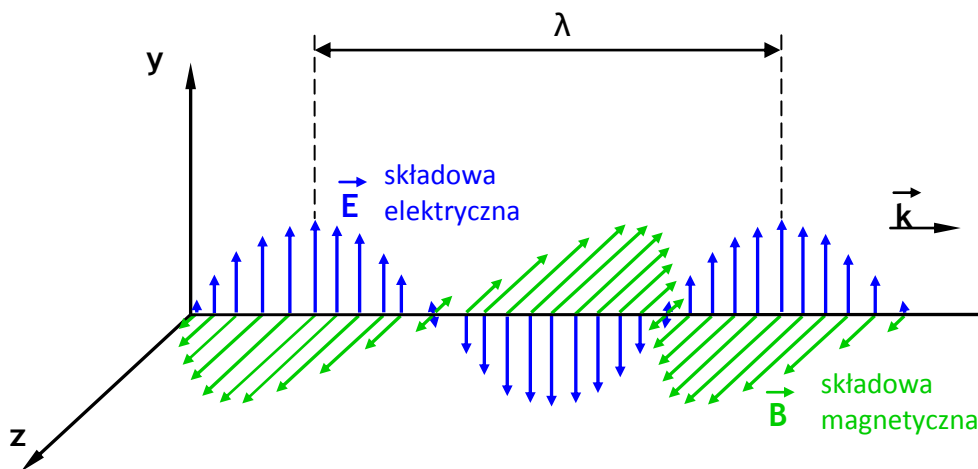
### 1. Podstawy fizyczne

W zjawisku dyfrakcji, interferencji i polaryzacji światło zachowuje się jak fala elektromagnetyczna, czyli rozchodzący się w przestrzeni ciąg zmiennych pól elektrycznych i magnetycznych. Fala elektromagnetyczna opisana jest przez wektor natężenia pola elektrycznego ( $\vec{E}$ ), wektor indukcji pola magnetycznego ( $\vec{B}$ ) oraz wektor falowy ( $\vec{k}$ ) określający kierunek rozchodzenia się fali,  $|\vec{k}| = \frac{2\pi}{\lambda}$  gdzie  $\lambda$  jest długością fali. Wektory  $\vec{E}$ ,  $\vec{B}$  i  $\vec{k}$  są do siebie wzajemnie prostopadłe, a zatem fala elektromagnetyczna jest falą poprzeczną. Natężenie pola elektrycznego i indukcję pola magnetycznego możemy zapisać jako sinusoidalne funkcje położenia  $x$  (wzdłuż kierunku rozchodzenia się fali) i czasu  $t$ :

$$E(x,t) = E_0 \sin(\omega t - kx + \delta) \quad (1)$$

$$B(x,t) = B_0 \sin(\omega t - kx + \delta)$$

gdzie  $\omega$  oznacza częstość kołową, a  $\delta$  fazę początkową.

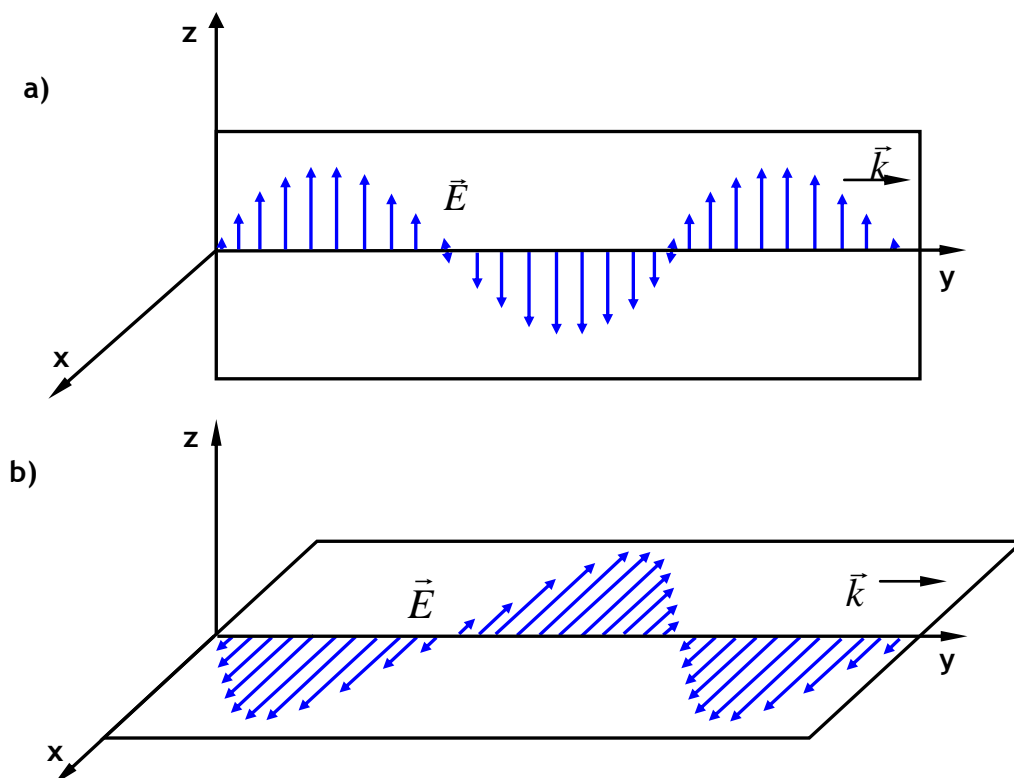


Rys. 1. Obraz fali elektromagnetycznej rozchodzącej się wzdłuż osi  $x$ .

