

1 O8 — Plan pracy

1. sprawdzenie stanu polaryzacji światła laserowego
2. zmiana polaryzacji liniowej na kołową
3. zmiana polaryzacji liniowej na eliptyczną

2 O8 — Wstęp teoretyczny

2.1 Zjawisko polaryzacji światła

2.1.1 polaryzacja liniowa

Jeżeli wektor elektryczny drga tylko w jednej płaszczyźnie, to światło jest *liniowo spolaryzowane*.

2.1.2 polaryzacja eliptyczna

Polaryzacja eliptyczna jest najbardziej ogólnym przypadkiem polaryzacji i określa wszystkie przypadki pośrednie pomiędzy polaryzacją kołową i liniową. Zarówno liniowa jak i kołowa, są szczególnymi przypadkami polaryzacji eliptycznej.

2.1.3 polaryzacja kołowa

Koniec wektora elektrycznego ma ustaloną wartość i zakreśla okrąg wokół kierunku rozchodzenia się. Jeżeli przy obserwacji w kierunku źródła światła wektor zakreśla okręgi zgodne z ruchem wskazówek zegara, to światło jest spolaryzowane kołowo prawoskrętnie, jeżeli kierunek obrotu jest przeciwny – to polaryzacja jest lewoskrętna.

2.2 otrzymywanie światła spolaryzowanego

2.2.1 Polaryzacja przez odbicie.

Gdy wiązka światła pada na powierzchnię płyty szklanej, część wiązki wnika do wnętrza, a część zostaje odbita. Jeżeli światło padające jest światłem naturalnym, niespolaryzowanym, to okazuje się, że obie wiązki, odbita i załamana, stają się częściowo spolaryzowane. W roku 1812 Brewster stwierdził, że maksimum polaryzacji otrzymuje się wtedy, gdy wiązki odbita i załamana tworzą ze sobą kąt $\frac{\pi}{2}$. Kąt Brewstera wyraża się wzorem: $\alpha = \arctg \frac{n_2}{n_1}$.

2.2.2 Polaryzacja przez załamanie.

Po odkryciu Brewstera Malus doszedł do wniosku, że nie tylko światło odbite ale również światło załamane powinno stawać się spolaryzowane. Łatwo można to zrozumieć, gdyż dla kąta Brewstera światło odbite jest całkowicie liniowo spolaryzowane. Wtedy ta właśnie składowa nie będzie występowała w wiązce załamanej. Przy kolejnych odbiciach ta składowa w świetle załamanym, która drga w płaszczyźnie padania, będzie stopniowo osłabiana, aż wreszcie po przejściu przez wiele płytek, światło przechodzące będzie również miało wysoki stan polaryzacji liniowej.

Jedna płytka usów około 8% światła spolaryzowanego w jednym kierunku, 20 płytek usuwa 80%. 45 płytek daje światło spolaryzowane w 90%. Metody tej używa się do otrzymywania światła spolaryzowanego z obszaru widzialnego i podczerwieni, gdzie zamiast szkła używa się cienkich warstw selenowych.

2.2.3 Polaryzacja przez podwójne załamanie

Patrząc na obraz przez kalcyt można zaobserwować obraz podwójny. Przy obracaniu kryształu jeden obraz pozostaje nieruchomy, natomiast drugi obraca się wokół niego. Odpowiednie promienie wychodzące z kryształu noszą nazwę *zwyčajnego* i *nadzwyczajnego*. Oba promienie są spolaryzowane liniowo w płaszczyznach wzajemnie ortogonalnych. Można się o tym przekonać obserwując obrazy, dawane przez kalcyt, dodatkowo przez filtr polaryzujący. W kryształach dwójłomnym światło ma różne prędkości zależnie od tego, jak zorientowana jest płaszczyzna jego drgań. Gdy światło niespolaryzowane przechodzi przez dwójłomny kryształ, to rozdziela się na dwie części spolaryzowane liniowo w różnych kierunkach i inaczej załamywane.

2.2.4 Dichtroizm kryształów

Niektóre dwójłomne kryształy mają właściwość bardzo silnego, selektywnego pochłaniania jednej z dwóch wiązek powstałych w wyniku podwójnego załamania. Najlepiej znanym spośród takich kryształów jest turmalin, w którym wiązka zwyczajna biegnąc w kierunku prostopadłym do osi optycznej jest silnie pochłaniana, tak że z kryształu wychodzi tylko wiązka nadzwyczajna; wiązka zwyczajna jest w grubszych kryształach tak osłabiona, że można ją zaniedbać. Jednak i dla wiązki nadzwyczajnej turmalin wykazuje małą przezroczystość i selektywne pochłanianie dla różnych długości fali, w wyniku czego wiązka przepuszczona jest silnie zabarwiona na zielono, co nie jest dogodnie w zastosowaniach praktycznych.

