

## ZADANIE DOŚWIADCZALNE 2

### DWÓJŁOMNOŚĆ MIKI

W tym doświadczeniu zmierzysz dwójłomność miki (kryształu szeroko używanego w optycznych elementach polaryzujących).

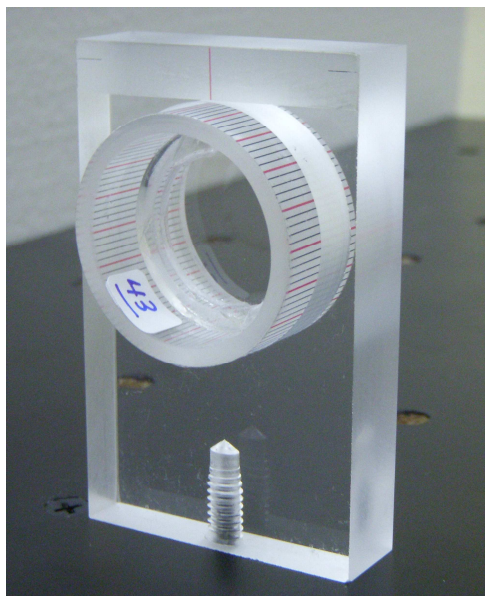
#### WYPOSAŻENIE

Oprócz elementów 1), 2) i 3) powinieneś użyć:

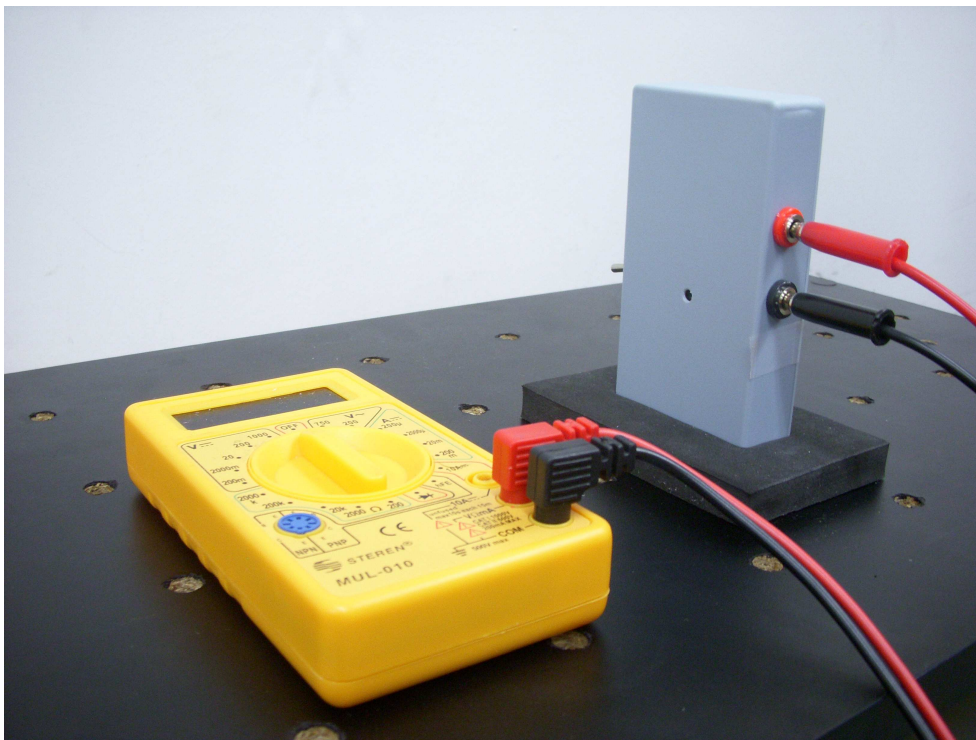
- 14) Dwóch polaryzujących błon, każda zamontowana w oprawce wsuwanej w dodatkową akrylową podstawką (etykieta J). Na fotografii jest pokazane, jak to zamontować.
- 15) Cienkiej płytki z miki zamocowanej w plastikowym cylindrze z skalą bez liczb; akrylową podstawką na cylinder (etykieta K). Na fotografii jest pokazane, jak to zamontować.
- 16) Fotodetektora z wyposażeniem. Fotodetektor w plastikowym pudełku, przewody połączeniowe i piankową podstawkę. Miernik uniwersalny do zmierzenia napięcia na fotodetektorze (etykieta L). Na fotografii jest pokazane, jak to zamontować i połączyć.
- 17) Kalkulator.
- 18) kartek, taśmy maskującej, nalepek, nożyczek, zestawu ekierok.
- 19) Ołówków, papieru, papieru milimetrowego.