Ponieważ za wszystkie zjawiska optyczne odpowiedzialny jest wektor natężenia pola elektrycznego, przyjęto opisywać fale elektromagnetyczne wektorem natężenia pola elektrycznego  $\vec{E}$  i nazwano go wektorem świetlnym. Fale elektromagnetyczne wysyłane przez zwykłe źródła światła takie jak Słońce czy żarówka są niespolaryzowane. Oznacza to, że wektor natężenia pola elektrycznego jest zawsze prostopadły do kierunku rozchodzenia się fal, ale może on drgać we wszystkich możliwych płaszczyznach, w których leży kierunek jego rozchodzenia się.

Światło może być spolaryzowane liniowo, kołowo lub eliptycznie. Polaryzacja liniowa ma miejsce, gdy drgania wektora natężenia pola elektrycznego zachodzą tylko w jednej płaszczyźnie, która nie zmienia w czasie swej orientacji w przestrzeni (rys.2). Inaczej mówiąc płaszczyzna drgań wektora  $\vec{E}$  jest ta sama wzdłuż całego promienia.

Jeśli koniec wektora natężenia pola elektrycznego  $\vec{E}$ , porusza się po linii śrubowej kołowej lub eliptycznej mówimy o świetle spolaryzowanym kołowo lub eliptycznie.



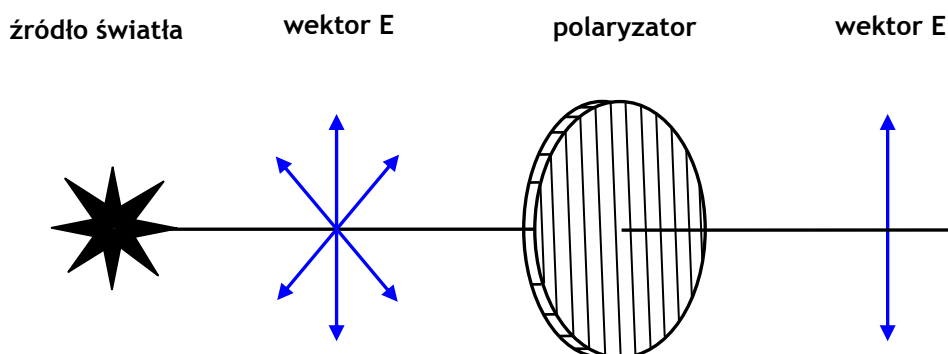
Rys. 2. Fala spolaryzowana liniowo, wektor  $\vec{E}$  drga w płaszczyźnie: a)  $yz$ , b)  $xy$ .

### 1.1 Metody wytwarzania światła liniowo spolaryzowanego

Światło spolaryzowane liniowo można otrzymać za pomocą polaroidów czyli błon polaryzujących, polaryzatorów odbiciowych oraz polaryzatorów dwójtłomnych.

#### a) Polaryzacja za pomocą polaroidów

Najczęściej stosowany polaroid H można otrzymać ogrzewając a następnie szybko rozciągając przezroczystą błonę z alkoholu poliwinylowego. Podczas procesu wydłużania większość długich cząsteczek polimeru jakim jest alkohol poliwinylowy, rozmieszczonych początkowo zupełnie chaotycznie, obraca się i układa niemal wzdłuż tego samego kierunku a mianowicie w kierunku siły wydłużającej. Następnie błonę zanurza się w roztworze bogatym w jod. Atomy jodu przenikają do warstwy ułożonej z alkoholu poliwinylowego. Dzięki temu atomy jodu układają się również w łańcuchy podobne do łańcuchowych cząsteczek polimeru. Prawie równoległe do siebie łańcuchy nasycone jodem, dzięki dobremu przewodnictwu jodu silnie pochłaniają drgania elektryczne zachodzące w kierunku do nich równoległym. Drgania w kierunku prostopadłym do łańcuchów cząsteczek zostają przepuszczone praktycznie bez strat energii.

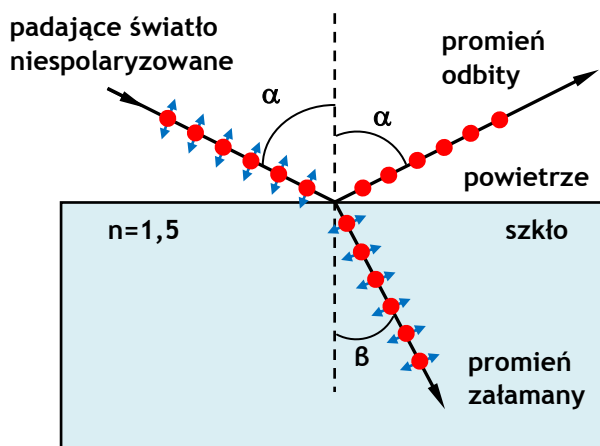


Rys. 3. Polaryzacja wiązki światła niespolaryzowanego przy użyciu filtru polaryzacyjnego.