2.3 Prawo Malusa

Prawo Malusa dotyczy zmiany natężenia światła przechodzącego przez analizator, w zależności od kąta, jaki tworzą płaszczyzny transmisji analizatora i polaryzatora. Obserwując wiązkę spolaryzowaną liniowo w kierunku pionowym, patrząc wzdłuż kierunku jej rozchodzenia się w stronę, z której wiązka nadbiega. Oznaczmy przez A_1 amplitudę tego światła. Światło pada na analizator, którego płaszczyzna transmisji tworzy z A_1 kąt θ . Żeby znaleźć amplitudę A_2 światła przechodzącego, znajdujemy składową amplitudy A_1 w kierunku wyznaczonym przez płaszczyznę transmisji analizatora. $A_2 = A_1 \cos \theta$

Ponieważ natężenie światła jest równe kwadratowi amplitudy, wobec tego $I_2 = I_1 \cos^2 \theta$. Każda absorpcja w polaryzatorze wprowadzi do tego równania pewną stałą, ale nie zmieni to zależności względnego natężenia od $\cos^2 \theta$. Prawo Malusa jest spełniane ściśle.

2.4 Ćwierćfalówka i jej działanie

Płytką krystaliczną, która wytwarza pomiędzy promieniami zwyčajnym i nadzwyczajnym przechodzącymi przez nią różnicę fazy $\frac{\lambda}{4}$ lub $\frac{3\lambda}{4}$. Odpowiada to różnicy dróg jednej czwartej lub trzem czwartym długości fali¹. Ćwierćfalówki najczęściej wykonane są z miki. Ćwierćfalówka daje różnicę fazy równą $\frac{\pi}{2}$ promieni o określonej długości fali; dla innych długości fal różnica

¹stąd nazwa „ćwierćfalówka”

fazy jest inna. Najczęściej ćwierćfalówki wykonane są tak, aby otrzymać różnicę fazy $\frac{\pi}{2}$ dla barwy odpowiadającej żółtej linii sodowej lub najśilniejszym liniom widma rtęci.

Spośród dwóch kierunków drgań rozchodzących się z większą prędkością nazywamy pierwszym azymutem ćwierćfalówki, zaś kierunek drgania rozchodzącego się z prędkością mniejszą – drugim azymutem. Zazwyczaj ustawiamy ćwierćfalówkę w ten sposób, by pierwszy azymut leżał w płaszczyźnie pionowej.

Jeżeli płaszczyzna polaryzacji światła padającego na ćwierćfalówkę jest równoległa do jednego z azymutów, to światło przechodzące jest nadal spolaryzowane liniowo. Gdy płaszczyzna polaryzacji światła padającego na ćwierćfalówkę tworzy pewien kąt $\alpha \neq 0$ z azymutami, wtedy drganie światła rozkłada się na dwie składowe: zwyczajną i nadzwyczajną. Każda z nich rozchodzi się z inną prędkością i po przejściu przez płytkę powstaje różnica faz $\pm \frac{\lambda}{4}$. Stąd też obydwie fale nakładając się dają w wyniku światło spolaryzowane wliptycznie. W szczególnym przypadku, gdy płaszczyzna polaryzacji światła padającego tworzy z azymutami kąt $\alpha = \frac{\pi}{4}$, otrzymujemy światło spolaryzowane kołowo.

2.5 W jaki sposób sprawdzić, czy światło jest spolaryzowane liniowo?

przy obrocie polaryzatora wiązka zmienia natężenie aż w pewnym położeniu zostaje całkowicie wygaszona

2.6 W jaki sposób zmienić liniową polaryzację światła na kołową lub eliptyczną?

1. liniowa na kołową: ustawiamy ćwierćfalówkę w pozycji dwusiecznej pomiędzy azymutami.
2. liniowa na eliptyczną: dowolne inne położenie ćwierćfalówki.

2.7 W jaki sposób wyznaczyć azymuty ćwierćfalówki?

wszystkie kroki co przy wyznaczaniu osi elipsy. Gdy azymuty ćwierćfalówki są równoległe do półośi elipsy, wtedy światło przechodzące zyskuje dodatkową różnicę faz $\pm \frac{\lambda}{4}$, co łącznie z istniejącą w świetle spolaryzowanym eliptycznie różnicą faz daje światło spolaryzowane liniowo.

2.8 W jaki sposób wyznaczyć kierunki osi głównych polaryzacji eliptycznej?

badamy światło za pomocą polaryzatora. kierunek płaszczyzny polaryzacji polaryzatora jest równoległy do odpowiedniej osi elipsy gdy przepuszcza maksimum lub minimum światła.

2.9 W jaki sposób sprawdzić, czy światło jest spolaryzowane eliptycznie lub kołowo?

1. kołowo - przy obrocie polaryzotorem wiązka nie zmienia natężenie. wprowadzamy ćwierćfalówkę przed polaryzator. Jeżeli obserwujemy zmiany natężenia takie, że następuje w pewnym momencie całkowite wygaszenie.

