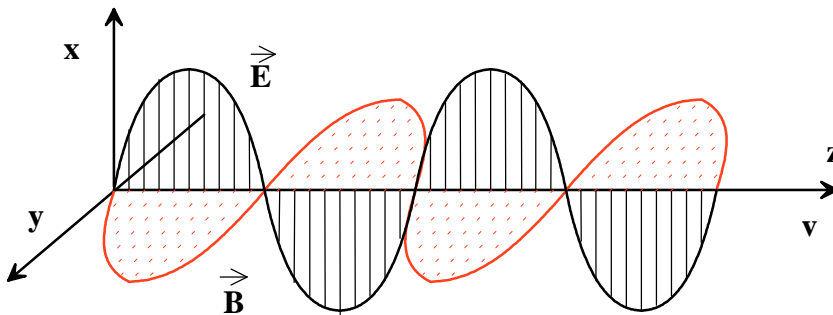


SPRAWDZANIE PRAWA MALUSA

- I. Cel ćwiczenia:** wyznaczenie natężenia światła I przechodzącego przez układ dwóch polaryzatorów w funkcji kąta θ między płaszczyznami polaryzacji tych polaryzatorów: $I = I(\theta)$
- II. Przyrządy:** układ dwu polaryzatorów, z których jeden jest ruchomy, ogniwo selenowe, źródło światła (żarówka 6V, 15W), zasilacz stabilizowany 980-1M lub 980-2M, multimetr cyfrowy VC10T.
- III. Literatura:**
1. F. C. Crawford Fale PWN, W-wa, 1974,
 2. W. A. Shurcliff, S. S. Ballard Światło spolaryzowane,
 3. J. R. Meyer- Arendt Wstęp do optyki.

Światło jest płaską falą elektromagnetyczną. Falę taką opisujemy drganiami dwóch wektorów: wektora natężenia pola elektrycznego $\vec{E}(x, y, z, t)$ i indukcji magnetycznej $\vec{B}(x, y, z, t)$. Obydwa wektory drgają w płaszczyznach wzajemnie prostopadłych z tymi samymi fazami. Drgania wektora magnetycznego \vec{B} nie wywierają jednak bezpośredniego działania optycznego i dlatego w dalszych rozważaniach zajmować się będziemy tylko wektorem elektrycznym \vec{E} .



Rys.1

IV. Opis polaryzacji.

IV.1. Polaryzacja liniowa.

W przypadku poprzecznych fal elektromagnetycznych, jeżeli wektor elektryczny \vec{E} wykonuje drgania wzdłuż ustalonej prostej prostopadłej w stosunku do \hat{z} (\hat{z} wersor wyznaczający kierunek osi z), to mówimy, że fale są spolaryzowane liniowo. Mamy dwa niezależne kierunki prostopadłe, które możemy oznaczyć przez \hat{x} i \hat{y} . Weźmy pod uwagę ustaloną wartość "z". Wówczas drgania odpowiadające liniowo spolaryzowanej fali płaskiej mogą mieć jedną z dwu postaci:

$$\vec{\mathbf{E}}(t) = \hat{\mathbf{x}} \cdot A_1 \cos \omega t \quad (1)$$

lub

$$\vec{\mathbf{E}}(t) = \hat{\mathbf{y}} \cdot A_2 \cos \omega t \quad (2)$$

gdzie "z" pominieliśmy, a stałą fazową φ w argumencie cosinusa przyjęliśmy równą 0 (dla $t = 0$, $\varphi = 0$). W dalszych rozważaniach pominiemy również zapis $\vec{\mathbf{E}}$ jako funkcji czasu t . Ogólniej, możemy mieć liniowo spolaryzowane drganie wzdłuż prostej, która nie leży ani w kierunku $\hat{\mathbf{x}}$, ani $\hat{\mathbf{y}}$. Drgania takie można zawsze przedstawić jako superpozycję dwu niezależnych liniowo spolaryzowanych drgań, danych równaniami (1) i (2), gdzie składowe x i y superpozycji mają tę samą stałą fazę (albo stałe fazowe różniące się o π):

