

Ćwiczenie 62

Sprawdzenie prawa Malusa

1 Przebieg doświadczenia

1.1 Przyrządy pomiarowe

- Podziałka kątowna oprawki polaroidu, działka minimalna $\delta_\theta = 5[^\circ]$.
- Mikroamperomierz, działka minimalna $\delta_I = 0,1[\mu\text{A}]$.

1.2 Wyniki pomiarów

W tabeli 1 na stronie 2 zamieszczono wyniki pomiarów natężenia światła w zależności od obrotów polaroidu, wyniki obliczeń $F(\theta)$ oraz wyniki pomiarów stabilności I_{max} . Zaparowana oryginalna tabela pomiarów – załączona.

1.3 Wyniki doświadczenia

Wykresy zależności $F(\theta)$ i $\cos^2 \theta$ zamieszczono na stronie 5.

2 Opis doświadczenia

2.1 Opis teoretyczny

Światło jest *falą elektromagnetyczną*, tj. falowym zaburzeniem pola elektrycznego i magnetycznego w przestrzeni. Jednym z jego źródeł są atomy, drgające przy przechodzeniu ze *stanu wzbudzonego do podstawowego*. W takim przypadku pole zaburzone jest tylko w kierunku drgnięcia, zatem pojedynczy tak wyemitowany kwant światła jest *spolaryzowana liniowo*. Jednak wiązka światła pochodząca od wielu atomów drgających w losowych kierunkach jest *niespolaryzowana*.

Polaryzacja światła jest to zjawisko polegające na ograniczeniu kierunków zaburzeń pola elektromagnetycznego. Najczęściej spotykana jest *polaryzacja liniowa*, polegająca na tym, że zaburzenie zachodzi tylko w jednym, wyróżnionym kierunku. Wyróżnia się też *polaryzację kołową*, taką, że maksymalne zaburzenie zatacza w przestrzeni spiralę wokół promienia świetlnego, która jest szczególnym przypadkiem *polaryzacji eliptycznej*.

Światło spolaryzowane liniowo uzyskać można na kilka sposobów. Dwa najważniejsze, wykorzystywane w doświadczeniu, to *ukierunkowana emisja* i *ukierunowana absorpcja*. Pierwszy z nich zachodzi w laserze: zasada jego działania wymusza na drgających atomach zgodność kierunku drgań. W laserze światło emitowane jest przez *ośrodek czynny* (tu: mieszanina helu i neonu), w którym tłumii się emisję spontaniczną (tj. o losowym

$\theta[^\circ]$	$I_{\uparrow}[\mu\text{A}]$	$I_{\downarrow}[\mu\text{A}]$	F	$\theta[^\circ]$	$I_{\uparrow}[\mu\text{A}]$	$I_{\downarrow}[\mu\text{A}]$	F
0	91,5	89,6	0,987	180	92,0	92,0	1,002
5	91,0	89,3	0,982	185	91,5	90,5	0,991
10	89,0	88,0	0,964	190	88,5	87,5	0,959
15	86,0	85,0	0,932	195	84,5	84,5	0,921
20	81,5	80,6	0,883	200	79,0	80,5	0,869
25	76,0	75,1	0,823	205	72,5	75,0	0,804
30	70,0	68,6	0,755	210	68,0	68,2	0,742
35	62,5	61,3	0,674	215	60,0	60,0	0,654
40	55,0	54,1	0,594	220	52,0	52,5	0,569
45	47,0	44,9	0,501	225	44,5	44,2	0,483
50	38,5	37,7	0,415	230	36,5	37,0	0,400
55	30,5	29,8	0,328	235	28,5	28,7	0,312
60	23,5	22,4	0,250	240	21,5	21,8	0,236
65	16,5	15,9	0,177	245	15,0	14,9	0,163
70	11,0	11,0	0,120	250	9,9	10,0	0,108
75	6,0	6,1	0,066	255	5,5	5,6	0,060
80	2,7	2,7	0,029	260	2,5	2,4	0,027
85	0,7	0,6	0,007	265	0,6	0,7	0,007
90	0,0	0,0	0,000	270	0,0	0,0	0,000
95	0,7	0,7	0,008	275	0,7	0,7	0,008
100	2,9	2,9	0,032	280	2,8	2,8	0,031
105	6,4	6,5	0,070	285	6,1	5,9	0,065
110	11,1	10,8	0,119	290	10,6	10,3	0,114
115	17,0	16,5	0,182	295	16,0	15,7	0,173
120	24,1	23,5	0,259	300	22,2	22,3	0,242
125	31,5	30,7	0,339	305	29,2	29,6	0,320
130	39,0	38,7	0,423	310	36,5	37,3	0,402
135	47,5	46,5	0,512	315	45,5	44,8	0,492
140	55,5	54,7	0,600	320	52,9	53,0	0,577
145	63,5	62,0	0,684	325	61,5	61,5	0,670
150	70,0	69,4	0,759	330	68,5	68,0	0,744
155	76,5	75,6	0,829	335	74,8	75,0	0,816
160	83,0	81,1	0,894	340	81,0	81,0	0,883
165	86,5	86,3	0,941	345	85,0	85,0	0,926
170	90,0	89,6	0,978	350	89,5	88,7	0,971
175	91,5	92,0	1,000	355	91,0	91,5	0,994
-	-	-	-	360	92,0	92,6	1,006