## b) Polaryzacja przez odbicie

Światło spolaryzowane można uzyskać również przez odbicie od powierzchni dielektryka. Jednak wiązka odbita na ogół nie jest spolaryzowana całkowicie. Polaryzację całkowitą wiązki odbitej można uzyskać jedynie dla jednej wartości kąta padania. Kąt ten nosi nazwę **kąta Brewstera** [czytaj **brjustera**]. Dla kąta Brewstera, wiązka odbita i załamana tworzą ze sobą kąt  $90^\circ$ .

$$\alpha + \beta = 90^\circ \quad (2a)$$



**Rys. 4. Polaryzacja światła przez odbicie od szklanej płytki. Składową pola  $E$  prostopadłą do płaszczyzny kartki oznaczono czerwoną kropką, a równoległą niebieską strzałką.**

Na rys. 4 przedstawiono rozchodzący się w powietrzu promień światła niespolaryzowanego, który pada na szklaną powierzchnię pod kątem Brewstera. Pole elektryczne fali wzdłuż promienia zostało rozłożone na składowe: prostopadłą do płaszczyzny kartki (płaszczyzny padania, odbicia i załamania) i równoległą do płaszczyzny kartki. Światło odbite zawiera tylko składową prostopadłą i wobec tego jest spolaryzowane w tym kierunku. Światło załamane zawiera pierwotne składowe równoległe do płaszczyzny kartki, a także składowe prostopadłe o mniejszym natężeniu; to światło jest częściowo spolaryzowane.

Zgodnie z prawem załamania i po uwzględnieniu zależności (2a) mamy:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \quad (2b)$$

gdzie  $n$  nazywamy bezwzględny współczynnik załamania szkła.

Stąd po przekształceniu:

$$\alpha = \arctg n \quad (2c)$$

Wzór ten nosi nazwę prawa Brewstera odkrytego w 1812 r. przez Dawida Brewstera.

Zjawisko to wykorzystuje się do polaryzacji światła przez odbicie oraz do bezodbiciowego przechodzenia światła spolaryzowanego w elementach optycznych zwanych **okienkami Brewstera**, stosowanych często w laserach. Polaryzację przez odbicie można wyjaśnić następująco. Światło pobudza do drgań atomy materiału, na który pada. Pobudzone do drgań atomy wysyłają falę elektromagnetyczną odbitą. Ale tylko te drgania, które są prostopadłe do płaszczyzny padania mogą dać swój wkład. Te, które leżą w płaszczyźnie padania, nie mają składowych poprzecznych do kierunku obserwacji i dlatego nie mogą być emitowane w tym kierunku (fala elektromagnetyczna jest falą poprzeczną).

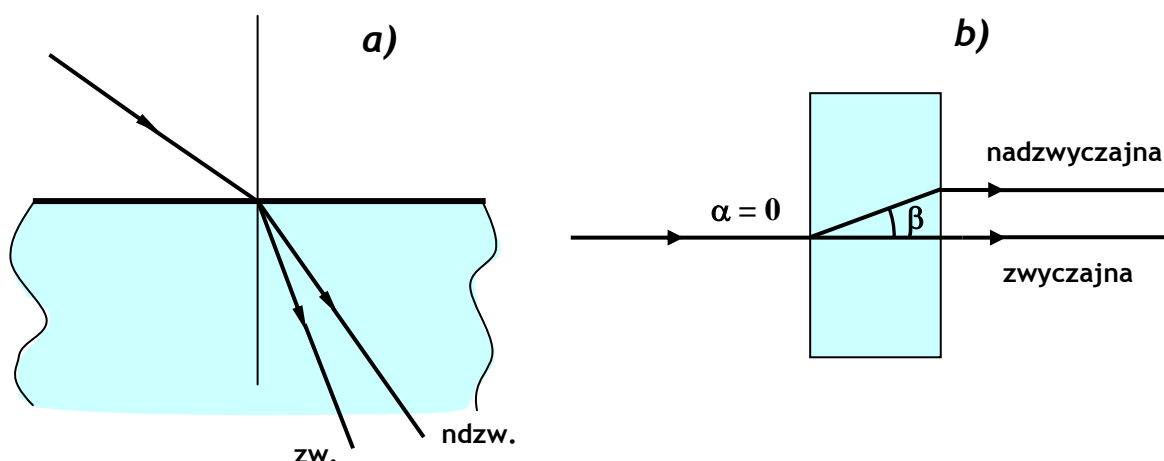
## c) polaryzacja za pomocą polaryzatorów dwójłomnych

Światło spolaryzowane można również uzyskać wykorzystując zjawisko podwójnego załamania, które ma miejsce w pewnej grupie kryształów zwanych kryształami dwójłomnymi. Kryształy dwójłomne mają właściwość rozdzielania padającej wiązki na dwie wiązki załamane, tak jak pokazuje rysunek 5.