P olaryzator zamontowany w oprawce wsuwanej w akrylową podstawką (etykieta J).



Cienka płytki z miki zamocowana w cylindrze ze skalą bez liczb i akrylowa podstawka (etykieta K).

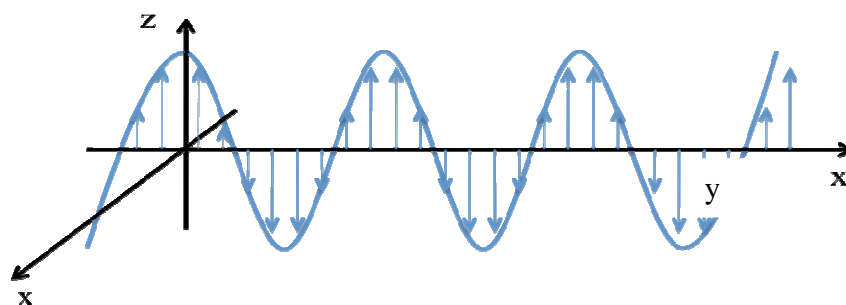


Fotodetektor w plastikowym pudełku, przewody podłączeniowe i piankowa podstawka. Miernik uniwersalny do pomiaru napięcia na fotodetektorze (etykieta L). Przewody podłącz tak, jak to jest pokazane.

## OPIS ZJAWISKA

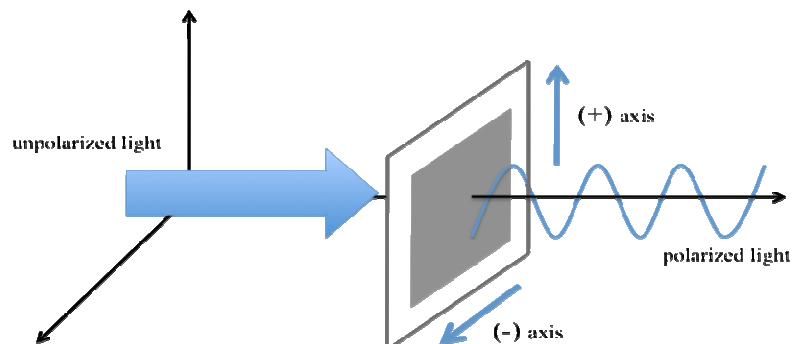
Światło jest poprzeczną falą elektromagnetyczną, z wektorem pola elektrycznego leżącym w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku rozchodzenia się fali i oscylującym w czasie w trakcie rozchodzenia się fali świetlnej.

Jeśli kierunek pola elektrycznego pozostaje stały w czasie, falę nazywamy *linowo spolaryzowaną* lub po prostu spolaryzowaną. Patrz rysunek 2.1.



**Rys. 2.1.** Fala rozchodząca się w kierunku  $y$  i spolaryzowana w kierunku  $z$ .

Błona polaryzująca (lub po prostu polaryzator) jest materiałem z wyróżnioną osią równoległą do swojej powierzchni, taką, że przechodzące światło zostaje spolaryzowane wzdłuż tej osi polaryzatora. Oznaczmy przez (+) wyróżnioną oś, a przez (-) oś prostopadłą do niej.