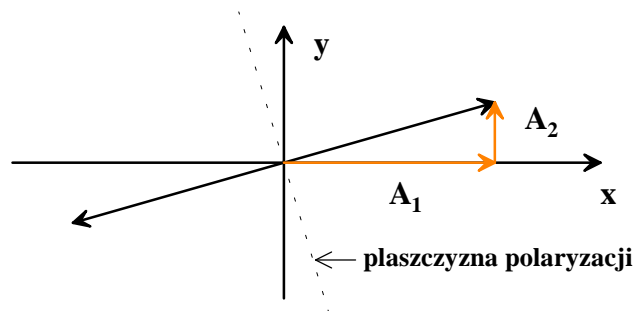
$$\vec{\mathbf{E}} = \hat{\mathbf{x}} \cdot A_1 \cos \omega t + \hat{\mathbf{y}} \cdot A_2 \cos \omega t \quad (3)$$

$$\vec{\mathbf{E}} = (\hat{\mathbf{x}} \cdot A_1 + \hat{\mathbf{y}} \cdot A_2) \cos \omega t \quad (4)$$

Wektor $\hat{\mathbf{x}} \cdot A_1 + \hat{\mathbf{y}} \cdot A_2$ ma wartość bezwzględną i kierunek niezależne od czasu. Dlatego $\vec{\mathbf{E}}$ z równania (4) przedstawia drgania wzdłuż ustalonej prostej. Amplituda drgania dana jest wzorem

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2}$$

Drganie wektora $\hat{\mathbf{E}}$ pola elektrycznego dla liniowo spolaryzowanej fali (przy ustalonym "z") pokazuje rys.2.



Rys.2 Polaryzacja liniowa. Wektor $\vec{\mathbf{E}}$ dla ustalonego "z", wyrażony równaniem (4) oscyluje harmonicznie wzdłuż prostej oznaczonej strzałkami. Na rysunku zaznaczono również płaszczyznę polaryzacji, która jest prostopadła do płaszczyzny drgań.

Aby opisać biegnącą falę rozchodzącą się np. w kierunku +z, zastępujemy, przy ustalonym "z", argument ωt przez $\omega t - kz$ w liniowo spolaryzowanym drganiu:

$$\vec{\mathbf{E}}(z, t) = (\hat{\mathbf{x}} \cdot A_1 + \hat{\mathbf{y}} \cdot A_2) \cos (\omega t - kz) \quad (5)$$

gdzie k jest liczbą falową.

Oprócz polaryzacji liniowej fale świetlne mogą mieć polaryzację kołową lub eliptyczną.

IV.2. Sposoby polaryzacji światła.

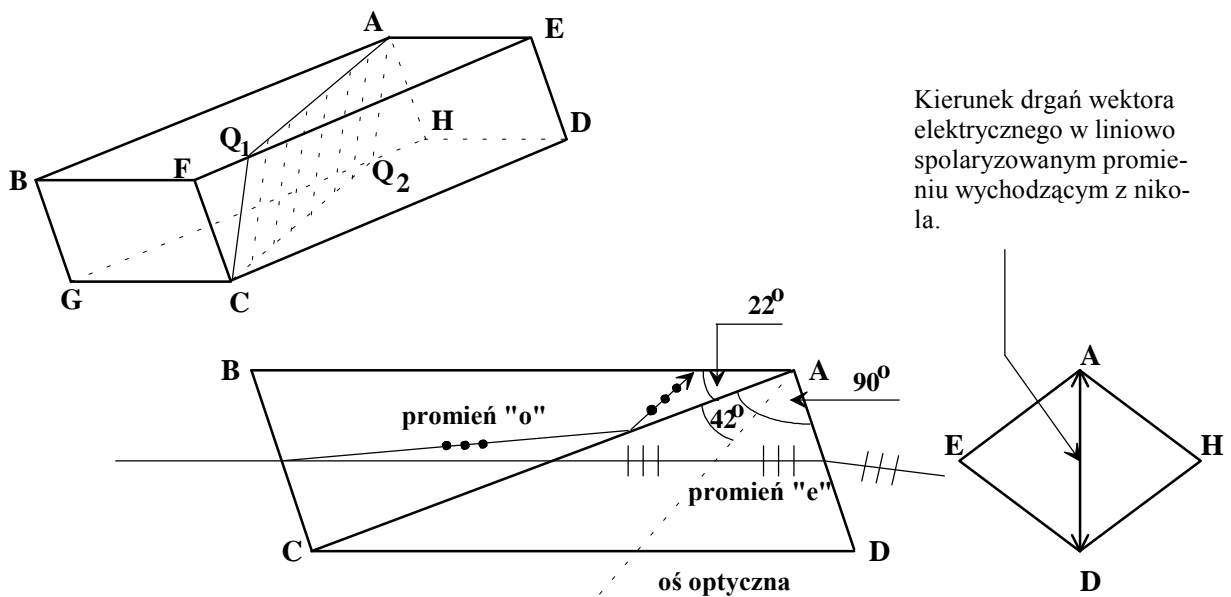
Urządzenie, które dzieli światło niespolaryzowane na dwie składowe i eliminuje jedną z nich nazywamy polaryzatorem. Światło spolaryzowane otrzymać możemy przez odbicie, załamanie, rozproszenie, selektywną absorpcję i podwójne załamanie. Każde z tych zjawisk pozwala rozdzielić

