

Исследование линейно - поляризованного света и проверка закона Малюса

Цель работы: выработка экспериментальных навыков по исследованию поляризованного света и экспериментальная проверка закона Малюса.

Решаемые задачи:

- получить линейно поляризованный свет;
- пронаблюдать изменения интенсивности света в зависимости от угла между осями поляризатора и анализатора;
- проверить справедливость закона Малюса.

Световые волны – являются поперечными: вектор напряжённости электрического поля \mathbf{E} колеблется в направлении, перпендикулярном лучу.

В естественном свете все направления колебаний вектора \mathbf{E} относительно луча являются равновероятными, т.к. волна естественного света – это результат суперпозиции волн от большого количества излучающих атомов ($\mathbf{E}_{ест}$ на Рис.1).

Поляризованным называется свет, в котором направление колебаний вектора \mathbf{E} каким-то образом упорядочено. Если вектор \mathbf{E} колеблется в одной плоскости (эта плоскость проходит также через волновой вектор \mathbf{k}), то говорят, что свет является плоско- (или линейно-) поляризованным.

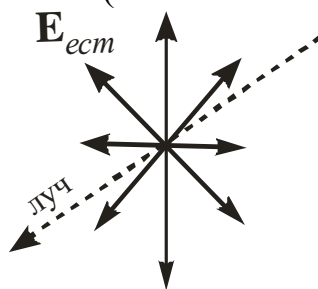


Рис. 1 Естественный свет (неполяризованный свет)

Для получения плоскополяризованного света используют поляризатор – оптический прибор, пропускающий только компоненту \mathbf{E}_{\parallel} , параллельную плоскости, которую называют плоскостью пропускания поляризатора. Колебания, перпендикулярные этой плоскости, поляризатор задерживает.

Действие поляризатора основано на использовании одного из трёх физических явлений: двойного лучепреломления, линейного дихроизма и поляризации света, происходящей при отражении на границах раздела сред.

В данной работе в качестве поляризаторов используются поляроидные плёнки, поляроиды. Они представляют собой тонкие полимерные плёнки, в которые вкраплены ориентированные кристаллики герпатита. Кристаллы герпатита обладают ярко выраженным дихроизмом, заключающимся в зависимости поглощения света от направления колебаний вектора \mathbf{E} : они пропускают одну составляющую (\mathbf{E}_{\parallel}) и практически полностью поглощают перпендикулярную ей составляющую (\mathbf{E}_{\perp}). Поляризующая плёнка помещается между двумя пластинками стекла для защиты от влаги и механических повреждений.

В результате такого селективного поглощения неполяризованный (естественный) свет, проходя сквозь поляроид, превращается в плоскополяризованный.

Направим на поляризатор плоскополяризованную волну с амплитудой E_0 , у которой направление колебаний вектора \mathbf{E}_0 составляет угол φ с плоскостью пропускания поляризатора. Из поляризатора выйдет волна с амплитудой E_{\parallel} (Рис. 2):

$$E_{\parallel} = E_0 \cos \varphi .$$

Интенсивность I прошедшей через поляризатор волны пропорциональна E_{\parallel}^2 , т.е равна:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi , \quad (1)$$

где I_0 - интенсивность *поляризованного* света, падающего на поляризатор. Соотношение (1) называется законом Малюса.

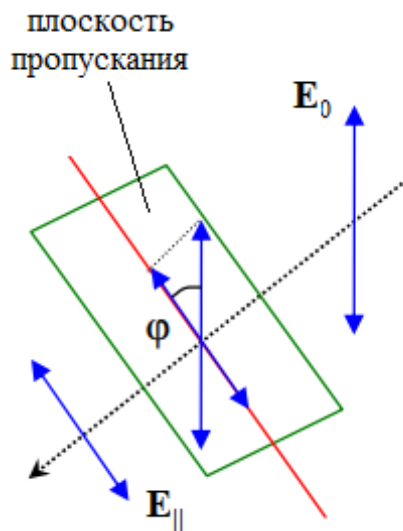


Рис. 2 К выводу закона Малюса



Э. Малюс (1775 - 1812)

Оптические элементы и аппаратура (Рис. 3):

- ✓ оптическая скамья (1);
- ✓ светодиодные излучатели (красный, зелёный и синий) с блоком питания (2);
- ✓ собирающая линза с фокусным расстоянием 50 мм (3);
- ✓ поляроиды: поляризатор Р (4) и анализатор А (5);
- ✓ кристаллическая пластинка C_1 (6);
- ✓ кристаллическая пластинка C_2 (7);
- ✓ цифро-аналоговый мультиметр (8);
- ✓ селеновый фотоэлемент (9).