2. eliptycznie - przy obrocie polaryzatorem obserwujemy zmiany natężenia. wprowadzamy ćwierćfalówkę przed polaryzator tak aby jeden z azymutów był równoległy do płaszczyzny transmisji polaryzatora. Obracamy polaryzatorem. Gdy obserwujemy pełne wygaszenie to światło było spolaryzowane eliptycznie

3 opracowanie wyników

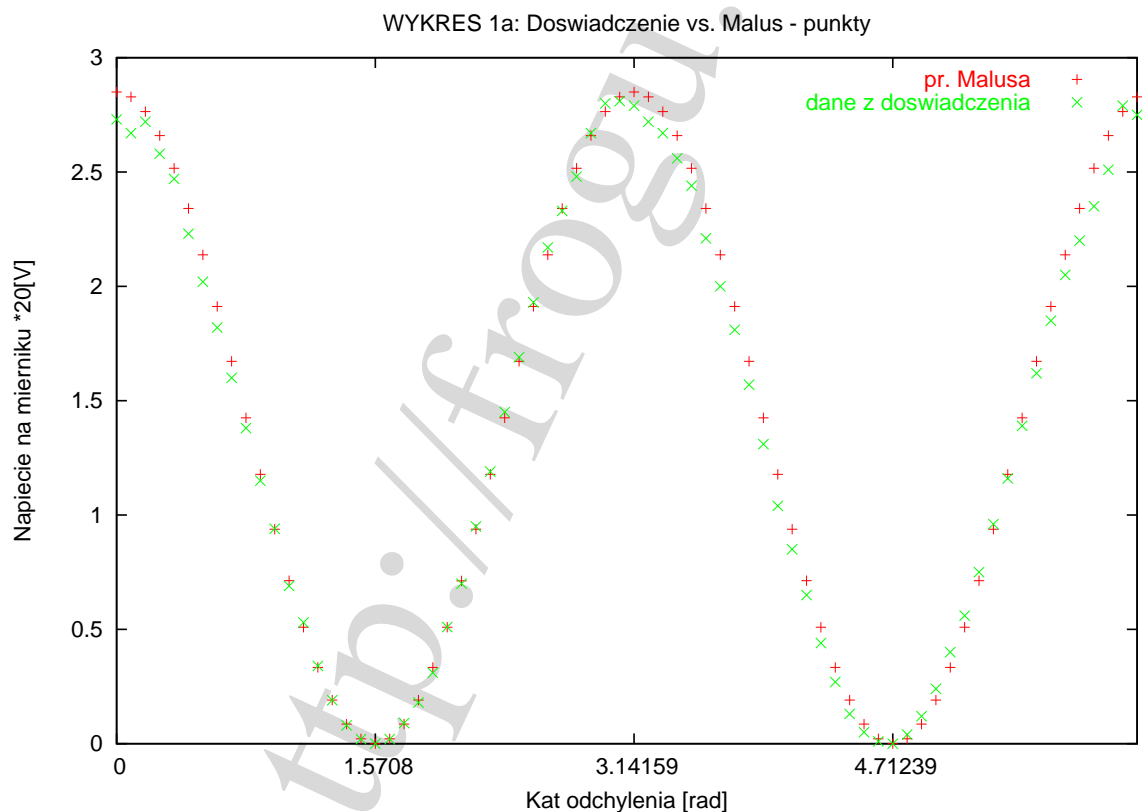
3.1 sprawdzanie stanu polaryzacji światła laserowego

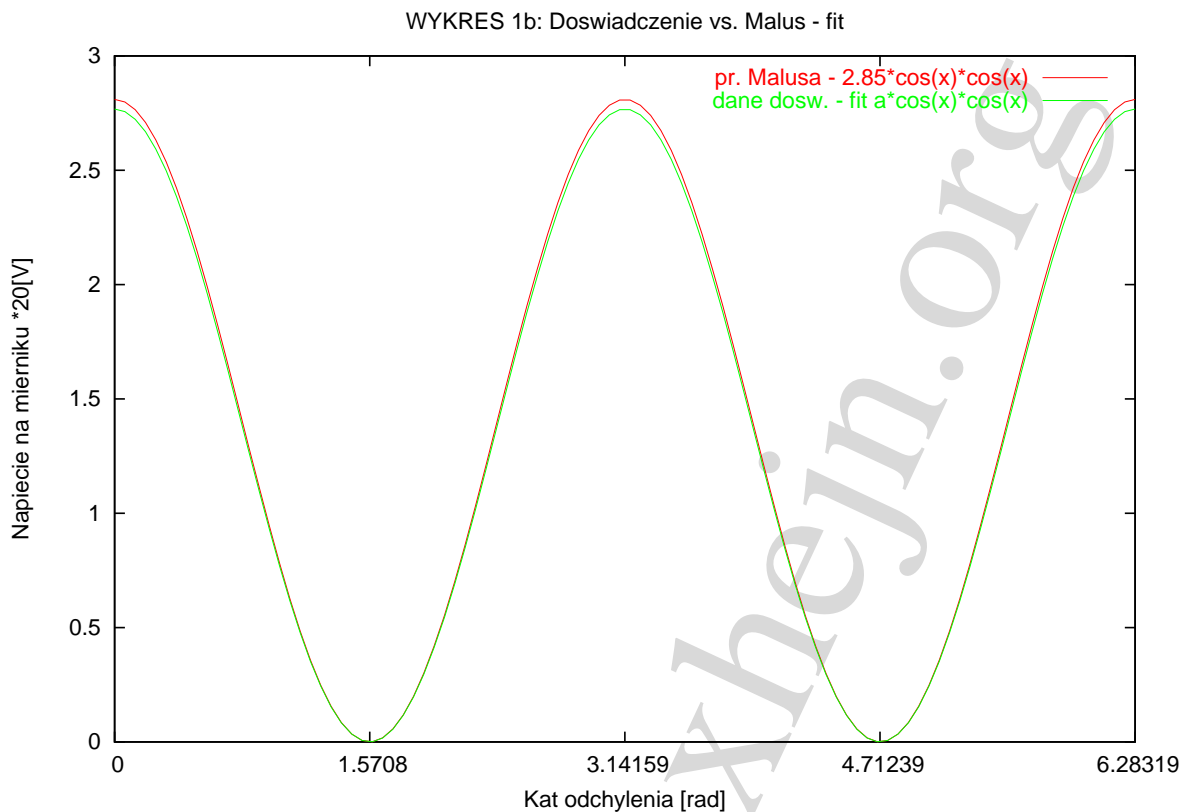
W części tej zestaw doświadczalny składał się z lasera, polaryzatora, matówki oraz detektora natężenia światła. Polaryzator obracałem o 5° notując przy tym wartość natężenia światła dla każdego położenia. (dane znajdują się w „tabeli 1”.)