wiązkę na spolaryzowane składowe. Korzysta się przy tym zawsze z jakiejś asymetrii np. asymetrii wewnętrznej budowy polaryzatora, asymetrii jego ustawienia lub asymetrii kierunku obserwacji względem padającej wiązki.

IV.2.1. Przyrządy wykazujące asymetrię załamania (dwójłomne)

Pryzmat Nicola - nikol

Rys. 3 schematycznie przedstawia budowę i ogólną zasadę działania nikola. Wszystkie jego powierzchnie są ukośne, oś optyczna jest nachylona pod pewnym kątem względem każdej z tych powierzchni.



Kierunek drgań wektora elektrycznego w liniowo spolaryzowanym promieniu wychodzącym z nikola.

Rys.3 Polaryzator Nicola. Kryształ szpatu islandzkiego jest przecięty na dwie części wzdłuż płaszczyzny AQ_1CQ_2 , a następnie ponownie skleiony za pomocą balsamu kanadyjskiego. Cztery ścianki boczne polaryzatora są poczernione.

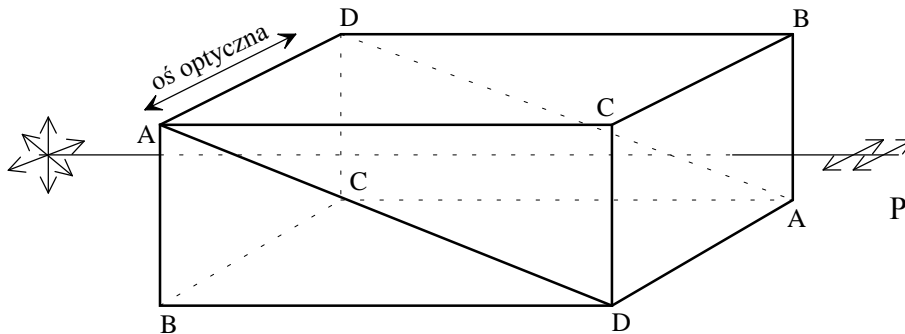
Otrzymany układ dzieli wiązkę padającą na dwie wiązki załamane, powoduje całkowite wewnętrzne odbicie jednej z nich (na pierwszej powierzchni między szpatem i materiałem sklejącym) oraz przepuszcza drugą.

Współczynnik załamania szpatu jest dla promienia zwyczajnego "o" większy niż dla nadzwyczajnego "e": $n_o = 1,66$, $n_e = 1,49$. Wobec tego promień zwyczajny pada na warstwę balsamu kanadyjskiego pod kątem większym niż nadzwyczajny. Współczynnik załamania balsamu kanadyjskiego wynosi 1,549. Jak wykazuje rachunek, na powierzchni styku szpatu z balsamem kanadyjskim promień zwyczajny ulega całkowitemu wewnętrznemu odbiciu, ponieważ pada na tę powierzchnię pod kątem większym od granicznego. Promień nadzwyczajny nie ulega całkowitemu odbiciu i przechodzi przez warstwę balsamu ulegając tylko nieznacznemu osłabieniu.

Pryzmat Glazebrooka

Pryzmat ten różni się od pryzmatu Nicola tym, że ma kształt prostopadłościanu, jego oś optyczna jest równoległa do krawędzi AD, przez którą przechodzi płaszczyzna ADAD rozcięcia pryzmatu na dwie części. Podobnie jak w nikolu obie części pryzmatu Glazebrooka są skleione balsamem kanadyjskim. Płaszczyzna drgań w promieniu wychodzącym z pryzmatu jest równoległa do osi optycznej, a więc do krawędzi AD. Zaletą tych pryzmatów jest dobre i równomierne

wygaszanie światła w układzie skrzyżowanych pryzmatów w całym polu widzenia. Nie powstaje też w nim przesunięcie boczne wiązki świetlnej.