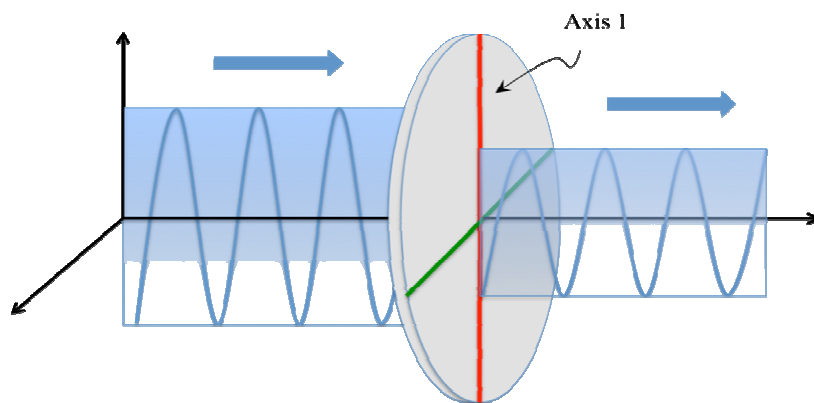


**Rys. 2.2** Niespolaryzowane światło pada prostopadle na polaryzator. Przechodzące światło jest spolaryzowane w kierunku (+) polaryzatora.

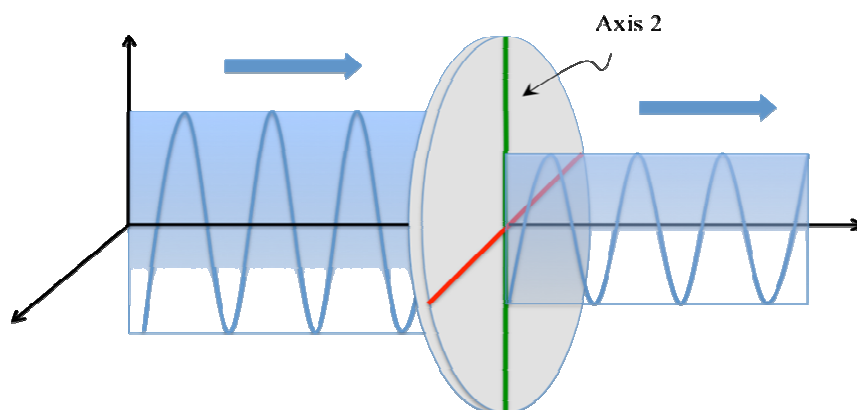
Zwykle przezroczyste materiały (takie jak szkło okienne) przepuszczając światło zachowują polaryzację światła padającego ponieważ ich współczynnik załamania nie zależy ani od kierunku, ani od polaryzacji światła padającego. Wiele kryształów, w tym mika, jest czułych na kierunek pola elektrycznego fali. Dla kierunku rozchodzenia prostopadłego do swojej powierzchni, mika ma dwie charakterystyczne osie, które nazwiemy Osią 1 i Osią 2. To prowadzi do zjawiska nazywanego dwójłomnością.

Przeanalizujemy dwa proste przypadki dwójłomności. Załóżmy, że fala **spolaryzowana w kierunku pionowym** pada prostopadle na jedną z powierzchni płytki z miki.

**Przypadek 1)** Oś 1 lub Oś 2 jest równoległa do polaryzacji padającej fali. Fala przechodząca przechodzi bez zmiany swojego stanu polaryzacji, ale propagacja jest taka, jakby materiał miał współczynnik załamania  $n_1$  lub  $n_2$ . Patrz rysunki 2.4 i 2.5.

