

Изучение поляризованного света

Введение

Свет — это электромагнитная волна. Такие волны - поперечные, в них направления векторов **E** и **H** взаимно перпендикулярны и располагаются в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. При этом положение векторов **E** и **H** в световой волне в пространстве может различным образом меняться со временем. Характер этого изменения говорит о поляризации света. Далее, для простоты будем следить только за вектором электрического поля **E**.

В простейшем случае направление вектора **E** в пространстве может меняться со временем случайным образом. Это справедливо для большинства обычных источников света, в которых излучение создается большим количеством некогерентно испускающих свет атомов. В таком случае говорят об *естественном* или *неполяризованном* свете.

Возможен также случай, когда ориентация вектора **E** не меняется со временем. Такой свет называется *линейно* поляризованным или, иначе, *плоско поляризованным*. В линейно поляризованной волне плоскость, в которой находятся вектор **E** и вектор направления распространения волны, называется плоскостью колебаний.

Колебания электрического поля в плоско поляризованной волне можно разложить на две взаимно перпендикулярных компоненты. В этом случае сдвиг фаз между колебаниями каждой из компонент равен нулю (или целому кратному π). Однако, в самом общем случае, сдвиг фаз между ними может быть произвольным, тогда вектор **E** со временем будет описывать эллипс в пространстве. В этом случае говорят об *эллиптически* поляризованном свете. Если разность фаз колебаний составляет $\pi/2$ (или кратен $\pi/2$), вектор **E** описывает окружность и в этом случае говорят о *круговой поляризации* света.

С течением времени направление вектора электрического поля в эллиптически поляризованной волне может вращаться как правосторонний винт, так и как левосторонний. Соответственно, в первом случае говорят о *правой* поляризации, а во втором о *левой* поляризации. При этом говорят о направлении поляризации. Заметим, однако, что к подобным терминам следует относиться с осторожностью, так как в различных источниках направления поляризации могут быть определены по разному.

Важно отметить отличие между эллиптически поляризованного и неполяризованного света. Несмотря на то, что в обоих случаях наблюдаются колебания электрического поля в любых взаимно перпендикулярных направлениях, в первом случае эти колебания происходят согласованно, с фиксированной разностью фаз. Во втором же случае эти колебания не согласованы.

Если свет является суммой неполяризованного и линейно поляризованного, то его можно охарактеризовать степенью поляризации P , которой называется величина:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

где I_{\max} и I_{\min} — максимальная и минимальная интенсивности частично поляризованного света, пропускаемого анализатором. Для естественного света она равна 0, для плоско

поляризованного 1. Эллиптически поляризованный свет этой величиной характеризовать не принято.

Плоско поляризованный свет обычно получают с помощью специальных устройств — поляризаторов. После прохождения естественного света через поляризатор, получается линейно поляризованный свет. Направление колебаний электрического вектора в полученном линейно поляризованном свете называется разрешенным направлением поляризатора. Также поляризатор можно использовать не только для получения света определенной поляризации, но и для определения его поляризации. В этом случае поляризатор могут называть анализатором.

Интенсивность линейно поляризованного света I_0 , после прохождения через анализатор, разрешенное направление которого составляет угол α к плоскости колебаний, задается законом Малюса:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha.$$

Существует несколько способов получения плоско поляризованного света.

На практике часто используются поляризаторы, чей принцип действия основан на явлении дихроизма, состоящее в различном поглощении света веществом в зависимости от поляризации. У некоторых кристаллов (например, у турмалина) различие коэффициента поглощения для света с перпендикулярными направлениями поляризации может быть настолько сильным, что даже при небольшой толщине кристалла при прохождении поглощается полностью одна из компонент. В итоге, на выходе получается линейно поляризованный свет.

Кроме коэффициента поглощения для разных поляризаций может быть различным коэффициент преломления среды. Это явление называется двойным лучепреломлением. Примером материала, обладающего подобным свойством, является исландский шпат. Зачастую, в таких материалах существует выделенное направление, называемое оптической осью, диэлектрическая проницаемость вдоль этого направления отличается от прочих перпендикулярных направлений в кристалле. Если вектор электрического поля линейно поляризованной волны, распространяющейся в кристалле, перпендикулярен оптической оси, то такая волна называется обыкновенной. Если же он параллелен ей, то такая волна называется необыкновенной. Соответственно, показатели преломления среды для этих волн различны и обозначаются n_o (ординарная волна) и n_e (экстраординарная волна).

Рассмотрим пластинку, изготовленную из материала, обладающего свойством двулучепреломления, стороны которой параллельной оптической оси материала. Из-за различия коэффициентов преломления свет с поляризацией вдоль оси и перпендикулярной ей проходит сквозь пластинку за разное время. Поэтому после прохождения пластинки появится разность фаз между по-разному поляризованными волнами. Если разность фаз после прохождения пластинки меняется на $\pi/2$, то ее называют четвертьволновой пластинкой или пластинкой $\lambda/4$. Если же изменение составляет π , то это полуволновая пластинка или пластинка $\lambda/2$. Важно отметить, что подобное справедливо только для определенной длины волны падающего света. Для других длин волн разность фаз будет отличаться: для больших длин волн разность фаз будет меньше, и наоборот, для меньших длин волн разность фаз будет больше.