$t[\text{s}]$	$I_{max}[\mu\text{A}]$	$t[\text{s}]$	$I_{max}[\mu\text{A}]$	$t[\text{s}]$	$I_{max}[\mu\text{A}]$	$t[\text{s}]$	$I_{max}[\mu\text{A}]$
0	92,2	80	92,4	160	91,8	240	91,6
20	90,4	100	90,5	180	92,1	260	92,2
40	92,7	120	92,7	200	91,1	280	91,8
60	91,7	140	91,8	220	92,7	300	90,9

Tabela 1: Pomiary doświadczalne

kierunku drgań) poprzez *pompowanie* ośrodka (tu: przepływ prądu przez ośrodek), czyli doprowadzenie do niego energii tak, by zaszła *inwersja obsadzeń* – czyli sytuacja, gdy więcej atomów jest w stanie wzbudzonym, niż w stanie podstawowym. Gdy zainicjuje się lawinowy proces emisji wymuszonej, układ optyczny (tu: para lusterek, w jednego półprzepuszczalnego) spełnia rolę rezonatora dla fal świetlnych poruszających się wewnątrz niego. Sprawia to, że zanikają fale o częstości i kierunku polaryzacji innym niż pewien szczególnie dla danego lasera (tu: $\lambda = 632,8\text{nm}$), te zaś są wzmacniane i wypromieniowywane. Absorpcja ukierunkowana zachodzi w niektórych tworzywach – najczęściej sztucznych, o strukturze długich włókien polimerowych, ułożonych – dzięki procesom produkcji – w równoległe pasma. Materiał taki, zwany polaroidem, pochłania drgania pola zgodne z kierunkiem włókien: zaburzenie pola zamienia się w polaroidzie w mikroprąd, którego energia jest rozproszona jako ciepło. Można jeszcze wspomnieć o polaryzacji przez odbicie, która zachodzi, gdy promień odbity jest prostopadły do promienia załamane. Z prawa Snella łatwo wywnioskować, że ten szczególnie kąt padania (zwany *kątem Brewstera*), przy którym zachodzi to zjawisko, spełnia

$$\operatorname{tg} \theta_B = \frac{n_2}{n_1}, \quad (1)$$

gdzie $n_1 < n_2$ to współczynniki załamania ośrodków. Promień załamany jest spolaryzowany w płaszczyźnie, w której zaszło zjawisko, promień odbity – prostopadle do niej.

Prawo Malusa określa stosunek natężenia światła spolaryzowanego przed i po przejściu przez polaryzator. Jeśli θ to kąt pomiędzy płaszczyzną polaryzacji światła i płaszczyzną polaryzacji polaryzatora, to zachodzi

$$E = E_0 \cos \theta \quad (2)$$

gdzie E_0, E to natężenie pola odpowiednio przed i po przejściu przez polaryzator. Skoro natężenie fali I zmienia się z kwadratem amplitudy drgań, to ostatecznie

$$I = I_0 \cos^2 \theta. \quad (3)$$

2.2 Opis układu doświadczalnego

Układ pomiarowy składa się z szyny, na której samocowano laser helowo-neonowy, polaroid w obrotowej, wyskalowanej oprawce, i fotodiodę połączoną z mikroamperomierzem. Po sprawdzeniu, że dla ustawień polaroidu $\theta = 90^\circ, 270^\circ$ natężenie fotoprądu spada do zera, a dla $\theta = 0^\circ, 180^\circ$ osiąga wartości maksymalne, zmierzono natężenie fotoprądu I dla kątów z zakresu $0^\circ, 360^\circ$ co 5° . Następnie przez 5min mierzono natężenie fotoprądu dla $\theta = 0^\circ$, zapisując wyniki co 20s. Na końcu powtórzono pomiary przy zmniejszonym θ .

3 Obliczenia

3.1 Opracowanie wyników

Maksymalne natężenie fotoprądu obliczamy jako średnią szesnastu pomiarów przy $\theta = 0$:

$$I_{max} = 91,78[\mu\text{A}] \quad (4)$$

$F(\theta)$ dla każdej wartości θ podano w tabeli 1; wyznaczono je ze wzoru

$$F = \frac{I - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} = \frac{I}{I_{max}} = \frac{I_{\uparrow} + I_{\downarrow}}{2I_{max}} \quad (5)$$

wobec faktu $I_{min} = 0$. W powyższym wzorze $I = \frac{I_{\uparrow} + I_{\downarrow}}{2}$, zaś I_{\uparrow} i I_{\downarrow} oznaczają natężenie odpowiednio przy zwiększonym i zmniejszonym θ .

