

Министерство образования и науки РФ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра физики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. каф. физики,

д.т.н., профессор

_____ Е.М. Окс

_____ 2012г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВ ПО УГЛУ
БРЮСТЕРА

Методические указания к лабораторной работе по физике
для студентов всех специальностей

Разработчики:

д. ф.-м. н., профессор

_____ О.В. Воеводина

ведущий инженер

_____ Н.П. Кондратьева

2009

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной лабораторной работы является изучение эффекта поляризации световых волн при отражении на границе раздела двух диэлектриков, определение абсолютных показателей преломления и диэлектрических проницаемостей диэлектриков по углу Брюстера.

1 КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

В волновой оптике свет рассматривается как электромагнитная волна, в которой векторы напряженностей электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} полей, оставаясь взаимно перпендикулярными, колеблются в направлении, поперечном вектору скорости распространения волны \vec{v} .

Как показывает опыт, физиологические, фотохимические фотоэлектрические и другие действия света вызываются колебаниями вектора напряженности электрического поля \vec{E} , а не магнитного \vec{H} . Поэтому световым вектором обычно называют вектор \vec{E} .

Под действием электрического поля падающей световой волны происходит смещение электронных оболочек атомов относительно ядер. Возникают вынужденные колебания электронов, приводящие к излучению вторичных световых волн. Наложение падающей и вторичных световых волн в веществе приводит к изменению фазовой скорости результирующей волны, распространяющейся в среде.

Отношение скорости световой волны в вакууме c к фазовой скорости световой волны в некоторой среде v называют *абсолютным показателем преломления этой среды* и обозначают буквой n

$$n = \frac{c}{v} \quad (1.1)$$

Поскольку фазовая скорость электромагнитных волн в среде v

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}, \quad (1.2)$$

и в видимом диапазоне электромагнитных волн для большинства веществ магнитная проницаемость μ практически не отличается от единицы, можно считать, что

$$n = \sqrt{\epsilon}. \quad (1.3)$$

Формула связывает оптические свойства вещества (n) с электрическими свойствами вещества (*диэлектрическая проницаемость ϵ*).

Свет представляет собой суммарное излучение множества хаотически излучающих атомов, из которых состоит источник света.

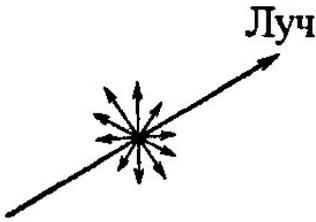


Рисунок 1.1—Естественный (неполяризованный) свет

Каждый атом из этого множества излучает волну, в которой плоскость колебаний вектора \vec{E} , и, следовательно, «крест взаимно перпендикулярных векторов \vec{E} и \vec{H} », произвольно ориентированы в плоскости, перпендикулярной направлению распространения светового луча. Поэтому в излучаемой светящимся телом результирующей световой волне, складывающейся из волн, излучаемых множеством атомов, колебания

различных направлений представлены с равной вероятностью.

Это *естественный (неполяризованный) свет*.

Свет, в котором колебания светового вектора \vec{E} каким-либо образом упорядочены, называют *поляризованным*. Если плоскость, проходящая через вектор \vec{E} и направление распространения волны не меняет своего положения в пространстве, то волну называют *плоскополяризованной* или *линейно поляризованной*.

Рассмотрим два взаимно перпендикулярных электрических колебания, совершающихся вдоль осей x и y и различающихся по фазе на δ :

$$E_x = A_x \cos \omega t \quad \text{и} \quad E_y = A_y \cos(\omega t + \delta) \quad (1.4)$$

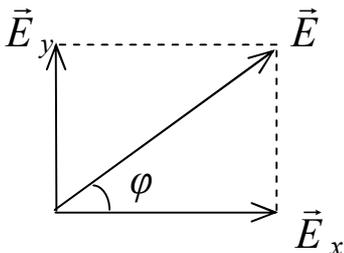


Рисунок 1.2 – Сложение двух взаимно перпендикулярных электрических колебаний

Результирующая напряженность \vec{E} является векторной суммой напряженностей \vec{E}_x и \vec{E}_y . Угол φ , определяющий направление колебаний результирующего вектора \vec{E} , находится из соотношения

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{E_y}{E_x} = \frac{A_y \cos(\omega t + \delta)}{A_x \cos \omega t} \quad (1.5)$$

Если разность фаз δ претерпевает случайные хаотические изменения, то и угол φ , то есть направление колебаний результирующего светового вектора \vec{E} , будет испытывать неупорядоченные изменения.

В соответствии с этим *естественный свет можно представить как наложение двух некогерентных электромагнитных волн, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях и имеющих одинаковую интен-*

сивность.