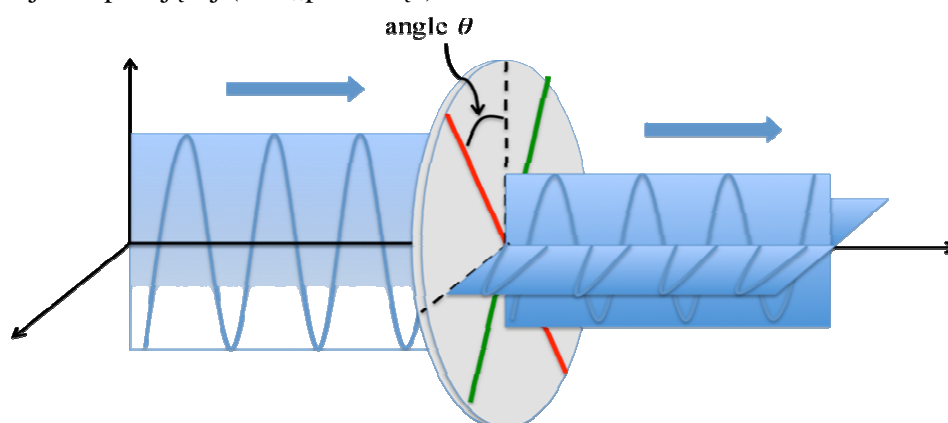


**Rys. 2.4** Oś 1 jest równoległa do polaryzacji padającej fali. Współczynnik załamania wynosi  $n_1$ .



**Rys. 2.5** Oś 2 jest równoległa do polaryzacji padającej fali. Współczynnik załamania wynosi  $n_2$ .

**Przypadek 2)** Oś 1 tworzy kąt  $\theta$  z kierunkiem polaryzacji fali padającej. Przechodzące światło ma bardziej skomplikowany stan polaryzacyjny. Ta fala może być jednak przedstawiona jako *superpozycja* dwóch fal, z których jedna ma polaryzację **równoległą** do polaryzacji fali padającej (tzn. „pionową”), a druga ma polaryzację **prostopadłą** do polaryzacji fali padającej (tzn. „poziomą”).



**Rys. 2.6** Oś 1 tworzy kąt  $\theta$  z kierunkiem polaryzacji fali padającej.

Oznaczmy przez  $I_p$  natężenie fali, która przeszła przez płytkę, o polaryzacji *równoległej* do polaryzacji fali padającej, a przez  $I_o$  natężenie fali, która przeszła przez płytkę, o polaryzacji *prostopadłej* do polaryzacji fali padającej. Te natężenia zależą od kąta  $\theta$ , długości fali  $\lambda$  źródła światła, szerokości  $L$  cienkiej płytki i od bezwzględnej wartości różnicy współczynników załamania  $|n_1 - n_2|$ . Ta ostatnia wielkość jest nazywana *dwójłomnością* materiału. Wyznaczenie tej wielkości jest celem tego zadania. Wraz z polaryzatorami, materiały dwójłomne są przydatne do kontrolowania stanów polaryzacji światła.

Podkreślmy tu, że fotodetektor mierzy natężenie padającego na niego światła niezależnie od polaryzacji tego światła.

Zależność  $I_p(\theta)$  oraz  $I_o(\theta)$  od kąta  $\theta$  jest skomplikowana z powodu efektów tu nie rozważanych, takich jak absorpcja padającej fali przez mikę. Można jednak otrzymać przybliżone, ale bardzo proste wyrażenia na znormalizowane natężenia  $\bar{I}_p(\theta)$  i  $\bar{I}_o(\theta)$ , zdefiniowane jako

$$\bar{I}_p(\theta) = \frac{I_p(\theta)}{I_p(\theta) + I_o(\theta)} \quad (2.1)$$

i

$$\bar{I}_o(\theta) = \frac{I_o(\theta)}{I_p(\theta) + I_o(\theta)} \quad (2.2)$$

Można pokazać, że znormalizowane intensywności są (w przybliżeniu) dane wzorami

$$\bar{I}_p(\theta) = 1 - \frac{1}{2}(1 - \cos\Delta\phi)\sin^2(2\theta) \quad (2.3)$$

i

$$\bar{I}_o(\theta) = \frac{1}{2}(1 - \cos\Delta\phi)\sin^2(2\theta) \quad (2.4)$$

gdzie  $\Delta\phi$  jest różnicą faz „równoległej” i „prostopadłej” fal po przejściu przez płytkę. Ta wielkość jest dana wyrażeniem

$$\Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} |n_1 - n_2| \quad (2.5)$$

Gdzie  $L$  jest szerokością cienkiej płytki z miki,  $\lambda$  – długością fali padającego światła, a  $|n_1 - n_2|$  - dwójłomnością.