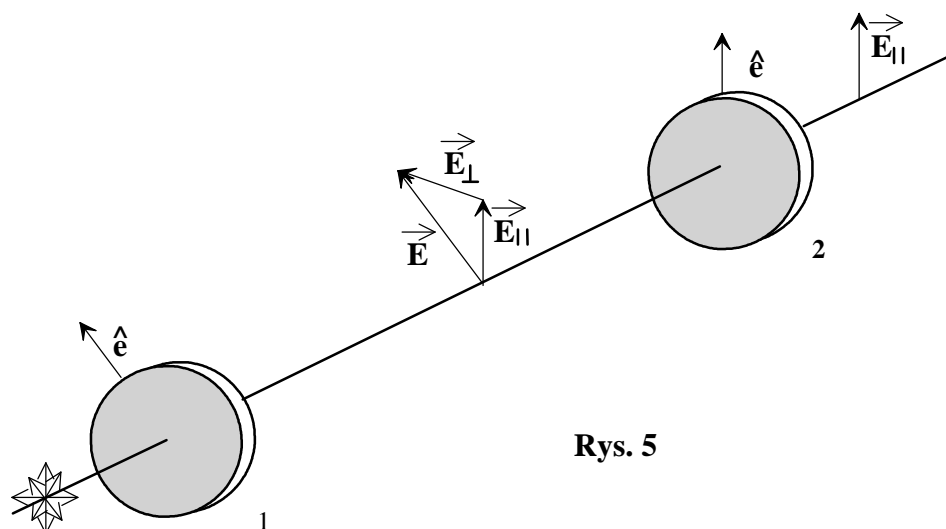
Rys.4
Pryzmat Glazebrooka

IV.2.1 Polaryzatory z asymetrią pochłaniania - dichroiczne

Obecnie najczęściej stosowanym typem polaryzatora jest polaroid H pomysłu E. H. Landy z 1938 roku. W trakcie procesu prefabrykacji polaroidu rozciąga się bardzo silnie w jednym kierunku folię plastikową, która jest zbudowana z długich łańcuchów węglowodorowych. Powoduje to ustawienie się cząsteczek szeregami. Następnie zanurza się folię w roztworze zawierającym jod. Jod przyczepia się do długich łańcuchów węglowodorowych i dostarcza elektronów przewodzących, które mogą poruszać się wzdłuż łańcuchów a prostopadłe do nich nie. Otrzymuje się w ten sposób jakby "druty" wzdłuż łańcuchów węglowodorowych. Składowa pola elektromagnetycznego wzdłuż "drutów" zostaje zaabsorbowana, a prostopadła do nich zostaje przepuszczona z bardzo niewielkim wygaszeniem. Płytkę polaroidu ma więc oś (leżącą wewnątrz niej), zwaną osią łatwego przepuszczania. Jeśli \vec{E} ma kierunek tej osi, światło przechodzi z bardzo małą absorpcją. Oś łatwego przepuszczania jest prostopadła do łańcuchów węglowodorowych.

IV.3 Prawo Malusa

Weźmy pod uwagę doskonały polaryzator. Zaniedbajmy w nim całą stratę energii spowodowaną przez odbicia na powierzchniach. Przyjmujemy, że niepożądana składowa jest



Rys. 5

całkowicie zaabsorbowana, a składowa pożądana (ta z wektorem \vec{E} równoległym do osi łatwego przepuszczania) jest całkowicie przepuszczana. Jeśli światło spolaryzowane liniowo przez polaryzator 1 pada wzdłuż osi z prostopadłe do powierzchni polaryzator 2, to tylko składowa \vec{E}_{\parallel} zostanie przepuszczona

$$\vec{E}_{\parallel} = \vec{E} \cos \theta \quad (6)$$

gdzie θ - kąt między osiami łatwego przepuszczania polaryzatorów \hat{e}_1 i \hat{e}_2 .

