

507. ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА И ОПЫТНАЯ ПРОВЕРКА ЗАКОНА БРЮСТЕРА

507.1. Цель работы

Проверка закона Брюстера и определение коэффициента отражения.

507.2. Разделы теории

Поляризация, отражение и преломление света, закон Брюстера [1. Гл. 25, §190–192]; [2. Гл. XIX, §134,135]; [3. Гл.6, 6.1–6.2].

507.3. Приборы и принадлежности

Экспериментальная установка, состоящая из источника света, поляризатора, фотодатчика и набора отражающих пластин с различными показателями преломления. Мультиметр АВМ-4306, блок питания SPS-1230.

507.4. Теоретическое введение

Рассмотрим, как происходит поляризация естественного света при отражении и преломлении на границе раздела двух диэлектриков. При падении такого света, например, из воздуха на поверхность стекла под произвольным углом часть света отражается, а часть преломляется и распространяется во второй среде, при этом отраженный и преломленный лучи частично поляризованы. На рис. 507.1,а схематически изображены колебания светового (электрического) вектора \vec{E} в падающем, отраженном и преломленном лучах. Колебания \vec{E} , перпендикулярные плоскости падения, обозначены на рис. 507.1 точками, а колебания в плоскости падения – стрелками. В падающем луче 1 естественного света равновероятны оба вида колебаний, в пре-

ломленном луче 2 преобладают колебания \vec{E} в плоскости падения, в отраженном луче 3 – колебания, перпендикулярные плоскости падения.

Степень поляризации (степень выделения световых волн с определенной ориентацией светового вектора) зависит от угла падения лучей и показателя преломления. При угле падения α_0 , когда отраженный и преломленный лучи взаимно перпендикулярны (рис. 507.1, б), отраженный луч полностью поляризован и электрический вектор в нем колеблется перпендикулярно плоскости падения, преломленный луч при этом тоже максимально поляризован.

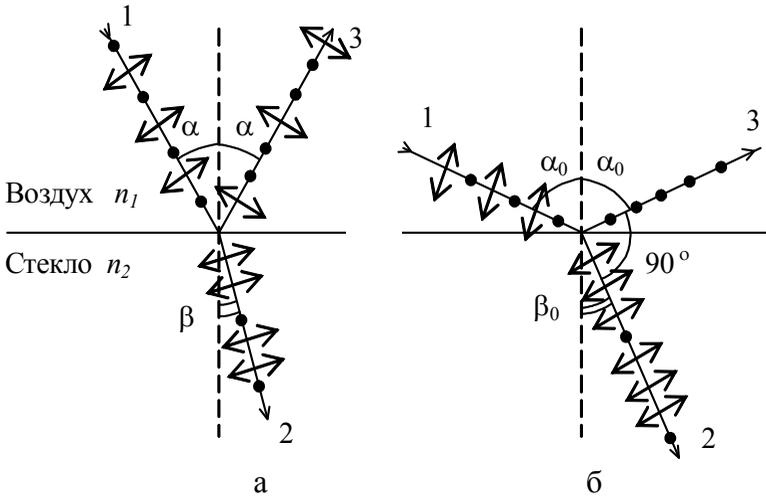


Рис. 507.1

Запишем закон преломления света $n_1 \sin \alpha_0 = n_2 \sin \beta_0$. Учитывая, что $(\alpha_0 + \beta_0) = \frac{\pi}{2}$, получим

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}, \quad (507.1)$$

где α_0 – угол Брюстера; n_{21} – относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

Соотношение (507.1) аналитически выражает закон Брюстера, согласно которому отраженный луч будет полностью поляризован, если тангенс угла падения луча света на границу раздела двух сред равен относительному показателю преломления второй среды относительно первой.

