

Университет ИТМО, кафедра ВТ

Лабораторная работа №3 (23) по Физике

Работу выполнил
студент группы Р3200
Рогов Я. С.

Преподаватели:
Зинчик А.А.

Санкт-Петербург, 2016

Задание

Изучение поляризации света и законов Малюса и Брюстера.

Цель

Исследование характера поляризации лазерного излучения и экспериментальная проверка законов Малюса и Брюстера.

Краткое теоретическое введение

Поперечные волны обладают особым, присущим только им, свойством, известным под названием поляризация. Под этим понимается пространственное соотношение между направлением распространения светового луча и направлением колебания вектора напряженности электрического E (или магнитного M) поля.

Если при распространении световой волны направление колебаний электрического вектора E бессистемно, хаотически изменяется с равной амплитудой и, следовательно, любое его направление в плоскости, перпендикулярной распространению волны, равновероятно, то такой свет называют неполяризованным, или естественным. Если колебания электрического вектора фиксированы строго в одном направлении, свет называется линейно- или плоско-поляризованным. В этом случае плоскость, образованная направлением распространения электромагнитной волны и направлением колебаний вектора напряженности электрического поля, называется плоскостью поляризации электромагнитной волны.

Для анализа поляризации света применяются устройства, называемые поляризаторами. Поляризатор пропускает свет с определенной ориентацией вектора E . Прошедший через поляризатор свет всегда линейно поляризован.

Поляризаторы можно использовать и в качестве анализаторов – для определения характера и степени поляризации интересующего нас света. Пусть на анализатор падает линейно-поляризованный свет, вектор E_1 которого составляет угол φ с плоскостью пропускания P (рис. 3, где направление светового пучка перпендикулярно к плоскости рисунка). Анализатор пропускает только ту составляющую вектора E_1 , которая параллельна его плоскости пропускания P , т. е. $E_2 = E_1 \cos \varphi$. Интенсивность пропорциональна квадрату модуля светового вектора ($I \sim E^2$), поэтому интенсивность прошедшего света:

$$I_2 = I_1 \cos^2 \varphi$$

где I_1 — интенсивность падающего плоско-поляризованного света. Это соотношение было установлено в 1810 г. французским физиком Этьеном Луи Малюсом и носит название закона Малюса.

Поляризация света наблюдается при отражении и преломлении света на границе прозрачных изотропных диэлектриков. Если угол падения естественного света на границу раздела двух прозрачных диэлектриков отличен от нуля, то отраженный и преломленный пучки оказываются частично-поляризованными (рис. 1). В отраженном свете преобладают колебания вектора \vec{E} , перпендикулярные к плоскости падения, а в преломленном свете – параллельные плоскости падения. Степень поляризации обеих волн (отраженной и преломленной) зависит от угла падения. Соответствующую зависимость в 1815 г.

установил шотландец Дэвид Брюстер. Как показали опыты, отраженный луч оказывается полностью поляризованным (колебания вектора в нем перпендикулярны плоскости падения) в случае, когда угол между отраженным и преломленным лучом равен 90° . Прошедший луч поляризован частично и содержит преимущественно параллельную составляющую вектора \vec{E} .

Объяснение эффекту Брюстера дал в 1823 г. один из создателей волновой теории света французский физик Огюст Френель. Он доказал, что коэффициенты отражения для света, поляризованного параллельно и перпендикулярно плоскости падения, равны

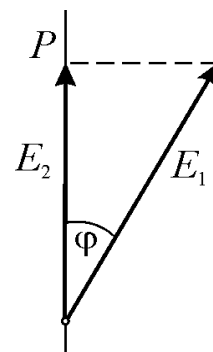


Рис. 1 Закон Малюса

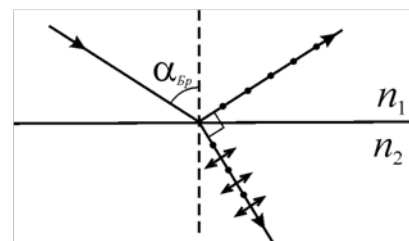


Рис. 1. Поведение света на границе раздела двух сред

$$R_{\parallel} = \left[\frac{\operatorname{tg}(\alpha - \beta)}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)} \right]^2; \quad R_{\perp} = \left[\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)} \right]^2$$

Значение угла, соответствующего полной поляризации отраженного луча, определяется из закона преломления:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha, \text{ т.е. } \operatorname{tg} \alpha_{\text{Бр}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

Соответствующий угол, $\alpha_{\text{Бр}}$, падения называют углом Брюстера.