Analizując dane określiłem minimalne natężenie światła docierającego do detektora. Wartość ta (0,04) występuje dla kąta 100° a więc płaszczyzna transmisji polaryzatora leży na osi $190^\circ - 10^\circ$. Dla dalszych obliczeń przyjąłem 10° jako 0° .

Aby uwzględnić istnienie tła, od każdej otrzymanej wartości natężenia odjąłem 0,04.

Aby sprawdzić prawo Malusa ($I = I_0 \cos^2(\theta)$) wykonałem dwa wykresy na których naniosłem dwie serie danych: natężenia zaobserwowane i natężenia obliczone z prawa Malusa, oraz dwie krzywe obrazujące: teoretyczne prawo Malusa ($I = I_0 \cos^2(x)$, gdzie $a = 2,85$), oraz dopasowanie krzywej do wyników doświadczenia ($y = a \cos^2(x)$). Dopasowania krzywej $y = a \cos^2(x)$ dokonałem za pomocą programu „gnuplot”. Dopasowanie dokonywane jest metodą „nieliniowych najmniejszych kwadratów”, przy wykorzystaniu algorytmu „Marquadrat-Lavenberg”. Otrzymana wartość a wynosi $2,7675 \pm 0,0096(0,35\%)$.





Obesrwując wykresy stwierdzić można, że założenie o liniowej polaryzacji światła jest prawidłowe. Występują minima i maksyma natężenia. Minima odpowiadają wartości 0, czyli całkowitemu wygaszeniu wiązki światła laserowego.

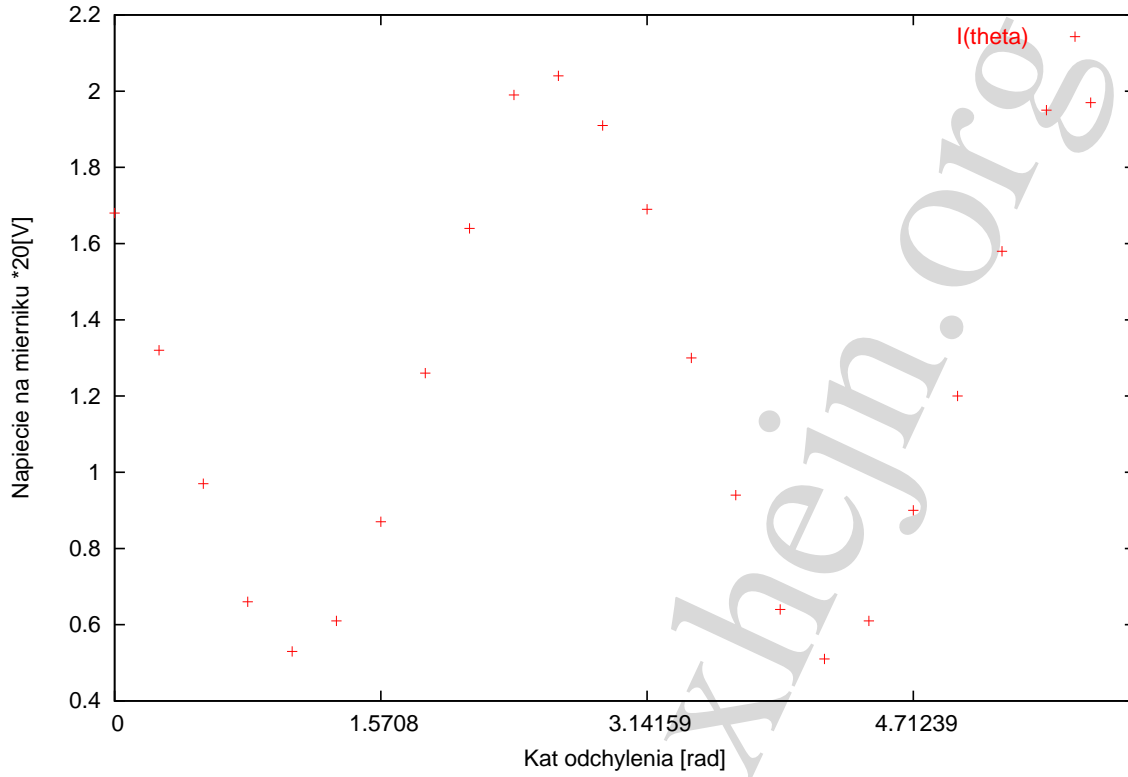
3.2 polaryzacja eliptyczna i kołowa

Określiłem azymuty ćwierćfalówek (tabela 2).