Własności wiązek załamanych są następujące:

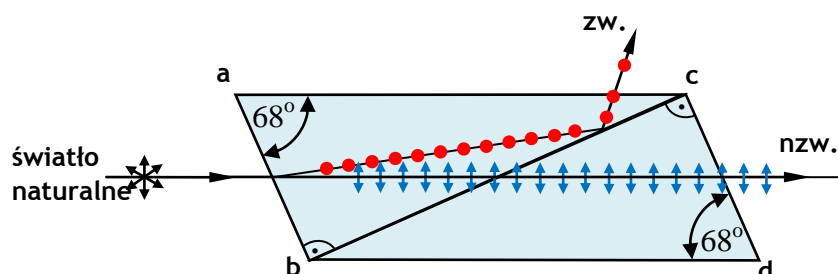
1. Obie wiązki załamane mogą rozchodzić się w różnych kierunkach.
2. Prędkości rozchodzenia obu wiązek są różne.
3. Każda wiązka jest całkowicie spolaryzowana liniowo.
4. Kierunki drgań wektora natężenia pola elektrycznego w obu wiążkach są do siebie wzajemnie prostopadłe.

Jedna z fal ma zawsze stałą prędkość niezależną od tego, w jakim kierunku rozchodzi się w kryształach. Wiązka ta ma zatem stały współczynnik załamania i spełnia prawo załamania. Jest to tak zwana **wiązka zwyczajna**. Dla drugiej wiązki zwanej **nadzwyczajną**, prędkość fali jest różna i zależy od kierunku w którym ta fala rozchodzi się w kryształach. Stosunek  $\sin\alpha/\sin\beta$  dla różnych kątów padania  $\alpha$  nie ma dla fali nadzwyczajnej stałej wartości i traci on dla tej wiązki sens fizyczny. Świadczy o tym przykład przedstawiony na rys. 5b, gdy światło pada prostopadłe na powierzchnię kryształu.



Rys. 5. Podwójne załamanie wiązki w kryształach dwójłomnych.

Problem otrzymania światła liniowo spolaryzowanego przy wykorzystaniu ciał dwójłomnych polega na znalezieniu metody usunięcia jednego z promieni załamanych.



Rys. 6. Bieg wiązki światła w pryzmacie Nicol'a (oznaczenia jak na rysunku 4)

Jednym z najbardziej znanych polaryzatorów dwójłomnych jest polaryzator skonstruowany w 1828 roku przez szkockiego fizyka Williama Nicol'a (rys. 6). W pryzmacie tym wykorzystuje się zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia. Gdy światło rozchodzące się w ośrodku o współczynniku załamania  $n_1$  pada na granicę z ośrodkiem o współczynniku załamania  $n_2$ , takim że  $n_2 < n_1$ , to przechodzi z ośrodka gęstszego do rzadszego, zgodnie z prawem

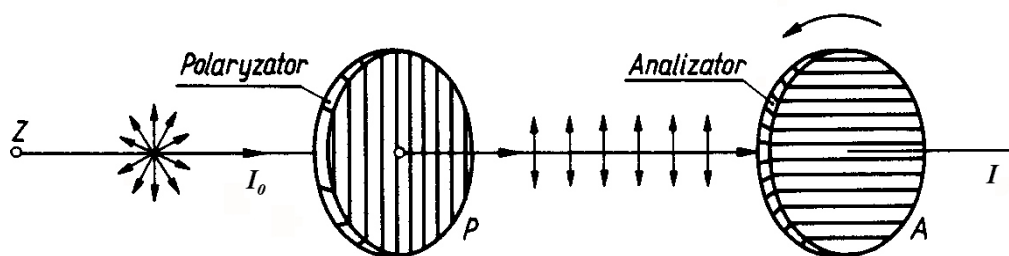
załamania mamy  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$ , i kąt załamania  $\beta$ , jest większy od kąta padania  $\alpha$ . Przy pewnym kącie

padania  $\alpha_{gr}$ , zwanym granicznym, kąt załamania  $\beta$  jest równy  $90^\circ$  i promień załamany ślizga się po powierzchni granicznej dwóch ośrodków. Dla kątów padania większych od  $\alpha_{gr}$  światło przestaje przechodzić przez granicę ośrodków i ulega **całkowitemu wewnętrznemu odbiciu**.

Pryzmat Nicola (zwany **nikolem**) to kryształ naturalnego kalcytu ( $\text{CaCO}_3$ ), który szlifuje się pod kątem  $68^\circ$ , przecina wzdłuż przekątnej b-c, (rys. 6) po czym obie połówki skleja się balsamem kanadyjskim o współczynniku załamania 1,54. Promień świetlny padający na nikol równolegle do krawędzi "b-d" rozdziela się na promień zwyczajny (zw) o współczynniku załamania w kalcytcie 1,66 oraz na promień nadzwyczajny (nzw) o współczynniku załamania 1,49. **Promień zwyczajny** pada na powierzchnię kalcyt - balsam pod kątem **większym od granicznego**, a trafiając na ośrodek optycznie rzadszy (o mniejszym współczynniku załamania - balsam kanadyjski) ulega **całkowitemu wewnętrznemu odbiciu** i zostaje pochłonięty przez zaczernione ścianki nikola. **Promień nadzwyczajny** przechodzi przez balsam (optycznie gęstszy) i wychodzi z nikola nieco osłabiony i spolaryzowany liniowo.