Если разность фаз δ остается постоянной в пространстве и во времени (световые волны \vec{E}_x и \vec{E}_y когерентны) и равна нулю или π , то и угол φ , т.е. направление колебаний результирующего светового вектора \vec{E} , будет постоянным:

$$\operatorname{tg} \varphi = \pm \frac{A_y}{A_x} = \operatorname{const} \quad (1.6)$$

При этом результирующее колебание совершается в фиксированном направлении – волна является плоскополяризованной. Таким образом, *плоскополяризованный свет можно представить как наложение двух когерентных электромагнитных волн, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях и имеющих постоянную разность фаз, равную нулю или π .*

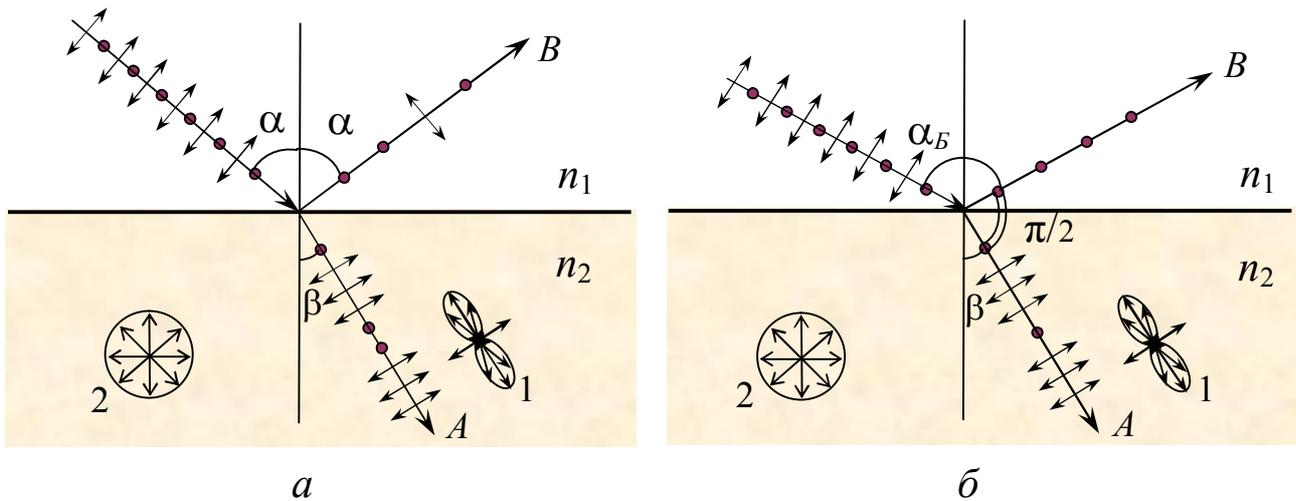
Если разность фаз δ имеет произвольное постоянное значение, то сложение взаимно перпендикулярных гармонических колебаний одинаковой частоты дает в общем случае движение конца результирующего вектора \vec{E} по эллипсу, т.е. эллиптически поляризованную световую волну.

Приборы, называемые *поляризаторами*, позволяют получать из естественного света плоскополяризованный. Эти приборы свободно пропускают колебания светового вектора, параллельные плоскости, которую называют *плоскостью пропускания поляризатора*. Колебания, перпендикулярные этой плоскости, задерживаются полностью (идеальный поляризатор) или частично. В первом случае получается плоскополяризованное излучение, во втором – частично поляризованное.

Поляризация при отражении и преломлении. Закон Брюстера

Явление поляризации света (выделение световых волн с определенными направлениями колебаний светового вектора \vec{E}) наблюдается также при отражении и преломлении света на границе раздела двух прозрачных изотропных диэлектриков (например, воздух - стекло).

Если угол α падения естественного света на границу раздела двух диэлектриков отличен от нуля, то отраженный и преломленный лучи оказываются частично поляризованными. В отраженном луче преобладают колебания, перпендикулярные плоскости падения (см. рис.1.3 а), а в преломленном луче – колебания, параллельные плоскости падения.



\updownarrow – колебания, параллельные плоскости падения;
 \bullet – колебания, перпендикулярные плоскости падения;
 n_1 и n_2 – абсолютные показатели преломления первой и второй сред;
 α и α_B – углы падения и отражения; β – угол преломления.

Рисунок 1.3 – Схемы отражения и преломления света

Результат взаимодействия излучения с веществом может быть объяснен классически, исходя из представления об атомах вещества как о системах зарядов, в которых под действием электрического поля падающей световой волны происходит смещение отрицательно заряженных электронных оболочек относительно положительно заряженных ядер, т. е. возникает система колеблющихся электрических диполей.

Соответствующий расчет показывает, что диполь сильнее всего излучает в направлениях, перпендикулярных к его оси. В направлениях, совпадающих с его осью, диполь не излучает.