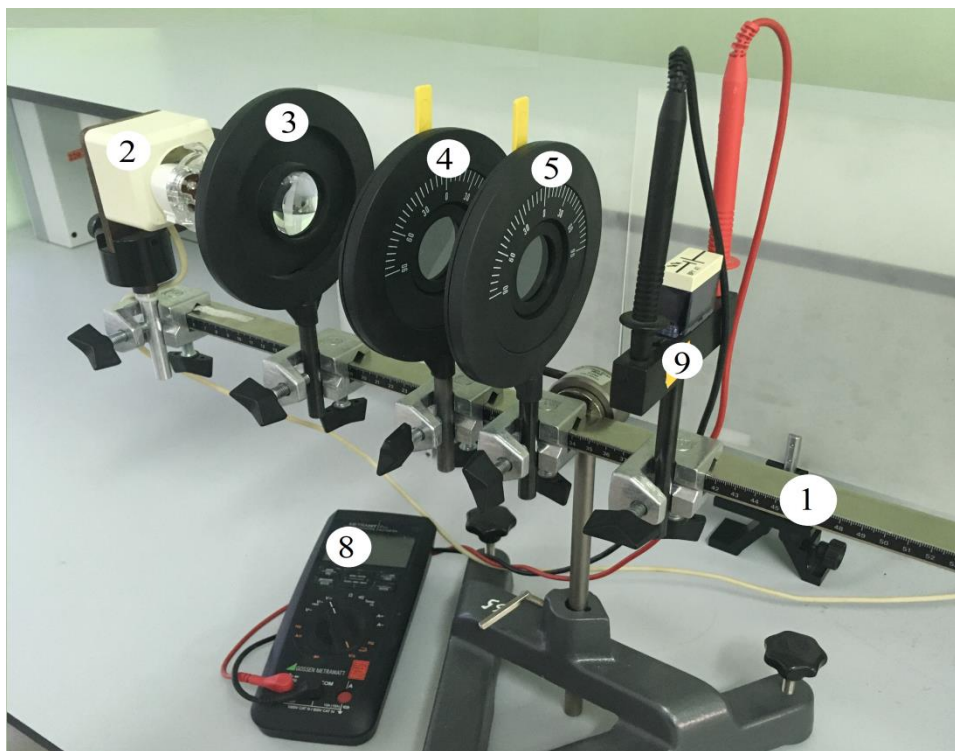


Рис. 3. Общий вид установки

Порядок выполнения работы.

Упражнение 1. Наблюдение явления поляризации света.

1. Возьмите в руки поляроиды (3) и (4) и посмотрите сквозь них на источник света (лампу освещения или окно). Вращая их относительно друг друга, наблюдайте изменение интенсивности прошедшего света. Объясните наблюдаемое явление.
2. Посмотрите сквозь один поляроид на свет от окна, отражённый от пола. Вращая поляроид, наблюдайте изменение интенсивности света, прошедшего сквозь него. Объясните наблюдаемое явление.

Упражнение 2. Экспериментальная проверка закона Малюса.

1. Установить на расстоянии 8-10 см от края оптической скамьи линзу 3. На расстоянии 40 см от линзы установить фотоэлемент 9. Оптический центр линзы и центр входного окна фотоэлемента должны располагаться на высоте около 12 см от оптической скамьи. Они задают оптическую ось установки.
2. С другой стороны линзы установить блок светодиодных излучателей и включить его в сеть. Перемещая блок, установить зелёный светодиод так, чтобы сформированный линзой пучок света полностью проходил сквозь входное окно фотоэлемента. Включить мультиметр 8 и установить режим измерения постоянного напряжения. Мультиметр будет регистрировать фотоэдс, возникающую в фотоэлементе. **Эта величина пропорциональна интенсивности света, падающего на фотоэлемент.** Небольшим перемещением светодиода вдоль и поперёк оптической оси добейтесь максимального значения фотоэдс.

3. Перед фотоэлементом, вплотную к нему, установить анализатор А. При таком положении анализатора внешняя паразитная засветка фотоэлемента будет минимальной. Поверните анализатор на отметку 0° .
4. Вплотную к анализатору установить поляризатор Р. Поверните его на отметку 0° . В этом случае плоскости пропускания Р и А совпадают, и интенсивность света, проходящего через эту систему, максимальна (соответствующее значение фотоэДС обозначим I_{\max}). Зафиксируйте это значение. Поверните анализатор на 90° . В этом случае Р и А окажутся скрещенными, и интенсивность прошедшего света должна быть равной нулю. Однако мультиметр покажет ненулевое значение: оно соответствует фотоэДС, возникающей от внешней паразитной засветки фотоэлемента (I_{\min}). При выполнении измерений из показаний мультиметра нужно вычитать это значение. Считается, что установка отъюстирована, если $I_{\max} - I_{\min} > 1$ мВ.
5. Вращая анализатор с шагом $5 - 10^{\circ}$, измерить фотоэДС I для каждой ориентации анализатора. Провести эти измерения для углов поворота анализатора относительно поляризатора в пределах $0 \leq \varphi \leq 180^{\circ}$ (угол φ следует отсчитывать от направления максимального пропускания поляризаторов). Внимание! При каждом измерении, желательно, контролировать значение фоновой засветки I_{\min} , прикрывая светодиод черной бумагой.
6. Построить график зависимости $(I - I_{\min}) / (I_{\max} - I_{\min})$ от угла φ .
7. Для сравнения с теоретическим законом на той же координатной сетке построить график функции $y = \cos^2 \varphi$. Можно ли утверждать, что закон Малюса выполняется?

Контрольные вопросы:

1. Виды поляризации света.
2. Закон Малюса.
3. Поляризационные приспособления (поляроиды, поляризационные и двоякопреломляющие призмы).
4. Эксперимент. Анализ результатов эксперимента.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.7, М., Физматлит, 2021. Главы XVI, XVII, XVIII.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §62, §§75–79.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Книга 5. Лань, 2022. Глава 6.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.3, С-Пб., Лань, 2022. §1.2, §§4.1–4.4.
5. Годжаев Н.М. Оптика., М., Высшая школа, 1977. Глава IX.

Составители: А.И.Фишман, И.Н.Грачева