## UKŁAD DOŚWIADCZALNY

**Zadanie 2.1 Układ doświadczalny do pomiaru natężeń.** Zaproponuj układ doświadczalny do pomiaru natężeń  $I_p$  i  $I_o$  fali przechodzącej przez mikę przy różnych kątach mierzonych względem osi optycznych, patrz rys. 2.6. *Przedstaw swoją propozycję podając etykiety przyrządów na rysunku stołu optycznego.* Używaj konwencji (+) i (-) na kierunki polaryzacji. Możesz też wykonać dodatkowy rysunek wyjaśniający twój układ.

Zadanie 2.1 a) Zestaw do pomiaru  $I_p$  **(0.5 pkt).**

Zadanie 2.1 b) Zestaw do pomiaru  $I_o$  **(0.5 pkt).**

**Ustawienie wiązki laserowej.** Skieruj wiązkę laserową równoległe do stołu optycznego na środek cylindra z miką. Możesz użyć jednej z białych kartek do określenia biegu wiązki. Małe zmiany kierunku wiązki mogą być uzyskane za pomocą ruchomego zwierciadła.

**Fotodetektor i miernik uniwersalny.** Fotodetektor wytwarza napięcie pod wpływem padającego światła. Zmierz to napięcie za pomocą miernika uniwersalnego. Napięcie jest proporcjonalne do natężenia światła. Podaj natężenia światła jako napięcie wytworzone przez fotodetektor. Fotodetektor może też zmierzyć natężenie tła, czyli natężenie światła rozproszonego, wystarczy zmierzyć napięcie bez oświetlania fotodetektora. Ta wielkość powinna być mniejsza od 1mV. *Nie poprawiaj* wyników pomiaru natężenia światła przez uwzględnienie natężenia tła.

**OSTRZEŻENIE:** Wiązka światła laserowego jest częściowo spolaryzowana, ale nie wiadomo w jakim kierunku. A więc aby uzyskać światło spolaryzowane o dużym natężeniu w nieobecności innych elementów optycznych ustaw polaryzator oś pionową polaryzatora (+) lub (-) tak, aby uzyskać największe natężenie przechodzącego światła.

## POMIARY NATEŻEŃ

**Zadanie 2.2 Jednostka określenia kąta.** Cylinder utrzymujący mikę ma skalę pozwalającą na określenie kątów. Podaj w stopniach wartość najmniejszej podziałki, to znaczy pomiędzy najbliższymi czarnymi kreskami **(0.25 pkt.)**

**Przybliżone wyznaczenie zera kąta  $\theta$  i/lub określenie osi optycznej miki.** Do rozwiązania zadania konieczne jest wyznaczenie zera kątów. Sugerujemy, żeby najpierw wyznaczyć jedną z osi optycznych i nazwać ją Oś 1. Jest niemal pewne, że nie pokryje się ona ze skalą na cylindrze. Przyjmij, że najbliższa linia na cylindrze z miką jest tymczasowym początkiem skali kątów. Nazwij  $\bar{\theta}$  kąty mierzone od tak określonego początku. W dalszym ciągu będziesz miał wyznaczyć dokładniej położenie zera kąta  $\theta$ .

**Zadanie 2.3 Pomiar  $I_p$  i  $I_o$ .** Zmierz natężenia  $I_p$  i  $I_o$  dla tylu wartości kąta  $\bar{\theta}$  dla ilu uznasz to za właściwe. Zapisz wyniki w Tabeli 1. Postaraj się wykonać pomiary  $I_p$  and  $I_o$  dla *tego samego* ustawienia cylindra z mika, to znaczy dla *ustalonego*  $\bar{\theta}$  **(3.0 pkt)**.

