

Лабораторная работа 9 (3.1)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА, ПРОШЕДШЕГО СИСТЕМУ ПОЛЯРИЗАТОР – АНАЛИЗАТОР

Цель работы: ознакомление с явлениями поляризации света;
экспериментальная проверка закона Малюса.

Общие сведения

В соответствии с электромагнитной теорией свет – это электромагнитные волны. Возникновение и распространение электромагнитных волн полностью описывается системой уравнений Максвелла. В частности, из этих уравнений следует, что электромагнитные волны – поперечные, т.е. колебания векторов напряженности электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} полей происходят в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. На рис. I показана зависимость напряженностей E и H от расстояния в направлении распространения волны для гармонической электромагнитной волны в некоторый момент времени. У такой волны колебания вектора \vec{E} происходят в одной плоскости, проходящей через направление распространения (плоскость XU на рис. I, а). Поэтому такую волну называют плоскополяризованной (линейнополяризованной). Так как вектор напряженности магнитного поля \vec{H} в электромагнитной волне всегда перпендикулярен вектору \vec{E} (рис. I, б) достаточно рассматривать ориентацию только одного из этих векторов. Обычно анализируется поведение вектора напряженности электрического поля \vec{E} световой волны (его называют световым вектором).

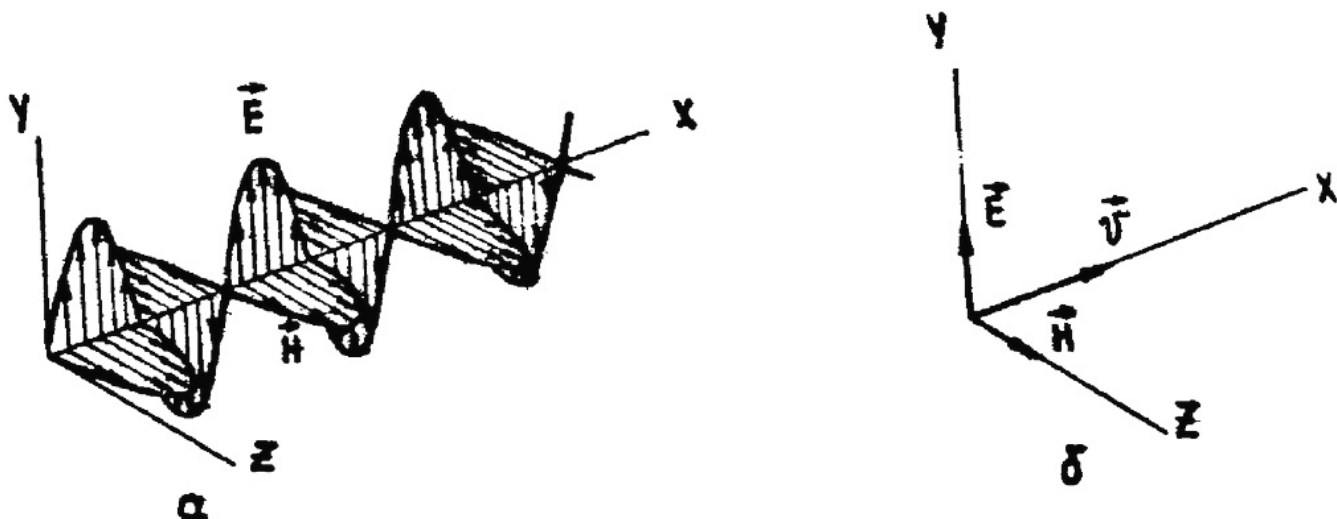


Рис. I

Если вектор \vec{E} в плоскости, перпендикулярной направлению распространения, с течением времени изменяется и по направлению и по величине совершенно хаотично (рис.2,а), свет называется неполяризованным. Неполяризованный свет, который часто называют естественным, испускают большинство тепловых источников (лампы накаливания, солнце и др.). Возможно такое поведение вектора \vec{E} , когда за период колебаний конец этого вектора описывает эллипс (рис.2,б). Такой свет называют эллиптически поляризованным. В частном случае эллипс может вырождаться в окружность (циркулярно-поляризованный свет) или прямую (линейно-поляризованный свет).