Для объяснения явления поляризации света удобно рассматривать вектор \vec{E} естественного света как векторную сумму $\vec{E} = \vec{E}_\perp + \vec{E}_\parallel$, где \vec{E}_\perp и \vec{E}_\parallel – световые векторы одинаковых по интенсивности линейно-поляризованных световых волн, колеблющиеся соответственно перпендикулярно и параллельно плоскости падения луча. Когда электромагнитное излучение попадает во вторую среду, под действием светового вектора преломленной волны валентные электроны вещества начинают колебаться около положений равновесия в направлениях, представленных векторами \vec{E}'_\perp и \vec{E}'_\parallel , перпендикулярными преломленному лучу 2 (рис. 507.2, а). Вынужденные колебания электронов вещества формируют вторичное электромагнитное излучение – луч отраженного света 3. При произвольном угле падения вклад в формирование этого луча будет полностью давать только компонента светового вектора, перпендикулярная плоскости падения ($E'_\perp = E''_\perp$). Компонента E'_\parallel , лежащая в плоскости падения, не перпендикулярна отраженному лучу, ее вклад частичен: $E''_\parallel < E'_\parallel$.

При угле падения α_0 (рис. 507.2, б) \vec{E}'_\parallel параллельна отраженному лучу и ее вклад в излучение в этом направлении равен нулю. Поэтому отраженный под углом α_0 луч полностью поляризован и электрический вектор \vec{E}''_\perp в нем колеблется перпендикулярно плоскости чертежа.

Таким образом, используя явление Брюстера, можно получить плоскополяризованный свет. Прибор, с помощью которого получают поляризованный свет, называется поляризатором.

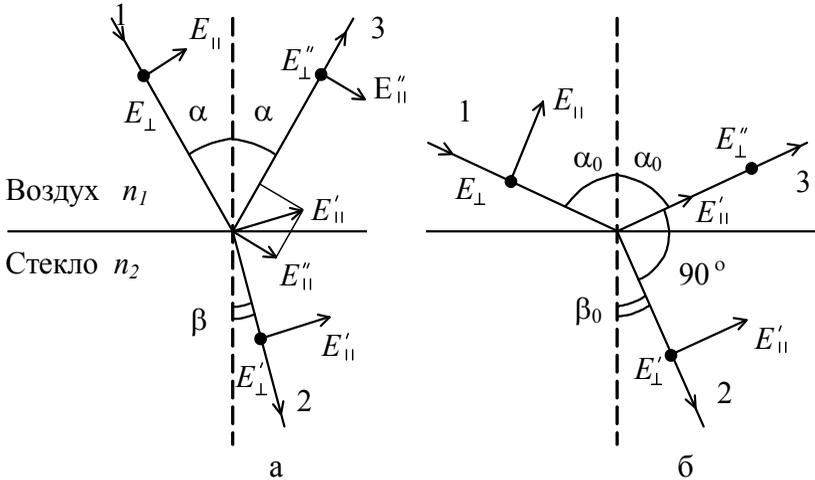


Рис. 507.2

В теоретическом курсе доказывается, что коэффициент отражения луча k при нормальном падении на поверхность раздела двух диэлектриков, равный отношению интенсивностей, связан с показателем преломления n_{21} при отсутствии поглощения соотношением

$$k = \frac{I_{\text{отр}}}{I_{\text{пад}}} = \left(\frac{n_{21} - 1}{n_{21} + 1} \right)^2, \quad (507.2)$$

где $I_{\text{отр}}$, $I_{\text{пад}}$ – интенсивность отраженного и падающего лучей.

Следовательно, если будет найден показатель преломления, по формуле (507.2) можно подсчитать коэффициент отражения света при нормальном падении.

507.5. Описание установки и методики измерений

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 507.3. Свет от лампы 1 проходит через конденсорную линзу 2, после которой параллельный пучок лучей направляется на поляризатор 3, поляризуется и под углом φ падает на стеклянную пластину 4. Отразившись от исследуемой поверхности, лучи по-

падают на фотодатчик 5. ЭДС, генерируемая в цепи фотодатчика (пропорциональная интенсивности отраженного света), измеряется вольтметром (мультиметром) V.

Все детали установки, кроме вольтметра V и блока питания лампы 1, смонтированы внутри светонепроницаемой камеры. На ее панели размещены стрелка 6, жестко скрепленная с пластиной 4 и стрелка 7, жестко скрепленная с фотодатчиком 5. Стрелки 6 и 7 могут независимо поворачиваться вокруг вертикальной оси O, проходящей через середину пластины 4. Для отсчета углов поворота стрелок 6 и 7 панель имеет шкалу 9, цена деления которой 1° . Поляризатор 3 может поворачиваться вокруг направления распространения луча, что позволяет изменять плоскость колебаний вектора \vec{E} поляризованного луча, падающего на пластину 4. Оправа поляризатора имеет шкалу от 0° (положение "Параллельно") до 90° , цена деления 10° . Окно 8 служит для смены исследуемых пластин.

