

Работа 4 - 18

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА

Цель работы: Изучить явление поляризации света, характеристики этого явления, способы получения поляризованного света, проверить справедливость закона Малюса.

Оборудование: Оптическая скамья, источник света, два поляроида, селеновый фотоэлемент, микроамперметр.

Теория

Как известно, свет представляет собой электромагнитные колебания, в которых вектор напряженности электрического поля \vec{E} , вектор напряженности магнитного поля \vec{H} и вектор скорости распространения электромагнитной волны \vec{V} взаимно перпендикулярны и всегда образу-

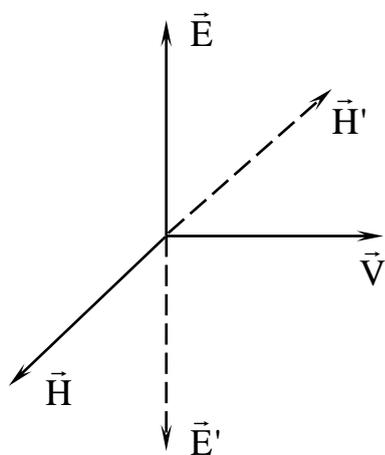


Рис. 1.

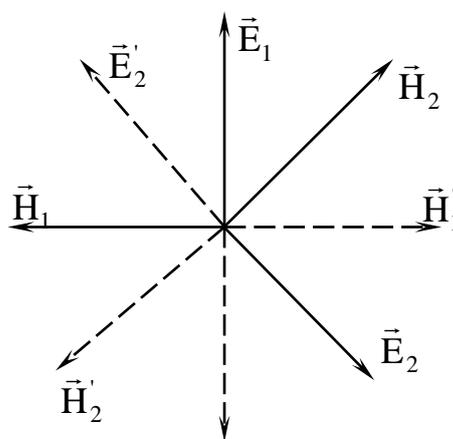


Рис. 2.

ют правовинтовую тройку векторов, как это показано на рис.1.

Однако, крест векторов \vec{E} и \vec{H} может быть ориентирован относительно направления скорости \vec{V} произвольно, как это показано на рис. 2, где вектор скорости перпендикулярен к плоскости чертежа и направлен к наблюдателю. Это происходит за счет того, что световой луч состоит из большой совокупности излучений отдельных атомов. В каждом конкретном случае излучения отдельного атома имеется та или иная ориентация векторов \vec{E} и \vec{H} по отношению к вектору \vec{V} , а так как число таких излучений очень велико, то в результате колебания

векторов \vec{E} и \vec{H} в пучке света будут наблюдаться во всех областях, проходящих через линию направления скорости распространения световой волны.

Совокупность световых волн со всевозможными направлениями колебаний векторов \vec{E} и \vec{H} относительно направления распространения, существующими одновременно или быстро и беспорядочно сменяющимися друг друга, называется естественным или неполяризованным светом (рис. 3 а).

Если из естественного света выделить те лучи, у которых электрический вектор \vec{E} совершает колебания только лишь в одной плоскости, проходящей через линию, соответствующую вектору скорости \vec{V} , то такой свет получил название плоско-поляризованного или же линейно – поляризованного (рис. 3 б). Если же колебания электрического вектора происходят во всех плоскостях, как и у естественного света, но имеются направления, в которых абсолютные величины \vec{E} различны, то такой свет называется частично поляризованным (рис. 3 в).

На рис. 3 схематически представлены эти три случая (для простоты магнитный вектор не показан, вектор скорости перпендикулярен к плоскости рисунка).