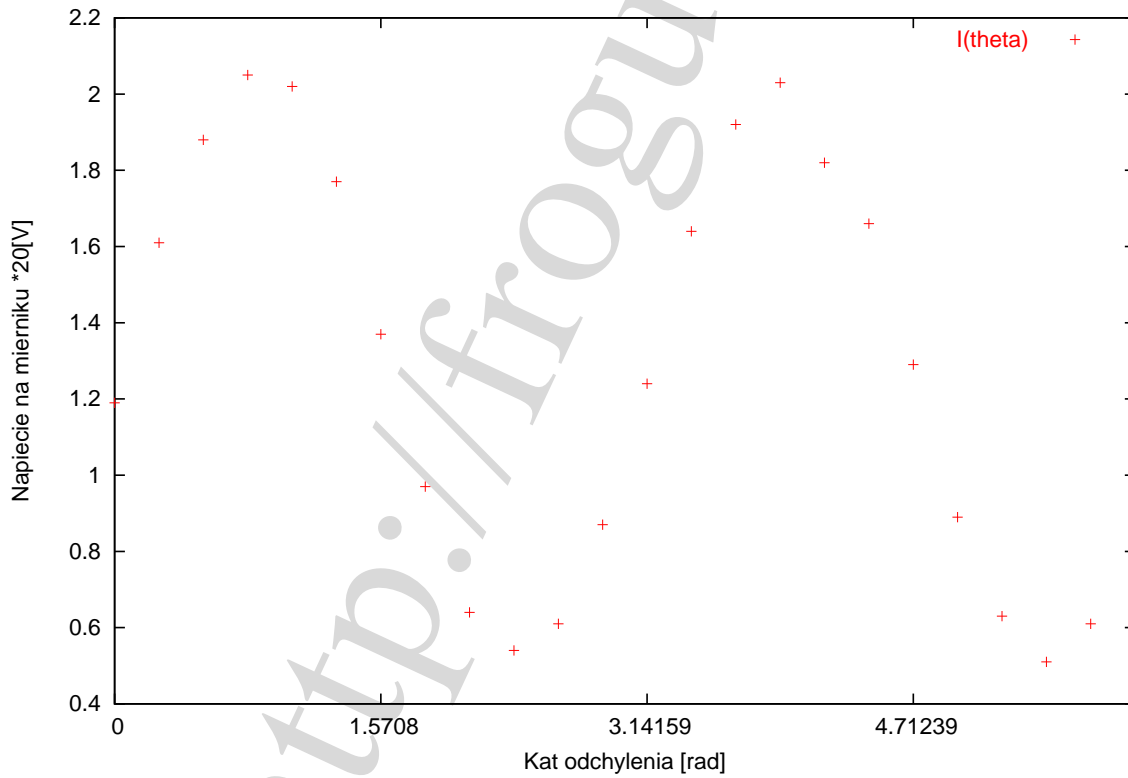
Aby uzyskać polaryzację kołową z liniowej wstawiłem pierwszą ćwierćfalówkę w pozycji dwusiecznej (135°). Notowałem wskazania miernika co 15° .

Aby uzyskać polaryzację eliptyczną z liniowej ustawiłem tę ćwierćfalówkę w dowolnym innym położeniu (100°). Notowałem wskazania miernika co 15° .