3.2 Rachunek błędów

Zgodnie z zasadą obliczania niepewności pomiarowych typu A otrzymano

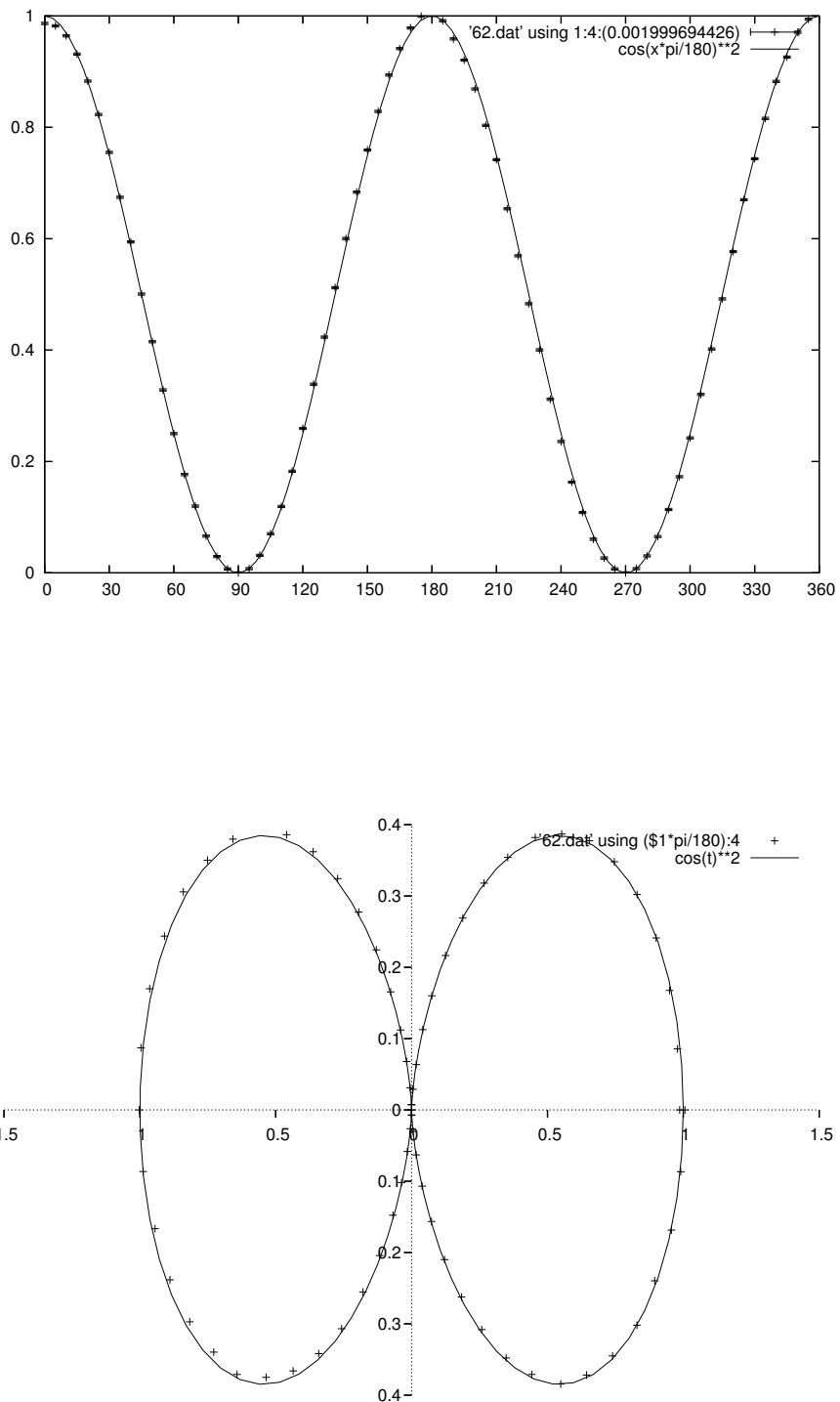
$$u(I_{max}) = 0,18[\mu\text{A}] \quad (6)$$

$$\frac{u(I_{max})}{I_{max}} = 2\% \quad (7)$$

Tę ostatnią wartość zaznaczono na wykresie 1 jako niepewność $F(\alpha)$.

4 Wnioski

Na wykresach zależności $F(\theta)$ i $\cos^2 \theta$ na stronie 5 widać, że punkty pomiarowe leżą bardzo blisko teoretycznej krzywej. Wynik doświadczenia jest bardzo dobry, mimo że odczyty mikroamperomierza (przy wysokich wskazaniach) były utrudnione przez niestabilność wskazań. Dzięki zaciemnieniu sali udało się uzyskać zerowe wskazania mikroamperomierza przy $\theta = 90^\circ, 270^\circ$.



Rysunek 1: Wykres $F(\theta)$ i $\cos^2 \theta$ w układach współrzędnych kartezjańskim i biegunowym