Если угол падения α_B такой (см. рис.1.3 б), что отраженный луч B и преломленный луч A перпендикулярны друг другу ($\alpha + \beta = \pi/2$), то колебания естественного света, параллельные плоскости падения, создают диполь 1, который излучает в перпендикулярном его оси направлении A и не излучает в направлении B , т. е. колебания, параллельные плоскости падения, в отраженном луче B отсутствуют. Колебания естественного света, перпендикулярные плоскости падения создают диполь 2, для которого направление B перпендикулярно его оси (как и направление A), т. е. является направлением максимального излучения. Поэтому в отраженном луче B присутствуют только колебания, перпендикулярные плоскости падения, а в преломленном луче - оба коле-

бания, с преимуществом параллельных плоскости падения колебаний.

Угол α_B падения естественного света на границу раздела диэлектриков, при котором отраженный луч содержит колебания, только перпендикулярные плоскости падения, называется *углом полной поляризации или углом Брюстера*. Этот угол можно найти из законов отражения и преломления света при $\alpha_B + \beta = \pi/2$:

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha_B}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha_B}{\sin(\pi/2 - \alpha_B)} = \frac{\sin \alpha_B}{\cos \alpha_B} = \operatorname{tg} \alpha_B, \quad (1.7)$$

где $n_{2,1}$ - относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

Закон, представленный выражением (1.7) и справедливый для угла падения α_B при котором отраженный луч является плоскополяризованным, был установлен шотландским физиком Д. Брюстером и носит его имя.

Для воздуха абсолютный показатель преломления $n_1 = 1$. Если свет падает на поверхность диэлектрика из воздуха, то угол Брюстера α_B определяется соотношением

$$\operatorname{tg} \alpha_B = n, \quad (1.8)$$

где n - абсолютный показатель преломления диэлектрика.

Таким образом, граница двух диэлектриков является поляризатором, степень поляризации света которым зависит от угла падения.

Полная поляризация отраженной волны при падении света на поверхность диэлектрика под углом Брюстера следует также из формул Френеля, которые устанавливают соотношения между комплексными амплитудами падающей, отраженной и преломленной волн. Формула Френеля для амплитуды $\hat{A}_{\alpha\parallel}$ отраженной волны, в котором колебания совершаются в плоскости падения, в учебнике И.В. Савельева [7.1] приводится в виде:

$$\hat{A}_{\alpha\parallel} = \hat{A}_{0\parallel} \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \beta)}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)}, \quad (1.9)$$

где $\hat{A}_{0\parallel}$ - комплексная амплитуда падающей волны.

Из (1.9) следует, что при угле падения α , равном углу Брюстера α_B , сумма углов $\alpha + \beta = \pi/2$, и амплитуда $\hat{A}_{\alpha\parallel}$ обращается в нуль, т. к. $\operatorname{tg} \pi/2 = \infty$. Следовательно, при $\alpha = \alpha_B$ в отраженной волне присутствуют только колебания, перпендикулярные плоскости падения $\hat{A}_{0\perp}$, - отраженная волна полностью поляризована.

2 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика исследования основана на том факте, что два идеальных поляризатора (степень поляризации пропускаемого ими света равна 1) с плоскостями пропускания, расположенными перпендикулярно одна другой, задерживают полностью падающее на них излучение.

Если падающую на диэлектрик волну линейно поляризовать таким образом, чтобы волна содержала только колебания, совершающиеся в плоскости падения (амплитуда $\hat{A}_{0\parallel}$), а колебания, совершающиеся перпендикулярно плоскости падения, отсутствовали (амплитуда $\hat{A}_{0\perp} = 0$), то при падении такой плоскополяризованной световой волны под углом Брюстера обе составляющие отраженной волны будут равны нулю:

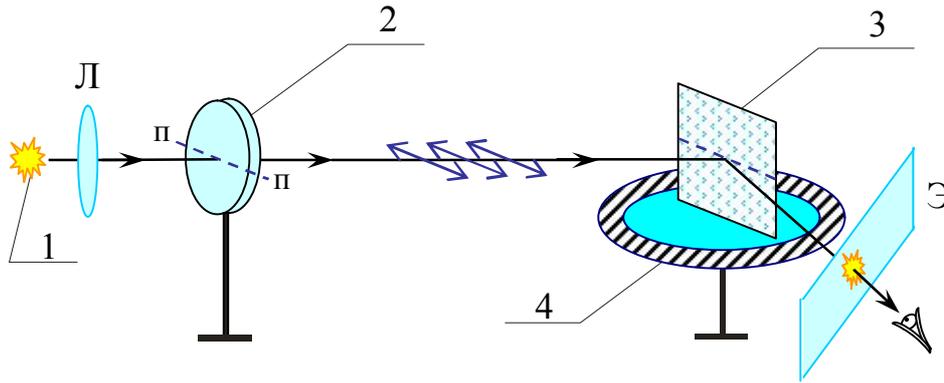
Согласно (1.9) $\hat{A}_{\alpha\parallel} = 0$, т.к. $\operatorname{tg} \pi/2 = \infty$, и $\hat{A}_{\alpha\perp} = 0$, так как их нет.