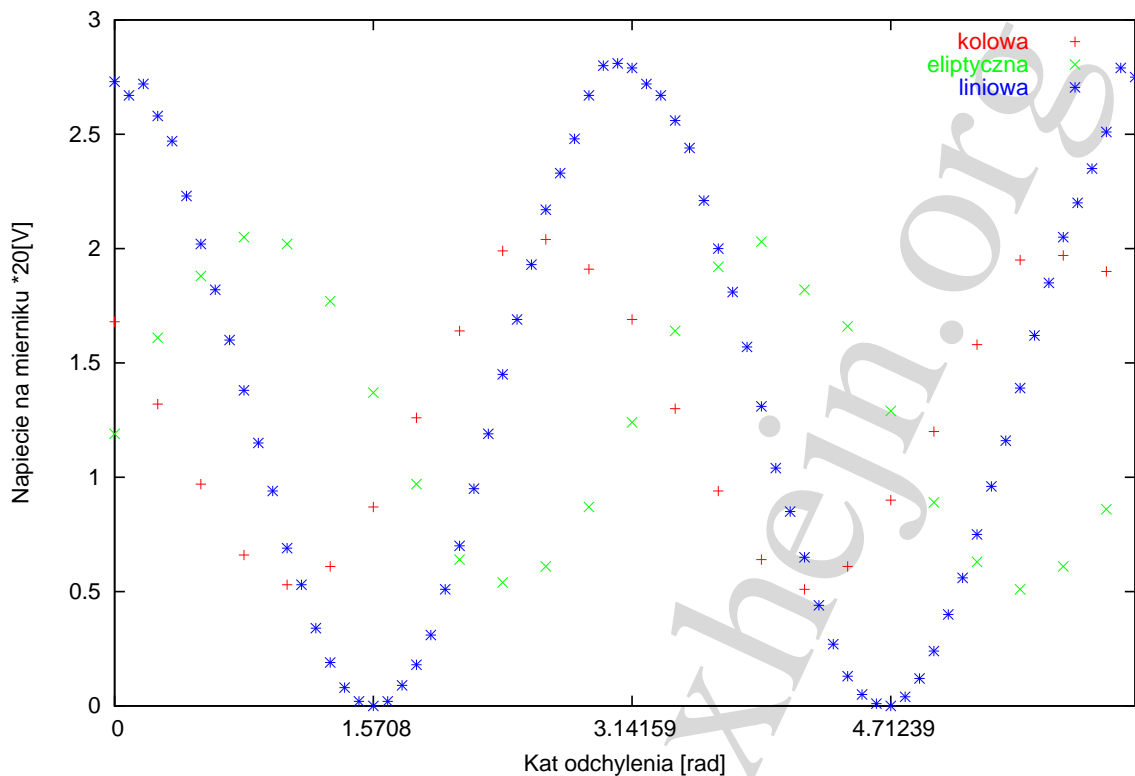
WYKRES 2: Polaryzacja eliptyczna



WYKRES 3: Polaryzacja kolowa



WYKRES 4: zestawienie



Porównując wyniki z odpowiednią tabelą² doszedłem do wniosku, że uzyskałem polaryzację różniącą się trochę od oczekiwanej.

Śledząc odpowiednie pozycje w tabeli doszedłem do wniosku, że w wyniku doświadczenia uzyskałem mieszaninę oczekiwanej polaryzacji światła wraz ze światłem niespolaryzowanym. Czego po przemyśleniu zagadnienia można się było spodziewać. Wykonywałem doświadczenie w częściowo oświetlonym pomieszczeniu.

3.3 sprawdzenie polaryzacji eliptycznej

Wprowadziłem drugą ćwierćfalówkę między polaryzator a pierwszą ćwierćfalówkę. Obracałem polaryzator w poszukiwaniu całkowitego wygaszenia światła. Takowe otrzymałem dla kątów 35° oraz 210° .

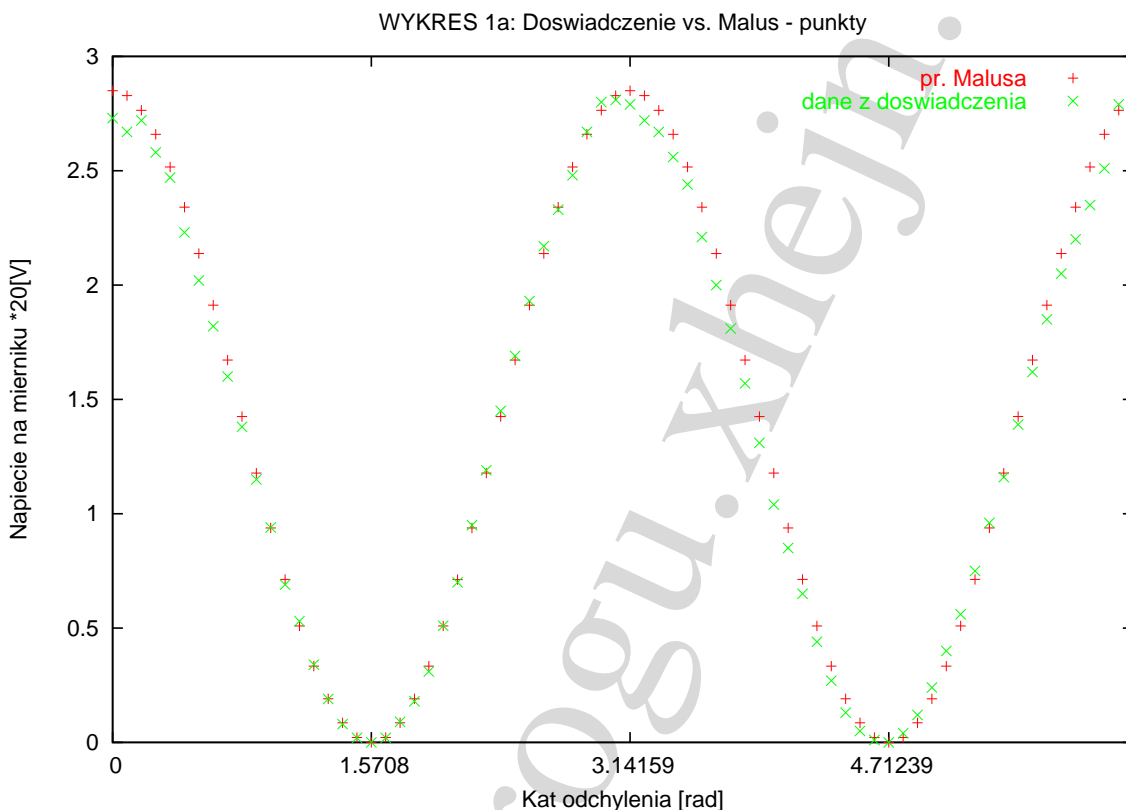
Kierunek osi głównych elipsy to: duża: 316° , mała: 45° .