## 1.2. Zjawisko aktywności optycznej

Do obserwacji kierunku polaryzacji należy posłużyć się układem dwóch polaryzatorów. W takim układzie światło niespolaryzowane przechodzi przez pierwszy **polaryzator** polaryzujący światło liniowo, a następnie przez drugi polaryzator zwany **analizatorem**. Jeżeli kierunki polaryzacji polaryzatora i analizatora są do siebie prostopadłe, to światło przez taki układ nie jest przepuszczane.



Rys. 7. Układ polaryzator - analizator o prostopadłych kierunkach polaryzacji.

### a) Naturalna aktywność optyczna.

Jeśli między polaryzator i analizator o prostopadłych kierunkach polaryzacji wstawimy kawałek kwarcu lub roztwór cukru, zauważymy, że ciemne poprzednio pole widzenia rozjaśni się, jednak po obrocie o pewien kąt analizatora możemy wiązkę przechodzącą całkowicie wygasić. Wnioskujemy stąd, że substancja skręca płaszczyznę polaryzacji. Kąt skręcenia płaszczyzny drgań jest równy kątowi o jaki należy skrócić analizator aby uzyskać wygaszenie wiązki po wstawieniu substancji pomiędzy polaryzatory. Ciała zachowujące się w ten sposób nazywamy **ciałami optycznie czynnymi**, a samo zjawisko nazywamy **aktywnością optyczną**.

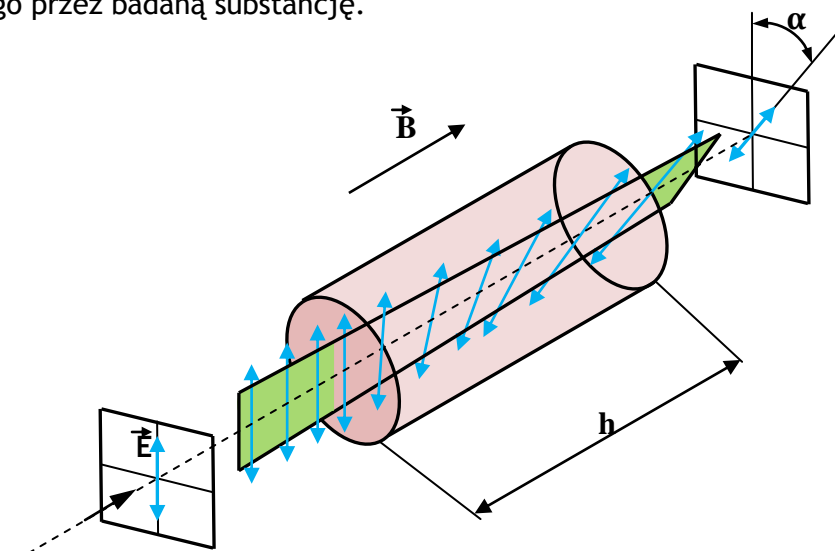
Aktywność optyczną wykazują kryształy i ciecze np. terpentyna, nikotyna. Aktywność optyczną wykazują też roztwory ciał stałych w cieczach optycznie nieczynnych np. roztwór cukru w wodzie. Kąt skręcenia płaszczyzny drgań ( $\alpha$ ) jest proporcjonalny do **stężenia roztworu (c)** oraz do **grubości warstwy roztworu (h)**. Tak więc:

$$\alpha = \gamma \cdot c \cdot h \quad (3)$$

Współczynnik  $\gamma$  nazywamy **skręceniem właściwym** lub **zdolnością skręcającą roztworu**. Skręcenie właściwe zależy od długości fali padającego światła. Zjawisko zależności skręcenia właściwego od długości fali światła nosi nazwę **dyspersji skręcenia płaszczyzny drgań**. Na ogół skręcenie właściwe  $\gamma$  maleje wraz ze wzrostem długości fali światła.

## b) Aktywność optyczna wywołana polem magnetycznym. Zjawisko Faradaya.

Zjawisko aktywności optycznej może też być wymuszone niektórymi czynnikami fizycznymi jak np. polem magnetycznym. Ciała, które w nieobecności pola magnetycznego nie są aktywne optycznie, po umieszczeniu w polu magnetycznym skręcają płaszczyznę polaryzacji. Zjawisko to zostało odkryte przez **Michaela Faradaya w 1845 roku**, który ustalił, że kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji jest proporcjonalny do wartości indukcji pola magnetycznego  $B$  i do długości drogi  $h$  światła przechodzącego przez badaną substancję.



Rys 8. Skręcenie płaszczyzny polaryzacji pod wpływem pola magnetycznego.