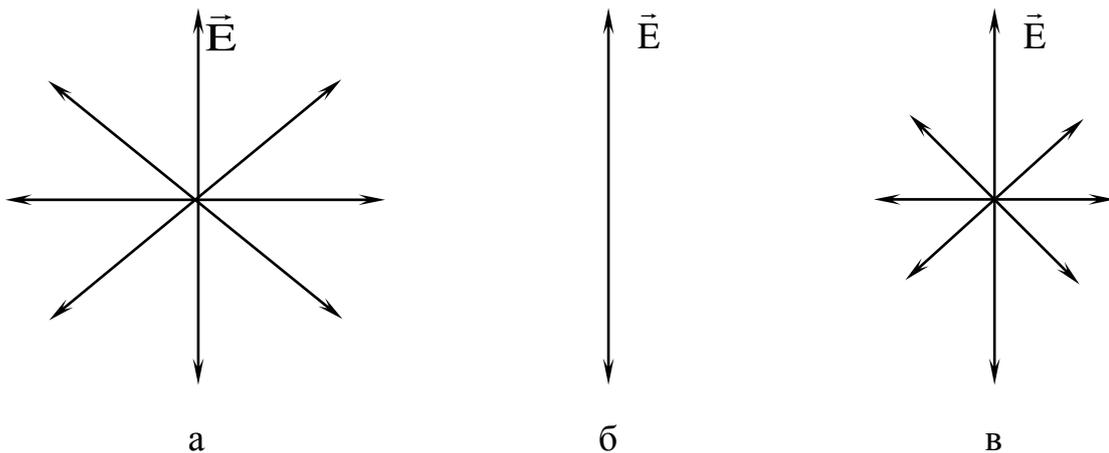


Рис. 3. **а** – естественный свет, **б** – плоско-поляризованный свет, **в** – частично поляризованный свет.

По своим восприятиям, без специальных приборов, поляризованный свет ничем не отличается от естественного.

Плоскость, проходящая через вектор электрической напряженности \vec{E} и вектор скорости \vec{V} , получила название плоскости колебаний, а плоскость, перпендикулярная к плоскости колебаний и проходящая через магнитный вектор \vec{H} и скорость \vec{V} , получила название плоскости поляризации.

Получить поляризованный свет из естественного можно различными способами. *Любое приспособление, при помощи которого образуется поляризованный свет, называется поляризатором.* В качестве поляризатора могут быть использованы некоторые кристаллы, в которых происходит двойное лучепреломление: световой пучок разделяется на два луча обыкновенный (о) и необыкновенный (е). При этом оба пучка оказываются плоскополяризованными во взаимно перпендикулярных направлениях и, кроме того, проходят кристалл с различными скоростями. Во многих кристаллах с двойным преломлением имеется одно направление, вдоль которого деление светового пучка на два луча обыкновенный и необыкновенный не происходит. Это направление называется *оптической осью кристалла*. Если в кристалле оптическая ось только одна, то кристалл называется одноосным. Существуют и такие кристаллы, у которых две различные оптические оси. Такие кристаллы называются двуосными.

В большинстве прозрачных одноосных кристаллах интенсивность обыкновенного и необыкновенного лучей одинакова и составляют 0,5 интенсивности падающего на кристалл естественного света. Однако, существуют и такие кристаллы, в которых один из лучей поглощается сильнее другого. Это явление называется *дихроизмом*. Весьма сильным дихроизмом обладают кристаллы турмалина. Так в кристалле толщиной в 1мм и более обыкновенный луч практически поглощается полностью и из кристалла выходит линейно поляризованный необыкновенный луч, который после выхода из кристалла ничем не отличается от любого другого линейно поляризованного луча света.

Таковыми же свойствами обладают и поляризационные светофильтры, получившие название *поляроидов*. Эти приборы делают из тонкой пленки монокристаллов или множества одинаково ориентированных кристаллов, впесованных в полимерную пленку - матрицу, размещенную между двумя стеклянными пластинками. Чаще всего для изготовления поляроидов используют органические полимерные молекулы, обладающие сильным дихроизмом. В результате из поляроида выходит

один плоско поляризованный луч света. Если на пути естественного света поставить последовательно два поляроида: поляризатор Р и анализатор А, то интенсивность света I_A , выходящего из анализатора, будет зависеть от угла между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора. Эта зависимость определяется законом Малюса, который имеет вид:

$$I_A = I_P \cdot \cos^2 \alpha \quad (1)$$

В этой формуле I_P - интенсивность поляризованного света, прошедшего через поляризатор и попадающего на анализатор.

Из закона Малюса следует, что, если плоскости пропускания поляризатора и анализатора параллельны, т.е. $\alpha=0^\circ$, то $I_A = I_P$. Если же поляризатор и анализатор скрещены, т.е. $\alpha=90^\circ$, то свет через анализатор не проходит и $I_A = 0$. Для всех других углов интенсивность меняется по закону (1) от максимума до нуля. Если поляризатор пропускает частично поляризованный свет, то при вращении анализатора вокруг направления луча, интенсивность прошедшего света будет меняться в пределах от I_{\min} до I_{\max} . Величину Р, определяемую формулой:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (2)$$

называют степенью поляризации. Для естественного света $P = 0$, для плоско поляризованного $P = 1$.

Поляризация света также происходит и при отражении света от диэлектрика. В этом случае степень поляризации отраженного света зависит от показателя преломления диэлектрика n и угла падения. Полная поляризация, при которой отраженный луч становится линейно-поляризованным происходит при падении луча под углом Брюстера, который определяется из формулы:

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = n \quad (3)$$

При этом плоскость колебания в отраженном свете оказывается перпендикулярной к плоскости падения, а плоскость колебаний преломленного луча совпадает с плоскостью преломления. Преломленный луч является частично поляризованным при любых углах падения.