²J. R. Meyer-Arendt „Wstęp do optyki” Warszawa-1977, str 250, tabela 1 „Analiza światła o nieznannej polaryzacji”

4 poprawa

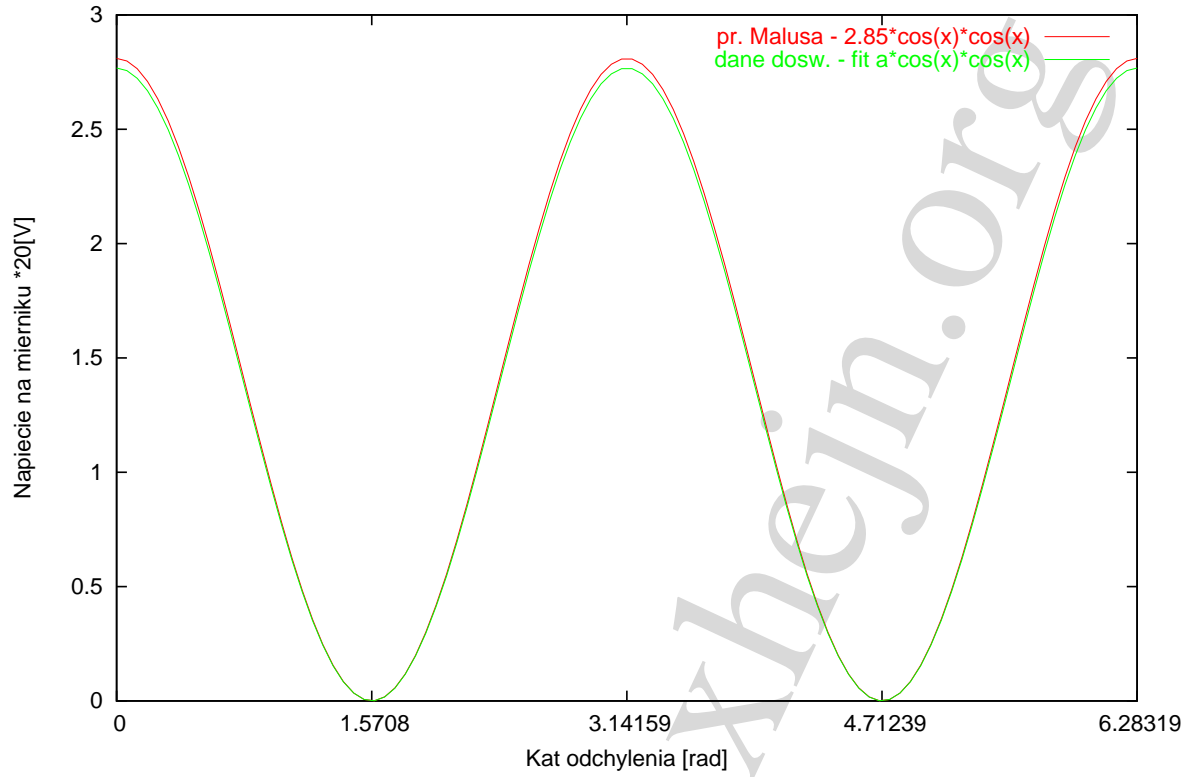
4.1 Ad 3.1 - sprawdzanie stanu polaryzacji światła laserowego

Na Wykresie 1a wykreśliłem punkty obrazujące dane doświadczalne (kolor zielony) oraz punkty jakie według teorii powinienem uzyskać (kolor czerwony). Wykres ten obrazuje zależność natężenia światła od kąta odchylenia płaszczyzny transmisji analizatora (w radianach). Punkty Teoretyczne uzyskałem stosując prawo Malusa: $I = I_0 \cos^2(\theta)$ do ustawianych odchyłeń analizatora. Jako I_0 przyjąłem maksymalną wartość natężenia jaką uzyskałem podczas pomiarów ($I_0 = 2,85$).