Skręcenie płaszczyzny polaryzacji zależy od kąta pomiędzy kierunkiem rozchodzenia światła a kierunkiem wektora indukcji magnetycznej. Jest ono największe, gdy światło biegnie równoległe do kierunku wektora indukcji magnetycznej. Kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji w zjawisku Faradaya dla przypadku **równoległego kierunku** rozchodzenia się światła do kierunku wektora indukcji magnetycznej  $B$  można zapisać wzorem fenomenologicznym:

$$\alpha = V \cdot h \cdot B \quad (4a)$$

gdzie:  $\alpha$  - kąt skręcenia (w radianach),  $B$  - indukcja magnetyczna (w teslach),  $h$  - długość próbki (w metrach),  $V$  - stała Verdet.

Wartość stałej Verdet zależy bardzo silnie od długości fali świetlnej. Zależy ona również od gęstości ośrodka oraz od temperatury. Silna zależność stałej Verdet od długości fali powoduje konieczność używania w pomiarach światła monochromatycznego. Zjawisko Faradaya jest wykorzystywane w technice laserowej oraz do modulacji światła, jak na przykład w tzw. migawkach magneto-optycznych i urządzeniach przepuszczających światło w jednym kierunku, a przeciwnym nie.

Dokładne przedstawienie teorii zjawiska Faradaya wymaga przeanalizowania ruchu elektronów w substancji przez którą przechodzi światło i na które działa dodatkowo siła Lorentza pochodząca od zewnętrznego pola magnetycznego  $B$ . Ten wymuszony przez pole  $B$  w obecności fali elektromagnetycznej ruch elektronów zmienia własności dielektryczne substancji a tym samym wpływa na zmianę współczynnika załamania, gdyż  $n = \sqrt{\epsilon}$ , gdzie  $n$  - współczynnik załamania oraz  $\epsilon$  - względna przenikalność dielektryczna substancji. Z teorii zjawiska Faradaya wynika, że stała Verdet wyraża się wzorem:

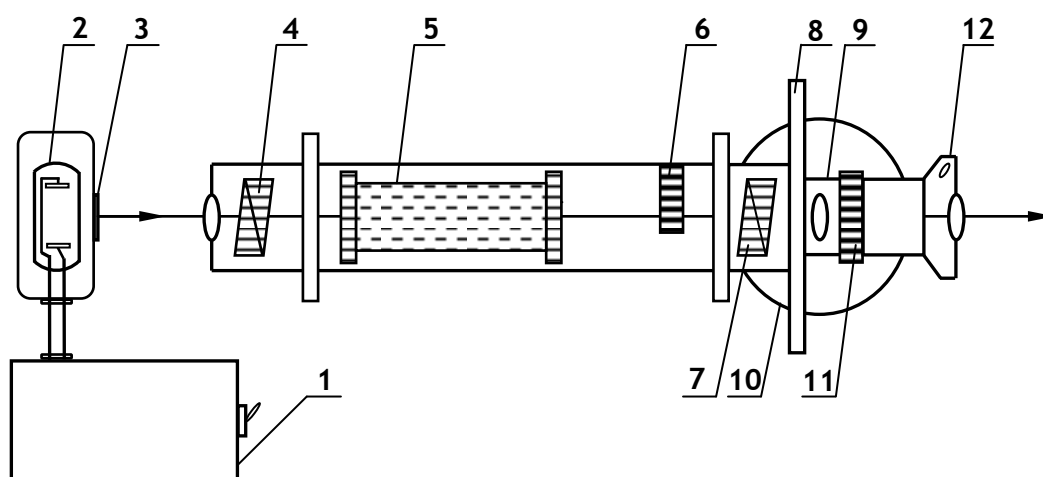
$$V = \frac{e}{2m_e} \cdot \frac{\lambda}{c} \cdot \left| \frac{dn}{d\lambda} \right| \quad (4b)$$

gdzie:  $m_e$  - masa elektronu,  $c$  - prędkość światła,  $\left| \frac{dn}{d\lambda} \right|$  - zmiana współczynnika załamania względem długości fali. Jeśli znana jest zależność współczynnika załamania od długości fali, wzór ten może posłużyć do obliczenia stosunku  $e/m_e$  dla elektronu.

Zasada pomiaru kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji

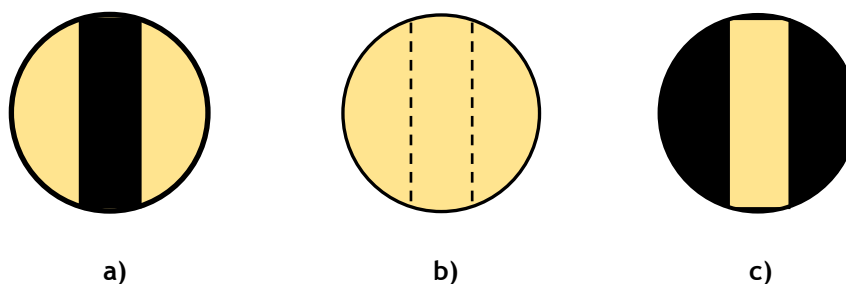
Układ dwóch nikoli, polaryzatora i analizatora, stanowi podstawę budowy polarymetru, przyrządu do pomiaru kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji. Jeśli polaryzator i analizator, o prostopadłych kierunkach polaryzacji oświetlimy światłem monochromatycznym, wówczas światło ulega całkowitemu wygaszeniu. Po wstawieniu ciała optycznie czynnego między nikole obraz ulegnie rozjaśnieniu. Całkowite wygaszenie obrazu uzyskamy obracając analizator o kąt równy kątowi skręcenia płaszczyzny polaryzacji przez kryształ optycznie czynny.