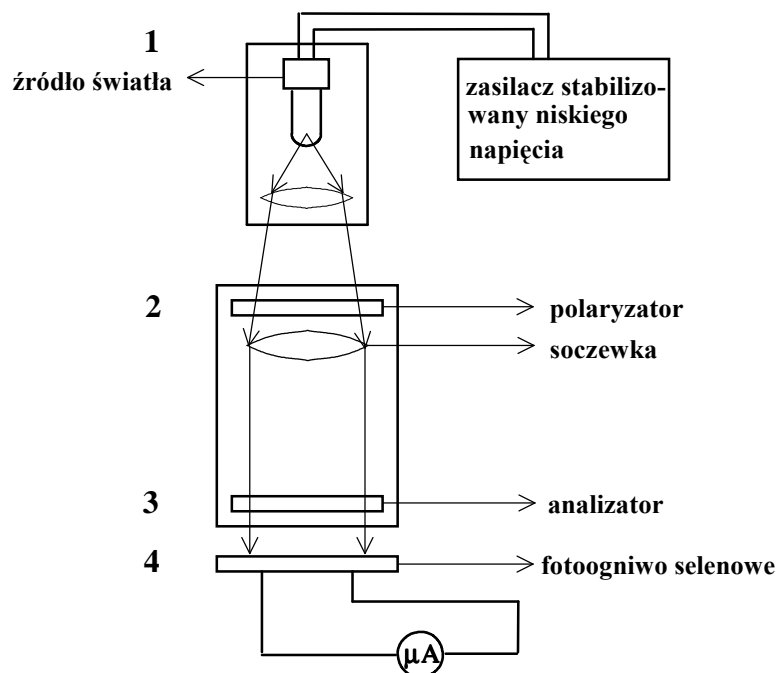
Uwzględniając, że strumień energii świetlnej I jest proporcjonalny do kwadratu wektora elektrycznego \vec{E} oraz, że ludzkie oko i każdy przyrząd rejestrujący światło reagują na średnią wartość wyrażenia (6), otrzymamy

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (7)$$

gdzie I_0 - strumień świetlny padający na polaroid 2 (analizator).
Zależność (7) nosi nazwę prawa Malusa.

V. Układ pomiarowy.

Wiązka światła po wyjściu ze źródła światła 1 pada na nieruchomy filtr polaryzacyjny 2 (polaryzator) a następnie na ruchomy 3 (analizator) ze skalą kątową, po czym jej natężenie jest rejestrowane fotoogniwem selenowym 4 (patrz instrukcja do ćwiczenia O-12). Soczewki formują wiązkę światła. Prąd w obwodzie fotoogniwa pracującego w stanie zwarcia pokazuje mikroamperomierz (multimetr VC10T). Wartość tego prądu jest proporcjonalna do wartości strumienia świetlnego padającego na powierzchnię fotoogniwa.



Rys.6 Schemat układu pomiarowego.

VI. Wykonanie pomiarów

- 1♦ Włączyć multimetr; zakres pomiarowy 0,2mA.
- 2♦ Ustawić polaryzator i analizator w położeniu równoległym (0° lub 180°). Ustawić na zasilaczu niskiego napięcia właściwe parametry pracy źródła światła (dla żarówki z oświetlacza mikroskopowego jest to 6V i ok. 2,0A). Włączyć źródło światła i obserwując wskazania miliamperomierza zwiększać strumień światła (potencjometrem regulacji natężenia prądu) do momentu, gdy wskazania miliamperomierza wyniosą ok. 0,015 - 0,016mA. Zasilacz powinien pracować jako stabilizator prądu żarówki, co sygnalizuje palenie się czerwonej lampki zasilacza.
- 3♦ Obracając analizator np. co 10° w zakresie kątów $0 - 360^\circ$ dokonać odczytu natężenia prądu na miliamperomierzu. Pomiary rozpocząć po 15 - 20 minutach licząc od momentu włączenia zasilania i oświetlenia światłem fotoogniwa

VII. Opracowanie wyników.

- 1♦ Sporządzić wykres zależności $I/I_0 = f(\theta)$ we współrzędnych biegunowych (I_0 - wartość natężenia prądu wskazywanego przez amperomierz cyfrowy dla $\theta = 0^\circ$ lub 180°). W tym celu na każdym promieniu wychodzącym z punktu 0 pod kątem θ , w wybranej skali odłożyć wartości I/I_0 , odpowiadające danemu kątowi θ . Końce połączyć linią ciągłą.
- 2♦ Na tym samym wykresie sporządzić (innym kolorem) teoretyczną zależność $I/I_0 = \cos^2\theta$.
- 3♦ Dla kątów $0^\circ - 90^\circ$ sporządzić w skali liniowej wykres $I/I_0 = f(\cos^2\theta)$.

UWAGA!

Żarówka (lampka mikroskopowa) powinna być zasilana ze źródła napięcia umożliwiającego stabilizację prądową. Do tego celu nadają się zasilacze typu 5352, 980-1M, 980-2M. Wartość natężenia prądu pobieranego przez tę żarówkę wynosi ok. 2A przy napięciu zasilającym 6V.