Степень поляризации преломленной волны при угле падения, равном углу Брюстера, достигает максимального значения,

$$P = \frac{(n^2 - 1)^2}{2(n^2 + 1)^2 - (n^2 - 1)^2}$$

Обработка результатов

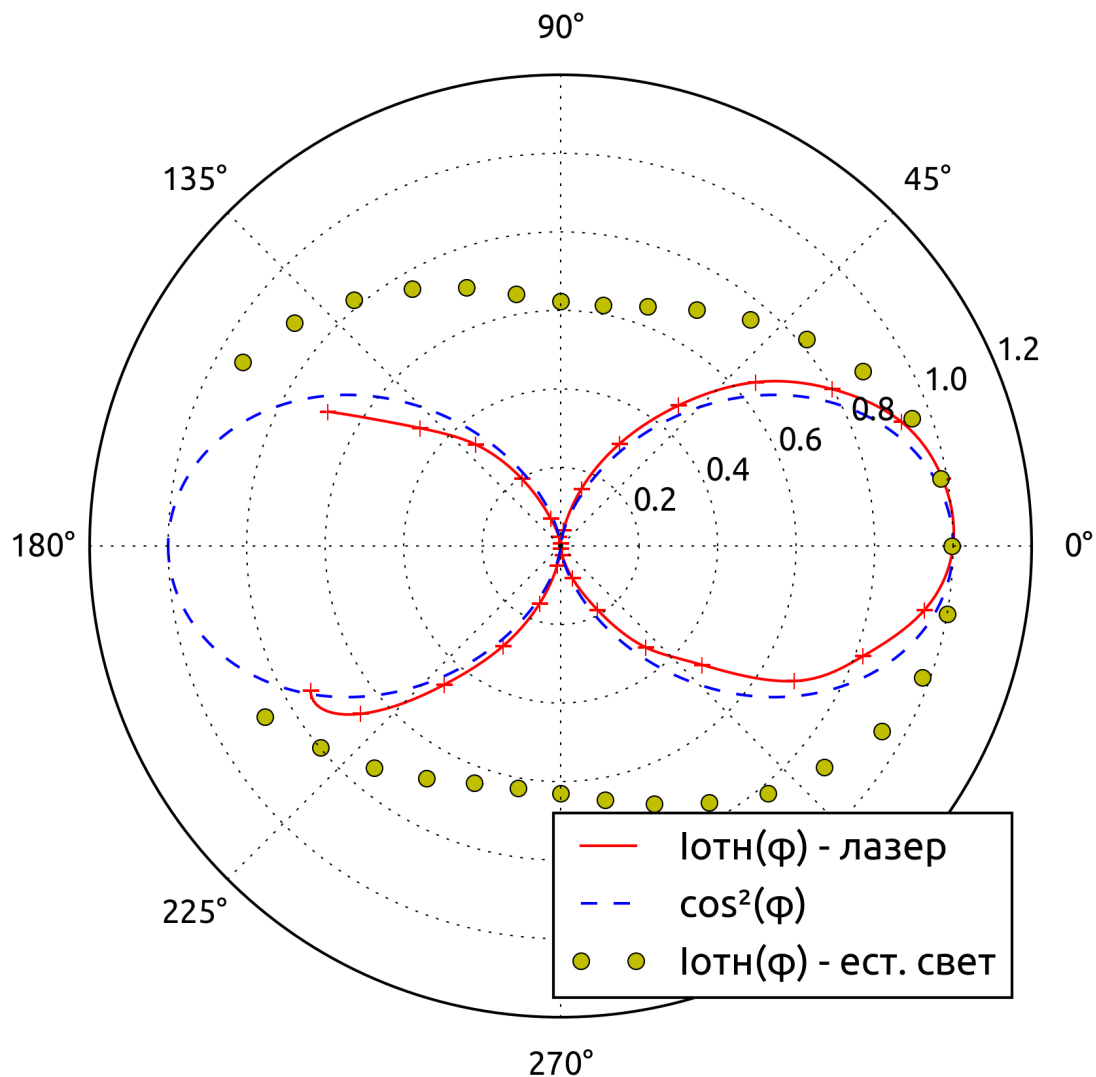
2.1. Найдём максимальное значение интенсивности излучения, прошедшего через поляризатор и получим нормированные относительно максимума значения.