Поляризация света меняется не только при прохождении через материалы, обладающие специфическими свойствами вроде дихроизма или двулучепреломления, но и в более простом случае. Речь идет о прохождении и отражении света. Так, при определенном угле падения θ_B (который называется углом Брюстера), свет, поляризованный в плоскости падения, не будет отражаться. Это явление возникает если отраженный и прошедший лучи перпендикулярны друг другу. Соответственно, величина угла Брюстера связана с показателем преломления материала: $\operatorname{tg} \theta_B = n$.

В общем случае, прохождение и отражение света описывается формулами Френеля. Согласно этим соотношениям, коэффициент отражения зависит от поляризации падающей электромагнитной волны. Принято выделять s-поляризацию, когда вектор электрического поля перпендикулярен плоскости падения, и p-поляризацию, когда вектор электрического поля лежит в плоскости падения. Тогда, для случая падения электромагнитной волны из среды с показателем преломления n_1 на плоскую границу со средой с показателем преломления n_2 коэффициенты отражения равны:

$$R_s = \left| \frac{n_1 \cos \alpha - n_2 \cos \gamma}{n_1 \cos \alpha + n_2 \cos \gamma} \right|^2,$$

$$R_p = \left| \frac{n_1 \cos \gamma - n_2 \cos \alpha}{n_1 \cos \gamma + n_2 \cos \alpha} \right|^2,$$

где α , γ – соответственно угол падения и угол прохождения.

Задание

В данной работе предлагается пронаблюдать ряд явлений, связанных с поляризацией света. Работа разделена на две части: первая посвящена изучению света различных поляризаций, вторая – отражению света и законам Френеля.

Поляризация

1. Определить поляризацию света от источника.
2. Проверить справедливость закона Малюса.
3. Определить главные направления пластинок $\lambda/2$ и $\lambda/4$ по отношению к входному поляризатору.
4. Определить степень поляризации света после прохождения пластинок $\lambda/2$ и $\lambda/4$, одна из осей которых повернута под углом 45° по отношению ко входному поляризатору. Для линейно поляризованного света определить также направление поляризации по отношению к разрешенному направлению входного поляризатора. Повторить для нескольких углов поворота пластинок.
5. Определить тип ($\lambda/2$ или $\lambda/4$) для неизвестной пластинки.
6. Приготовить свет произвольной поляризации и попросить коллег определить его поляризацию. Определить поляризацию света, приготовленного вашими коллегами.

Угол Брюстера и формулы Френеля

1. С помощью черного зеркала (зеркала Ллойда) или стеклянной пластины определить положение разрешенного направления в поляризаторе.
2. Определить величину угла Брюстера для черного зеркала или стеклянной пластинки и коэффициент преломления.
3. Измерить интенсивность отраженного излучения для черного зеркала или стеклянной пластинки для различных углов падения и двух поляризаций (s и p). Проверить справедливость формул Френеля.

Рекомендации к выполнению работы

Перед началом работы следует ознакомиться с инструкцией к используемым источникам и приемникам света.

С оборудованием следует работать аккуратно. Нельзя допускать падений, появления царапин или загрязнений. После использования все поляризаторы, пластинки и чувствительные элементы детектора следует закрывать чехлами.

Для используемых в этой работе источников допустимо попадание света, отраженного от элементов оптического тракта, обратно в источник. Однако будьте внимательны – в общем случае это не верно, поэтому будьте внимательны при выполнении других работ.

При работе с поляризаторами и двулучепреломляющими пластинками следует учитывать, что при резких поворотах пластинки могут незначительно сдвигаться относительно лимба.

При проверке законов Френеля для повышения точности получаемых результатов требуется, в первую очередь, наилучшим образом согласовать направление входного поляризатора с плоскостью падения света на исследуемую пластинку. Для этого необходимо найти такое положение входного поляризатора, для которого при отражении под углом Брюстера наблюдается минимальный сигнал на приемнике. Такое положение входного поляризатора отвечает р-поляризации падающего на пластину света.

Также важно, чтобы пластина была перпендикулярна плоскости вращения поворотного столика. При измерении угла отражения следует добиваться нормального падения света на приемник.

Для учета люфта поворотного механизма столика измерения углов следует проводить при последовательном увеличении угла падения, а затем при его уменьшении.

Литература

1. Д.В. Сивухин. Общий курс физики. Том IV Оптика.
2. Р. Фейнман. Лекции по физике. Том 3. Излучение. Волны. Кванты.