Układ ten mimo prostoty ma tę zasadniczą wadę, że dokładność wyznaczenia położenia całkowitego wygaszenia jest bardzo mała. Obecnie do pomiaru kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji używamy prawie wyłącznie polarymetrów półcieniowych. Ponieważ oko doskonale rozróżnia kontrasty sąsiadujących ze sobą obszarów słabo oświetlonych, właściwym położeniem analizatora jest pole widzenia słabo (ale równo) oświetlone. Stąd nazwa - polarymetr półcieniowy. Schemat polarymetru półcieniowego jest przedstawiony na rys.9. Światło lampy sodowej (2) przechodzi przez polaryzator (4), a następnie przez ośrodek skręcający płaszczyznę polaryzacji (5 - kuweta z roztworem cukru lub pręt szklany umieszczony w polu magnetycznym) i drugi polaryzator-analizator (7). Obserwacje prowadzimy przez lunetkę (9).



Rys. 9. Schemat polarymetru: 1- zasilacz lampy, 2- lampa sodowa, 3- matówka, 4- polaryzator, 5- kuweta z roztworem cukru (pręt szklany), 6- płytka półcieniowa, 7- analizator, 8- obrotowy kątomierz z noniuszem do odczytu kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji, 9- lunetka, 10- pokrętło do regulacji kątomierza, 11- pokrętło do ustawiania ostrości obrazu, 12- soczewka do odczytywania kąta z kątomierza.

W polarymetrze półcieniowym używanym w tym ćwiczeniu, między polaryzator i analizator wstawiono płytkę półcieniową, zastępującą środkowy pasek pola widzenia. Analizator ustawiamy tak aby pasek środkowy i pozostała część pola widzenia były jednakowo oświetlone (rys. 10b). **Właściwe ustawienie analizatora jest wówczas, gdy niewielka zmiana kąta powoduje pojawienie się cienia na zewnątrz lub w środku pola widzenia.**



Rys.10. Obrazy w polarymetrze półcieniowym.

Mierząc zależność kąta skręcenia w funkcji stężenia roztworu lub w funkcji indukcji magnetycznej  $B$  można na podstawie zależności (3) lub (4a) wyznaczyć skręcenie właściwe cukru lub stałą Verdet  $V$ .

Polarymetry w technice są często stosowane do wyznaczenia stężenia ciał optycznie czynnych w roztworach. Polarymetry do pomiaru stężenia cukru w roztworach nazywamy sacharymetrami. Ciała skręcające płaszczyznę polaryzacji drgań w stanie ciekłym lub w roztworach zawdzięczają tę własność budowie swoich cząsteczek, dlatego na podstawie pomiarów aktywności optycznej można uzyskać informacje o strukturze nowych skomplikowanych cząstek.

## 2. Wykonanie ćwiczenia

### I. Badanie naturalnej aktywności optycznej

1. Włączyć zasilanie lampy sodowej, odczekać około 5 minut do uzyskania pełnej jasności świecenia. Ustawić okular polarymetru tak, aby obraz pola widzenia był ostry.
2. Zbiorniczek (kuwetę) napełniony wodą destylowaną umieścić w polarymetrze zwracając uwagę, by korek nieodkręcany był skierowany w dół. W zbiorniczku nie powinno być pęcherzyków powietrza, a oba szkiełka muszą być suche i czyste.
3. Znaleźć takie położenie analizatora, aby wszystkie trzy części pola widzenia (środkowy pasek i dwa boczne pola) były jednakowo oświetlone (położenie półcienia).
4. Na skali analizatora odczytać kąt. Skala jest wycechowana w stopniach kątowych i wyposażona w noniusz dziesiętny. Znaleźć w ten sposób położenie zerowe analizatora  $\alpha_0$  dla wody. Przygotować sześć roztworów wodnych cukru o różnych stężeniach:
5. Odważyć 1g, 2g, 4g, 6g, 8g, 10g cukru i wsypać każdą z odważonych wielkości do zlewki.
6. Wlać do zlewki 50 ml wody destylowanej i dokładnie rozpuścić cukier.
7. Napełnić kuwetę kolejno każdym z badanych roztworów. Przed dokonaniem pomiaru kąta skręcenia dla danego stężenia należy dwukrotnie przepłukać kuwetę niewielką ilością roztworu o tym stężeniu.
8. Umieścić kuwetę z roztworem w polarymetrze, znaleźć położenie półcienia, odczytać wartość analizatora  $\alpha_p$  i obliczyć kąt skręcenia  $\alpha = \alpha_p - \alpha_0$ . Każdy pomiar powtórzyć kilkakrotnie i obliczyć średnią.
9. Zmierzyć długość kувety, ocenić niepewność pomiaru długości.
10. Kuwetę napełnić roztworem o nieznanym stężeniu, znaleźć położenie półcienia.