**Zadanie 2.4. Wyznaczenie przybliżonego zera kąta  $\theta$  i przybliżone wyznaczenie osi miki.** Położenie Osi 1 wyznacza zero kąta  $\theta$ . Jak wspomniano jest prawie pewne, że położenie Osi 1 nie pokrywa się ze skalą na cylindrze z miką. Aby wyznaczyć zero kątów można posłużyć się metodą graficzną lub numeryczną.

Zauważ, że w pobliżu maksimum lub minimum zależność może być przybliżona przez parabolę:

$$I(\bar{\theta}) \approx a\bar{\theta}^2 + b\bar{\theta} + c$$

a minimum lub maksimum paraboli jest dane przez  $\bar{\theta}_m = -\frac{b}{2a}$ .

Obie metody prowadzą do przesunięcia  $\delta\bar{\theta}$  wszystkich wartości  $\bar{\theta}$  z Tabeli I (zadanie 2.3) a więc mogą być one podane jako kąty  $\theta$  liczone od zera,  $\theta = \bar{\theta} + \delta\bar{\theta}$ . Podaj wartość przesunięcia  $\delta\bar{\theta}$  w stopniach **(1.0 pkt)**.

### ANALIZA WYNIKÓW.

**Zadanie 2.5 Wybór odpowiednich zmiennych.** Wybierz  $\bar{I}_p(\theta)$  lub  $\bar{I}_o(\theta)$  do przeprowadzenia analizy prowadzącej do wyznaczenia różnicy faz  $\Delta\phi$ . Podaj wielkość, której będziesz używać **(0.5 pkt)**.

### Zadanie 2.6 Analiza wyników i różnica faz

- Skorzystaj z Tabeli II aby podać zmienne użyte do analizy. Upewnij się, że używasz właściwych wartości kątów  $\theta$ . Uwzględnij niepewności i wzory prowadzące do nich. Wykresy wykonaj na papierze milimetrycznym. **(1.0 pkt)**.
- Dokonaj analizy wyników potrzebnych do wyznaczenia przesunięcia fazowego  $\Delta\phi$ . Podaj swój wynik uwzględniając niepewności. Podaj równania lub wyrażenia których użyłeś. Przedstaw wyniki na wykresie **(1.75 pkt)**.
- Oblicz wartość przesunięcia fazowego  $\Delta\phi$  w radianach, uwzględniając jej niepewność. Znajdź wartość przesunięcia fazowego w zakresie  $[0, \pi]$ . **(0.5 points)**.

**Zadanie 2.7 Obliczenie dwójłomności**  $|n_1 - n_2|$ . Natężenia nie zmieniają się jeśli do różnicy faz  $\Delta\phi$  dodać  $2N\pi$ , gdzie  $N$  jest dowolną liczbą całkowitą, lub zmienić jej znak. Jednak wartość dwójłomności  $|n_1 - n_2|$  zmieni się. Aby więc użyć wartości  $\Delta\phi$  wyznaczonej w zadaniu 2.6 do poprawnego wyznaczenia dwójłomności należy rozważyć następujące przypadki

$$\Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} |n_1 - n_2| \quad \text{dla} \quad L < 82 \times 10^{-6} \text{ m}$$

lub

$$2\pi - \Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} |n_1 - n_2| \quad \text{dla} \quad L > 82 \times 10^{-6} \text{ m}$$

gdzie grubość miki  $L$  podana jest na cylindrze w którym jest umocowana. Grubość podana jest w mikrometrach (1 mikrometr =  $10^{-6}$  m). Przyjmij, że niepewność  $L$  wynosi  $1 \times 10^{-6}$  m. Za długość fali wiązki laserowej możesz przyjąć wartość uzyskaną w Zadaniu 1 albo średnią wartość pomiędzy  $620 \times 10^{-9}$  m i  $750 \times 10^{-9}$  m, czyli granice czerwonej części widzialnego widma. Podaj wartość  $L$  i  $\lambda$  oraz dwójłomności  $|n_1 - n_2|$  wraz z niepewnościami. Podaj zależności użyte do wyznaczenia niepewności. **(1.0 pkt)**.