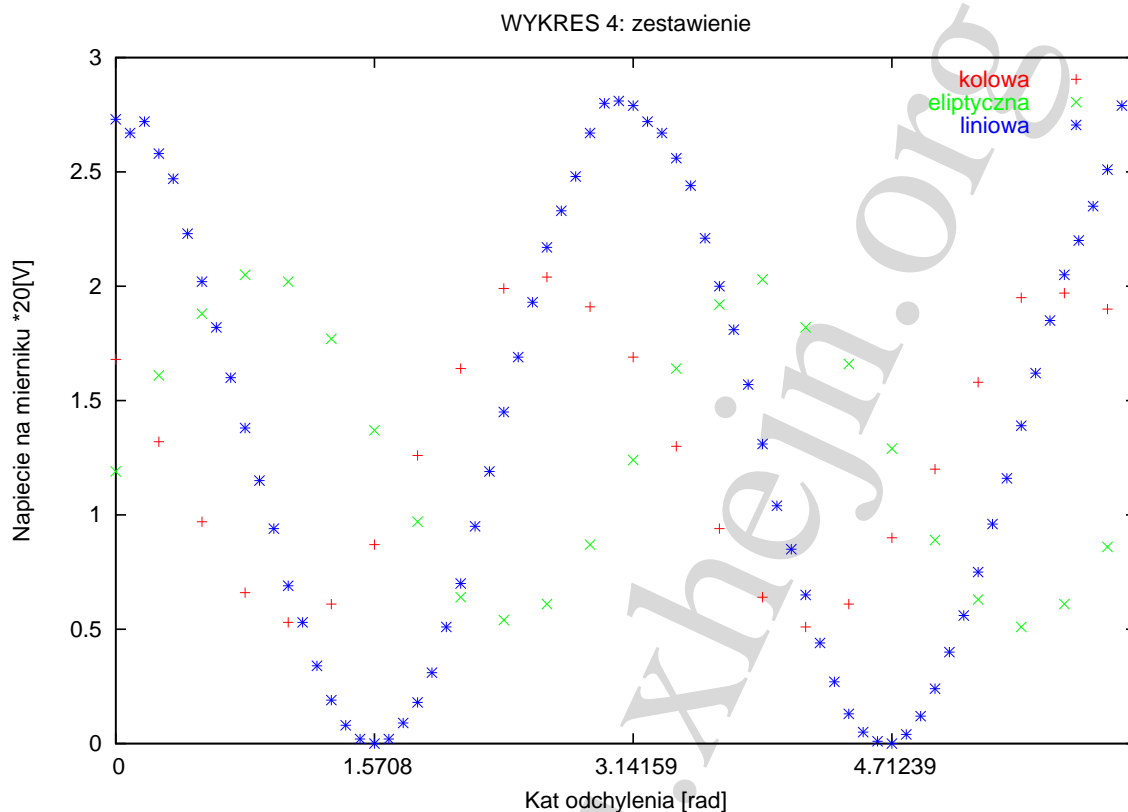
Następnie dokonałem za pomocą programu „gnuplot” dopasowania krzywej $y = a \cos^2(x)$ do danych doświadczalnych (kolor zielony) otrzymany parametr z „fitu” to $2,7675 \pm 0,0096(0,35\%)$. Wykreśliłem krzywą teoretyczną $I = 2,85 \cos^2(x = \theta)$ obrazującą prawo Malusa. Obie krzywe umieściłem na wykresie 1b. Patrząc na wykres stwierdziłem, że założenie o liniowej polaryzacji światła jest prawidłowe. Występują minima i maksyma natężenia światła (gdzie minimum=0). Stwierdziłem także, że prawo Malusa jest spełnione z dokładnością do stałej (krzywa teoretyczna ma trochę większą amplitudę niż krzywa dopasowana do danych doświadczalnych). Znaczy to, że polaryzator abosbuje pewną część światła.

WYKRES 1b: Doswiadczenie vs. Malus - fit



<http://frogu.xhejn.org>

4.2 Ad 3.2 polaryzacja eliptyczna i kołowa



Analizując otrzymane dane stwierdzam, że polaryzacje światła jakie otrzymałem zgadzają się z przewidywaniami. Podczas badania natężenia światła otrzymałem minima i maksyma natężenia. Udało mi się uzyskać polaryzację eliptyczną, lecz nie kołową. Wnioskuję tak, ponieważ gdyby na polaryzator padało światło spolaryzowane kołowo, zawsze przepuszczałby on taką samą ilość światła niezależnie od odczylenia. Polaryzacja kołowa polega na tym, że stały co do wartości wektor elektryczny „obraca się” wokół promienia światelnego. Światło po przejściu przez polaryzator powinno być spolaryzowane liniowo i mieć stałe natężenie niezależnie od ustawienia polaryzatora.

W obu przypadkach uzyskałem światło spolaryzowane eliptycznie. Oczekiwana polaryzacja „kołowa” okazała się być także eliptyczną, lecz przesuniętą w fazie do poprzedniej.

4.3 Ad 3.3 sprawdzanie polaryzacji eliptycznej

Układ składa się z lasera, ćwierćfalówki, polaryzatora i detektora. Ćwierćfalówka ustawiona jest w położeniu 100° . Wprowadzam drugą ćwierćfalówkę. Ustawiam drugą ćwierćfalówkę tak aby całkowita różnica w fazie wynosiła π . W ten sposób otrzymuję światło spolaryzowane liniowo przeciwne w fazie do światła emitowanego przez laser. Następnie obracając polaryzator poszukuję położenia, w którym obserwuję całkowite wygaszenie światła (takie jest dla 35° oraz 210°).