Интенсивность отраженного света окажется равной нулю, как при прохождении через два идеальных скрещенных поляризатора, первый из которых пропускает излучение, параллельное плоскости падения, а второй – перпендикулярное плоскости падения.

Изменяя угол падения плоскополяризованной волны, содержащей только колебания, совершающиеся в плоскости падения, и фиксируя соответствующее изменение интенсивности отраженного света, можно определить угол Брюстера, которому будет соответствовать равная нулю интенсивность отраженного света.

3 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 3.1. Свет от лампы накаливания 1, рассчитанной на 36 В, проходит через собирающую линзу Л, поляриоид 2 и падает на исследуемый образец 3 (черное зеркало или селеновая пластинка), закрепленный в подвижной рамке. Поворачивая рамку, можно изменять угол падения света на закрепленный в ней образец. Угол отсчитывается по круговой шкале оптического столика 4, на котором находится рамка с образцом. Отраженный от образца свет падает на полупрозрачный экран Э. Угол Брюстера устанавливается посредством визуального наблюдения по минимуму интенсивности изображения нити накала на экране. Нулевую интенсивность не всегда удается получить из-за несовершенства используемых поляризаторов.



1 - источник света; Л - линза; 2 - поляризатор; 3 - рамка с исследуемым образцом; 4 - оптический столик с круговой шкалой; Э - экран.

Рисунок 3.1 - Схема экспериментальной установки

Поляризатор 2 позволяет получать из естественного света, излучаемого лампой накаливания, плоскополяризованный. Прибор свободно пропускает колебания светового вектора, параллельные плоскости пропускания поляризатора, которая отмечена на поляроиде буквами п-п. Для определения угла Брюстера по минимальной интенсивности отраженного света плоскость пропускания поляризатора следует установить параллельно плоскости падения света на поверхность образца.

4 ЗАДАНИЕ

4.1 Найти углы Брюстера α_B для двух образцов (черное зеркало и селеновая пластинка).

4.2 По найденным углам Брюстера для обоих образцов определить абсолютные показатели преломления n и диэлектрические проницаемости ϵ .

4.3 Найти абсолютные и относительные погрешности определения α_B , n и ϵ .

5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1 Повернуть рамку с образцом из черного зеркала к источнику света и установить ноль круговой шкалы оптического столика по ходу светового луча.

5.2 Наблюдая отраженный от образца луч, установить поляризатор и линзу таким образом, чтобы изображение нити накала лампы было видно посередине рамки с образцом.

5.3 Установить плоскость пропускания поляризатора п-п парал-

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1 Что представляет собой свет с точки зрения волновой оптики?

6.2 Колебания каких векторов происходят в электромагнитной волне?

6.3 Какой вектор электромагнитной волны и почему называют световым?

6.4 Какой свет называют естественным, поляризованным, линейно поляризованным?

6.5 Каким образом можно представить естественный свет?

6.6 Какое явление наблюдается при отражении и преломлении света на границе раздела двух диэлектриков?

6.7 Какой угол называется углом полной поляризации или углом Брюстера?

6.8 Каким соотношением определяется угол Брюстера α_B ? Чему равен угол Брюстера, если свет падает на поверхность диэлектрика из воздуха?

6.9 Какую величину называют абсолютным показателем преломления вещества?

6.10 Какая формула связывает абсолютный показатель преломления n с диэлектрической проницаемостью ϵ ?

6.11 Как классическая физика объясняет закон Брюстера?

6.12 Что является целью данной работы?

6.13 На каком факте основана методика исследования в данной работе? Что представляют собой два скрещенных поляризатора, прохождение через которые дает наблюдаемый минимум интенсивности световой волны?

6.14 Как ориентирована плоскость пропускания поляризатора относительно плоскости падения света в данной работе?

7 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

7.1 Савельев И.В. Курс общей физики. Книга 4.- М: Астрель АСТ, 2004. 256с.

7.2 В.А. Мухачев, А.Л. Магазинников. Оценка погрешностей измерений. Томск: ТУСУР, 2009. 24 с.

7.3 Детлаф А.А., Б.М. Яворский. Курс физики: учебное пособие.- М.: Академия, 2007. 720 с.

7.4 Козырев А.В. Курс лекций по физике: учебник. – Томск: ТУСУР, 2007. – 422 с.