Описание установки

Схема установки представлена на рис. 4. Свет от источника 1 проходит поляризатор 2, анализатор 3 и подается на селеновый фотоэлемент 4. Фототок, возникающий в этом фотоэлементе, регистрируется микроамперметром 5. И поляризатор 2, и анализатор 3 могут вращаться относительно оптической оси. Угол поворота анализатора может быть измерен по шкале диска, разделенного на 360° .

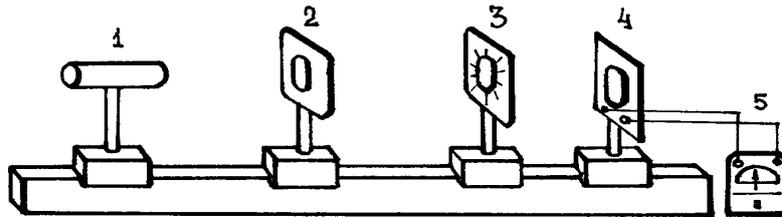


Рис. 4.

элемент 4. Фототок, возникающий в этом фотоэлементе, регистрируется микроамперметром 5. И поляризатор 2, и анализатор 3 могут вращаться относительно оптической оси. Угол поворота анализатора может быть измерен по шкале диска, разделенного на 360° .

По закону Столетова сила фототока i прямо пропорциональна интенсивности света, падающего на фотоэлемент, I , т.е.

$$i = kI. \quad (4)$$

Поэтому по величине силы тока можно судить об интенсивности света, а, следовательно, изменяя углы между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора и измеряя величину фототока, можно проверить справедливость закона Малюса.

Проведение измерений

1. Поставить анализатор на нулевое деление шкалы диска. Включить осветитель и, вращая поляризатор, добиться максимального отклонения стрелки микроамперметра. Согласно ф. (1) для этого положения $\alpha = 0^{\circ}$ и $I_A = I_P$. Так как сила фототока прямо пропорциональна интенсивности света, ф. (4), то показания микроамперметра выражают интенсивность света I_P , прошедшего через систему в некоторых условных единицах. Изменить положение поляризатора, а затем снова добиться максимального отклонения стрелки микроамперметра. Повторить измерения 10 раз. Результаты измерений записать в таблицу 1.

2. Вращая анализатор в пределах полного оборота через каждые 10^0 , измерить значение фототока. Результаты записать в таблицу 2.

3. Построить график экспериментальной зависимости $I_A/I_{P,CP} = f(\alpha)$ в полярных координатах. Для этого на каждом луче, проведенном из начала координат под углом α , в выбранном масштабе отложить значение отношений $i_A/i_P = I_A/I_{P,CP}$, соответствующих углу α . Точки соединить плавной кривой.

4. Рассчитать теоретические значения $\cos^2 \alpha$, полученные данные занести в таблицу 2 и по этим данным на рисунке, где была построена экспериментальная кривая, построить теоретический график.

Таблица 1.

NN n/n	1	2	3	...	10	среднее	Σ
$i \approx I_P$							
$I_P - I_{P,CP}$							
$(I_P - I_{P,CP})^2$							

Таблица 2.

$\angle \alpha^0$	0	10	20	30	360
$i \approx I_A$						
$I_A/I_{P,CP}$						
$(\cos^2 \alpha)_{\text{теор.}}$						

Определение ошибок измерений

Ошибки измерений вычисляются из формул:

$$\Delta I_P = \sqrt{\frac{\Sigma (I_P - I_{P,CP})^2}{n(n-1)}}$$

Т.к. число измерений невелико (10), то при доверительной вероятности 0,95 полученное значение ΔI_P необходимо умножить на коэффициент Стьюдента. Для данных условий величина этого коэффициента 2,23. После этой процедуры ошибки будут равны:

$$\Delta I_P = 2,23 \cdot \Delta I_P$$

Результаты вычислений занести в таблицу 3.

Таблица 3.

$I_{p, \text{cp}}$	ΔI_p	ε

Относительная ошибка вычисляется из выражения

$$\varepsilon = \frac{\Delta I_p}{I_{p, \text{cp}}} \cdot 100\% .$$

Ошибка в измерении I_A такая же как и для I_p , только т.к. эти величины определены по одному измерению, ошибка возрастет в \sqrt{n} раз и будет равна $\Delta I_A = \sqrt{n} \Delta I_p$.

Литература:

1. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1976 .
2. Годжаев Н.М. Оптика. – М.: Высшая школа, 1977 .
3. Физпрактикум ч.2 / Под ред. Ивероновой В.И. – М.: Наука, 1968 .