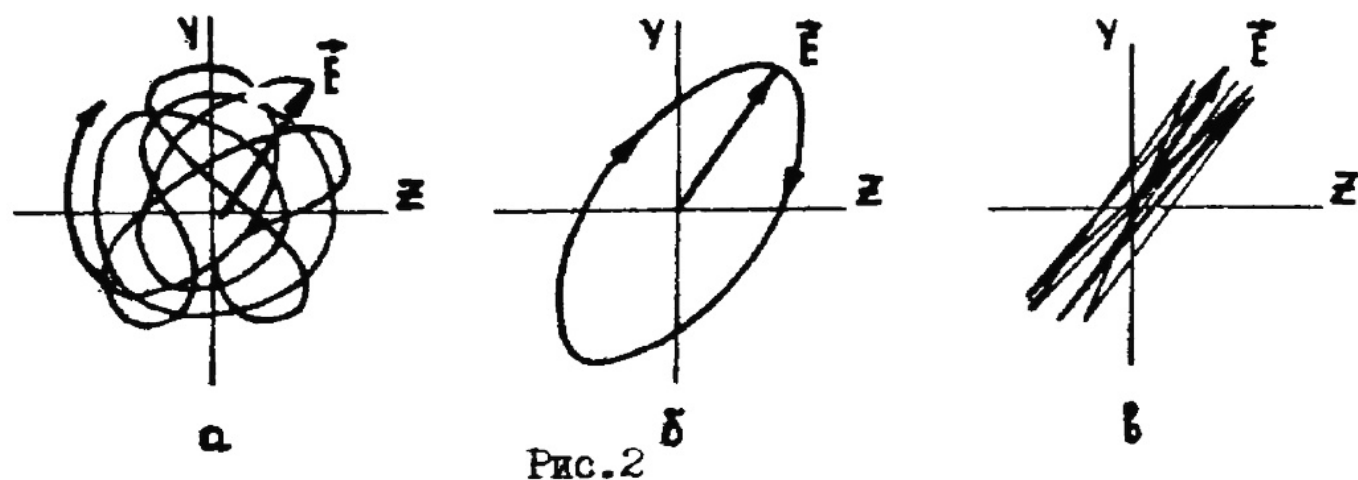


Рис.2

Возможен и часто встречается промежуточный случай, когда конец вектора \vec{E} описывает сложную незамкнутую линию, которая, однако, в большей или меньшей степени сосредоточена около прямой линии (рис.2,в). В этом случае говорят, что свет частично поляризован.

Получение поляризованного света из естественного возможно при разнообразных физических эффектах — прохождении света через анизотропные среды, отражении от диэлектриков и др. Устройства для получения поляризованного света называют поляризаторами. Поляризаторы пропускают колебания светового вектора, параллельные плоскости, называемой плоскостью поляризатора, и задерживают колебания, перпендикулярные этой плоскости.

Пусть естественный свет падает под углом α на границу раздела двух изотропных диэлектриков с показателями преломления n_1 и n_2 (рис.3,а). Обозначим напряженности электрического поля в падающей, отраженной и преломленной волнах соответственно E , E' , E'' . Падающую волну можно представить суперпозицией двух линейно-поляризованных волн с взаимно-перпендикулярными плоскостями колебаний: в одной из волн плоскость колебаний совпадает

ет с плоскостью падения, а другой — перпендикулярна ей. Напряженностям полей в таких волнах на рис.3 соответствуют индексы \parallel и \perp . Для естественного света $E_{\parallel} = E_{\perp}$. В отраженной и преломленной волнах соотношение между E_{\parallel} и E_{\perp} будет другим (зависящим от угла падения α , а также от n_1 и n_2). Таким образом, отраженная и преломленная световые волны будут частично-поляризованными. При падении света под углом α_0 , с удовлетворяющим условием

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}, \quad (I)$$

отраженный луч становится линейно-поляризованным в плоскости, перпендикулярной плоскости падения (рис.3,б). Преломленный луч при этом остается частично поляризованным с преобладающим направлением колебаний, лежащим в плоскости падения. Угол падения α_0 называется углом Брюстера. При падении света под углом α_0 отраженный и преломленный лучи взаимно-перпендикулярны (это можно показать, используя условие (I) и закон преломления

$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$). Явление полной поляризации света при отражении от границы раздела двух диэлектриков при выполнении условия (I) называют явлением Брюстера. Его можно использовать для получения поляризованного света. Но чаще всего в поляризаторах используется явление двойного лучепреломления, наблюдаемое в прозрачных анизотропных кристаллах. В таких поляризаторах тем или иным способом (призма Николя, дихроизм) выделяется одна из преломленных волн (обыкновенная или необыкновенная).