Таблица 1

Таблица 2

	$I_{\max}=1.637$	$\varphi_{\max}=0$	$I_{\min}=0.012$	$\varphi_{\min}=+-90$	$I_{\max}=0.497$	$\varphi_{\max}=10$
$\varphi, ^\circ$	$I, \text{Вт/м}^2$	$I_{\text{отн}} = I/I_{\max}$	k_{\parallel}	k_{\perp}	$I, \text{Вт/м}^2$	$I_{\text{отн}} = I/I_{\max}$
150	1.12	0.69	1.46	0.01	0.43	0.869
140	0.77	0.47	2.14	0.02	0.4	0.799
130	0.55	0.34	2.96	0.02	0.37	0.738
120	0.32	0.2	5.05	0.04	0.34	0.684
110	0.12	0.08	13.31	0.1	0.32	0.642
100	0.04	0.02	40.93	0.3	0.31	0.626
90	0.01	0.01	136.42	1	0.31	0.63
80	0.07	0.04	24.43	0.18	0.33	0.656
70	0.25	0.16	6.47	0.05	0.35	0.698
60	0.49	0.3	3.32	0.02	0.38	0.755
50	0.76	0.47	2.14	0.02	0.41	0.823
40	1.06	0.65	1.54	0.01	0.44	0.877
30	1.31	0.8	1.25	0.01	0.47	0.944
20	1.51	0.92	1.08	0.01	0.49	0.98
10	1.62	0.99	1.01	0.01	0.5	1
0	1.64	1	1	0.01	0.5	0.996
-10	1.54	0.94	1.06	0.01	0.49	0.984
-20	1.34	0.82	1.22	0.01	0.47	0.952
-30	1.13	0.69	1.45	0.01	0.44	0.889
-40	0.77	0.47	2.12	0.02	0.41	0.819
-50	0.55	0.34	2.97	0.02	0.37	0.753
-60	0.31	0.19	5.32	0.04	0.35	0.694
-70	0.14	0.09	11.53	0.09	0.32	0.65
-80	0.04	0.02	41.97	0.31	0.31	0.622
-90	0.01	0.01	136.42	1	0.31	0.624
-100	0.08	0.05	19.72	0.15	0.32	0.652
-110	0.26	0.16	6.4	0.05	0.35	0.7
-120	0.48	0.3	3.39	0.03	0.38	0.757
-130	0.75	0.46	2.17	0.02	0.41	0.819
-140	1.09	0.67	1.5	0.01	0.44	0.885
-150	1.21	0.74	1.36	0.01	0.47	0.936

2.2. Построим график зависимости нормированной интенсивности от угла $I_{\text{отн}}(\varphi)$ в полярных координатах



Как видно на графике, полученные экспериментально значения полностью соответствуют Закону Малюса $I_2 = I_1 \cos^2 \varphi$.

2.3. Построим на той же координатной плоскости график функции (см п. 2.2)

$$r = \cos^2(\varphi - \varphi_m), \text{ а т.к. } \varphi_m = 0, \text{ то } r = \cos^2(\varphi)$$

Полученные графики совпадают (в пределах погрешности).

2.4. Найдём коэффициенты пропускания использованного поляроида для параллельной и перпендикулярной ориентации его плоскости пропускания по отношению направлению колебание вектора E в излучении лазера по формулам:

$$k_{\parallel} = \frac{I_{\text{max}}}{I_n}; \quad k_{\perp} = \frac{I_{\text{min}}}{I_n} \quad . \text{ Расчитанные значения добавим в таблицу 1.}$$

2.5. Степень поляризации излучения источника белого света вычислим по формуле:

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \frac{0.497 - 0.309}{0.497 + 0.309} \approx 0.233$$

2.6. Построим график по полученным значениям относительной интенсивности естественного света в зависимости от угла поворота поляризатора $I_{отн}(\varphi)$ (см. п. 2.2)

2.7. Найдём степень поляризации естественного света по формуле:

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}, \text{ а т.к. } \begin{cases} I_{min} = I_{-80^\circ} = 0.31 \\ I_{max} = I_{10^\circ} = 0.5 \end{cases}, \text{ то } P = \frac{0.5 - 0.31}{0.5 + 0.31} = 0.235,$$

т.е. поляризация естественного света в нашем случае равна 0.235

Вывод: в ходе выполнения данной лабораторной работы я исследовал характеры поляризации лазерного излучения и естественного света, а также проверил закон Малюса.