### II. Badanie zjawiska Faradaya

1. Włączyć zasilanie źródła światła monochromatycznego (dioda LED lub lampa sodowa; jeśli źródłem jest lampa sodowa, to odczekać około 5 minut do uzyskania pełnej jasności świecenia). Ustawić okular polarymetru tak, aby obraz pola widzenia był ostry.
2. W polarymetrze wewnątrz solenoidu znajduje się pręt szklany. Ustawić położenie półcienia w nieobecności pola magnetycznego, odczytać kąt analizatora  $\alpha_0$ . Każdy pomiar powtórzyć 3-krotnie i obliczyć średnią.
3. Włączyć zasilanie solenoidu i zmierzyć dla co najmniej 6-ciu różnych natężeń prądu kąty położenia analizatora, odpowiadające nowym położeniom półcienia  $\alpha_p$ . Obliczyć kąt skręcenia  $\alpha = \alpha_p - \alpha_0$ .

## 3. Opracowanie wyników

### Część I.

1. Przyjmując we wzorze (3):  $y = \alpha$ ,  $x = ch$ , współczynnik kierunkowy  $b = \gamma$ , na podstawie wyników otrzymanych metodą najmniejszych kwadratów (program ORIGIN) wyznaczyć skręcenie właściwe  $\gamma$  i niepewność złożoną skręcenia właściwego  $u_c(\gamma)$  (należy uwzględnić niepewności standardowe obliczane metodą typu A i typu B). (Kąt należy przeliczyć na radiany!)
2. Korzystając z testu  $\chi^2$ , sprawdzić, czy hipoteza o liniowej zależności kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji od stężenia roztworu jest prawdziwa.



3. Na podstawie wykresu wyznaczyć nieznaną stężenie roztworu oraz jego niepewność. Nieznane stężenie można również wyznaczyć z zależności (3) w oparciu o wcześniej obliczoną wartość skręcenia właściwego  $\gamma$ . Wyznaczyć niepewność rozszerzoną obliczonego stężenia.

### Część II.

1. Korzystając ze wzoru  $B = \frac{\mu_0 IN}{L}$  obliczmy wartość indukcji magnetycznej w teslach, odpowiadającej danemu natężeniu prądu I. ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$ ; N - liczba zwojów; L - długość solenoidu).
2. Korzystając z metody najmniejszych kwadratów wyznaczyć stałą Verdetta i jej niepewność, przyjmując we wzorze (4a):  $y = \alpha$ ,  $x = Bh$ , współczynnik kierunkowy  $b = V$  (skorzystać z programu ORIGIN). (Kąt należy przeliczyć na radiany!)
3. Korzystając z testu  $\chi^2$ , sprawdzić, czy hipoteza o liniowej zależności kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji od indukcji pola magnetycznego jest prawdziwa.

4. Na podstawie wzoru (4b), w oparciu o obliczoną stałą Verdetta wyznaczyć wartość  $\frac{e}{m_e}$  i jej niepewność rozszerzoną. Występująca w tym wzorze miara dyspersji  $\frac{dn}{d\lambda}$  może być znaleziona jako

wartość wyrażenia  $\frac{n_1 - n_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$ , gdzie  $n_1$  i  $n_2$  - są to współczynniki załamania fal o długościach  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$ ,

pomiędzy którymi leży długość fali użytego światła  $\lambda$ . Zależność  $n(\lambda)$  dla szkła podana jest na tabliczce obok ćwiczenia. Z tego wykresu należy odczytać wartości współczynników załamania dla dwóch długości leżących symetrycznie względem długości fali światła sodowego  $\lambda = 589,3$  nm. Porównać otrzymany wynik z wartością tablicową.

## 4. Pytania kontrolne

1. Za pomocą jakich wielkości fizycznych i równań opisujemy falę elektromagnetyczną?
2. Co to jest światło spolaryzowane liniowo?
3. Jakie są metody otrzymywania światła liniowo spolaryzowanego?
4. Na czym polega naturalna i wymuszona aktywność optyczna?
5. Omówić zasadę działania polarymetru półcieniowego.
6. Na czym polega efekt Faradaya?

## 5. Literatura

1. D. Halliday, R. Resnick i J. Walker, Podstawy Fizyki, Warszawa PWN, tom 4, str.17-30.
2. Cz. Bobrowski, Fizyka - krótki kurs, WNT, Warszawa, str. 313-317.
3. S. Szczeniowski; Fizyka doświadczalna cz.IV Optyka, PWN, Warszawa, str. 359 - 459.
4. W. Shurcliff, S. Billard; Światło spolaryzowane, PWN, Warszawa 1968 str. 11 - 34.