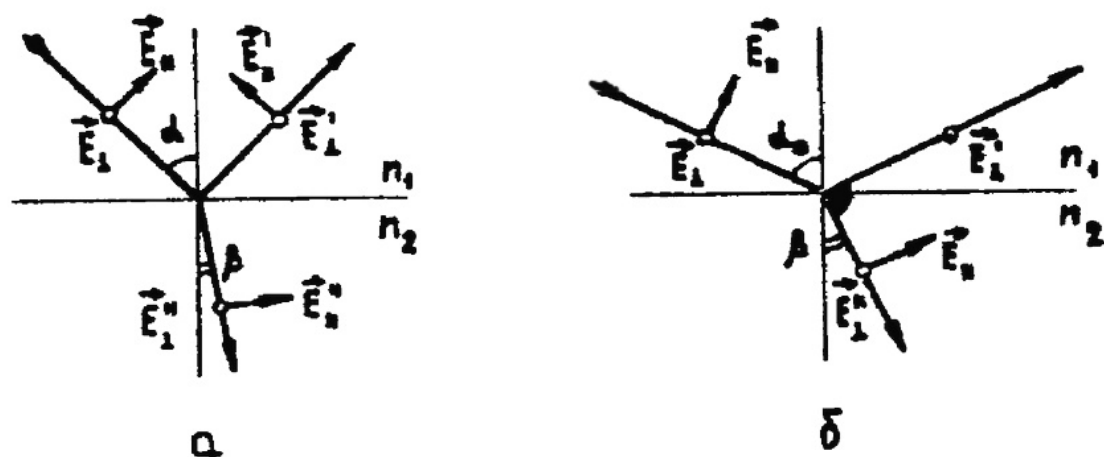


Рис.3

Если пучок естественного света пропустить через поляризатор P (рис.4,а), то из него в идеальном случае выйдет линейно-поляризованный свет, вектор \vec{E} которого совершает колебания в плоскости поляризатора OO . Когда на пути поляризованного света окажется второй поляризатор A (называемый анализатором) с плоскостью $O'O'$, интенсивность луча J , вышедшего из анализатора, будет зависеть от угла между плоскостями поляризатора и анализатора. В луче, вышедшем из анализатора, амплитуда колебаний светового вектора будет (рис.4,б)

$$E_m = E_{m0} \cos \varphi,$$

где E_m — амплитуда светового вектора луча, вышедшего из анализатора; E_{m0} — амплитуда светового вектора луча, падающего на анализатор; φ — угол между плоскостями поляризатора и анализатора.

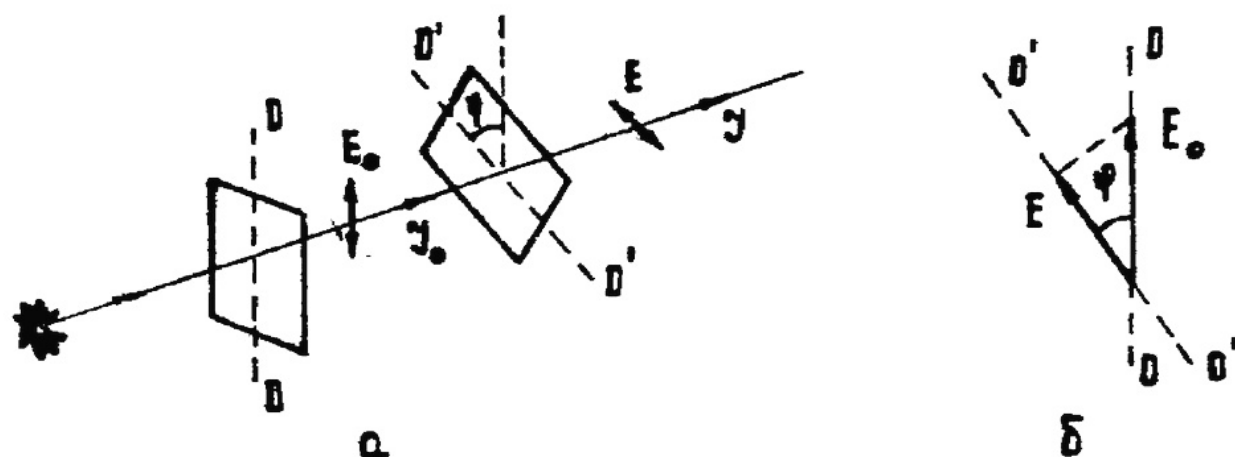


Рис.4

Интенсивность света пропорциональна квадрату амплитуды, поэтому:

$$J = J_0 \cos^2 \varphi, \quad (2)$$

где J — интенсивность света, вышедшего из анализатора; J_0 — интенсивность света, падающего на анализатор.