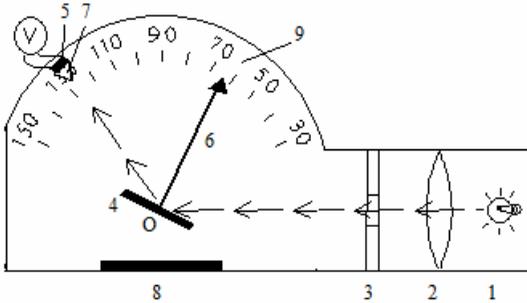


Рис. 507.3

При установке поляризатора в положение "Параллельно" в луче, падающем на пластину, колебания вектора \vec{E} лежат в плоскости падения. При некотором угле падения, удовлетворяющем условию $\operatorname{tg} \varphi_B = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$, свет с такими колебаниями не должен отражаться. При больших и меньших углах отражение

имеет место. Лучи с колебаниями вектора \vec{E} , перпендикулярными плоскости падения (поляризатор в положении 90^0), частично отражаются при любом угле падения, причем их интенсивность постепенно увеличивается с увеличением угла падения. В наблюдении этого эффекта и состоит проверка закона Брюстера.

507.6. Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1. Поставить поляризатор 3 по шкале на оправе в положение "Параллельно".
2. Выставить начальное положение отражающей пластины. Стрелка 6 указывает угол падения луча 40° по шкале 9.
3. Установить фотодатчик в направлении распространения отраженного луча. Стрелка 7 должна указывать угол 80° (угол отражения равен углу падения).
4. Включить мультиметр АВМ-4306 кнопкой POWER. На дисплее высвечиваются произвольные цифры.
5. Включить блок питания SPS-1230. Регулятором VOLT-AGE установить режим работы лампы 10 В, 1,7 А.
6. Измерить значение ЭДС фотодатчика при начальном положении пластины, записать в таблицу.
7. Снять зависимость ЭДС фотодатчика от угла падения луча на пластину. Перемещая по шкале 9 стрелки 6 и 7, изменять с шагом 5° угол падения луча от 40 до 80^0 , а угол отражения луча – соответственно от 80 до 160^0 . Данные записать в таблицу.
8. Из сделанных измерений выбрать угол падения луча φ_B с наименьшим значением ЭДС и произвести повторные измерения ЭДС фотодатчика с шагом 1^0 в окрестностях найденного угла ($\varphi_B - 5^0$; $\varphi_B + 5^0$). Уточненный угол φ_B и есть угол Брюстера.
9. Оставляя положение исследуемой пластины неизмен-

ным, соответствующим углу полной поляризации, снять зависимость ЭДС фотодатчика от угла поворота поляризатора \mathcal{Z} . Для этого поворачивать поляризатор по шкале на оправе поляризатора от положения "Параллельно" до положения 90° – "Перпендикулярно". Данные записать в таблицу.

10. Снять зависимость ЭДС фотодатчика от угла падения луча на пластину при положении поляризатора \mathcal{Z} , равном 90° . Перемещая по шкале 9 стрелки 6 и 7, изменять с шагом 5° угол падения луча от 40° до 80° , а угол отражения луча соответственно от 80° до 160° . Данные записать в таблицу.

11. Построить графики зависимостей по таблицам, снятым в пп. 7, 9, 10.

12. Вычислить по формуле (507.1) относительный показатель преломления и коэффициент отражения по формуле (507.2).

13. Проанализировать полученные экспериментальные результаты, оценить погрешности измерения n и k , сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Какой свет называется плоскополяризованным? Чем он отличается от естественного света?

2. Какой угол называется углом полной поляризации?

3. В какой плоскости происходят колебания векторов \vec{E} и \vec{H} в отраженном луче при полной поляризации?

4. Каким образом можно получить полностью поляризованный преломленный луч?

5. Почему углу полной поляризации соответствует минимальное значение ЭДС датчика?

6. Чем отличается явление поляризации при отражении света от диэлектриков и металлов?

7. Начертите и объясните ход лучей в стопе стеклянных пластинок.