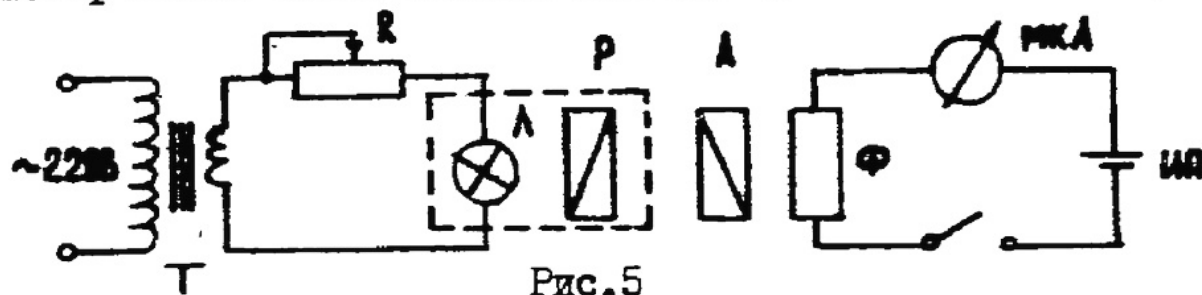
Полученное соотношение (2) отображает закон Малюса.

Следует отметить, что закон Малюса строго выполняется только тогда, когда отражением и поглощением света в поляризующих устройствах можно пренебречь.

Лампа накаливания; понижающий трансформатор; переменный резистор; поляризатор; анализатор; фоторезистор, микроамперметр; источник питания, шкала угла поворота.

Описание установки

Схема соединений показана на рис.5. Лампа накаливания Λ питается от сети переменного тока через понижающий трансформатор T и переменный резистор R . Свет от лампы проходит через систему поляризатор P — анализатор A и попадает на фоторезистор Φ , являющийся приемником света. Фоторезистор подключен к источнику питания ИП через микроамперметр мкА. При малых освещенностях фототок пропорционален интенсивности светового потока, поэтому фоторезистор можно использовать для измерения интенсивности света.



Установка смонтирована на вертикальной стойке. Лампа Λ и поляризатор P укреплены в металлическом патроне. Анализатор A и фоторезистор Φ укреплены в едином блоке и могут поворачиваться. Отсчет угла поворота ведется по шкале.

Порядок выполнения работы

1. Включить лампу.
 2. Замкнуть цепь микроамперметра.
 3. Вращая анализатор, убедиться, что ток фоторезистора меняется, достигая максимума и минимума. Из-за несовершенства поляроидов ток не становится равным нулю даже при взаимно-перпендикулярном положении плоскостей поляризатора и анализатора.
 4. При параллельном положении плоскостей поляризатора и анализатора ($\varphi = 0^\circ$) (максимум тока) установить с помощью резистора R стрелку микроамперметра на максимальное значение, что будет соответствовать i_{max} .
 5. Меняя угол φ между плоскостями анализатора и поляризатора от 0 до 360° , зафиксировать величину фототока через каждые 10° . Данные записать в графу 2 таблицы.
- По результатам измерений определить минимальное значение фототока i_{min} и разность максимального и минимального значений

φ град	i , мкА	$I=i-i_{min}$, мкА	I/I_0	$\cos^2\varphi$
1	2	3	4	5
10				
20				
...				
360				

$I_0 = i_{max} - i_{min}$. Вычислить для каждого измерения значения $I = i - i_{min}$, I/I_0 и $\cos^2\varphi$. Результаты занести в графы 3, 4, 5 таблицы.

6. Построить графики зависимости I/I_0 от $\cos^2\varphi$,

откладывая по оси абсцисс $\cos^2\varphi$, а по оси ординат I/I_0 .

Если считать, что сила фототока пропорциональна интенсивности падающего на фоторезистор света, то проверка закона Малюса (2) сводится к проверке соотношения

$$I = I_0 \cos^2\varphi \quad \text{или} \quad I/I_0 = \cos^2\varphi.$$

Поэтому точки построенных графиков при точном выполнении закона Малюса должны лечь на прямую, проходящую через начало координат.

Контрольные вопросы

1. Что называют световым вектором?
2. Каково взаимное расположение векторов напряженности электрического и магнитного полей световой волны?
3. Какой свет называют естественным?
4. Расскажите о видах поляризованного света.
5. Как можно из естественного света получить плоскополяризованный?
6. Что такое двойное лучепреломление?
7. Покажите, что при падении света под углом Брюстера отраженный и преломленный лучи взаимно - перпендикулярны.
8. Конструкции поляризатора и анализатора одинаковы. Почему их называют по-разному?
9. Расскажите о явлении Брюстера.
10. Сформулируйте и поясните закон Малюса.

Литература:

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2.-М., 1978.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.3.-М., 1973.
3. Детлаф А.А., Яворский Б.М., Курс физики. Т.3.-М., 1979.
4. Трофимова Т.И. Курс физики. -М., 1985.
5. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс физики. Т.3.-М., 1972.