

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель Отделения
экспериментальной физики ТПУ

_____ А. М. Лидер

« __ » _____ 2023 г.

**ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОЛЯРИЗАТОРА И СТОПЫ СТОЛЕТОВА**

Методические указания к выполнению лабораторной работы О-39
по курсу «Общая физика» для студентов всех направлений и
специальностей

Составитель В.В. Шамиутдинова

Издательство
Томского политехнического университета
2023

УДК 53(07)

Изучение характеристик поляризатора и стопы Столетова:
методические указания к выполнению лабораторной работы О-39/ В.В.
Шамшутдинова, – Томск: Изд-во Томского политехнического
университета, 2023. – 14 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию
методическим семинаром Отделения экспериментальной физики

« ___ » _____ 2023 г.

Председатель учебно-методической комиссии _____ А.М. Лидер

Рецензент

Л.Н. Никитина

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯРИЗАТОРА И СТОПЫ СТОЛЕТОВА

Цель работы: рассчитать угол Брюстера, определить степень поляризации отраженного и прошедшего сквозь диэлектрик света, сравнить его со степенью поляризации света, прошедшего поляризатор.

Приборы и принадлежности: лампа, поляризатор, поворотный столик со съемным блоком пластинам, анализатор во вращающейся обойме, подвижный фотоэлемент, единый блок питания и измерения интенсивности света.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Данная лабораторная работа посвящена исследованию явлений, связанных с поляризацией электромагнитных волн.

Волной называют процесс распространения колебаний в пространстве с течением времени. Волны делят на

- *продольные* – колебания происходят в направлении распространения волны,
- *поперечные* – колебания совершаются в направлениях, перпендикулярных направлению распространения волны.

Для продольной волны поворот вокруг направления распространения не меняет направления колебаний и поэтому скорость распространения остается неизменной. У поперечной волны такой поворот изменяет направление колебаний, что может влиять на распространение волны в пространстве. Для описания этого свойства (определенной направленности колебаний в пространстве) и вводится понятие поляризации. Следовательно, свойство поляризации присуще только поперечным волнам.

Свет представляет собой электромагнитную волну, в которой колебания векторов напряженностей электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} полей происходят во взаимно перпендикулярных плоскостях с одинаковой частотой (рис. 1). Кроме того, векторы \vec{E} и \vec{H} всегда перпендикулярны направлению распространения волны (вектору фазовой скорости \vec{v} в рассматриваемом круге явлений) и вместе векторы \vec{E} , \vec{H} и \vec{v} образуют правую тройку векторов.

В отрыве друг от друга в электромагнитной волне электрические и магнитные поля существовать не могут. Однако ввиду того, что

физиологические, фотоэлектрические, фотохимические и другие действия света обусловлены колебаниями вектора напряженности электрического поля, а также для удобства объяснения, на рисунках изображают только изменение вектора \vec{E} , называя его *световым вектором*.

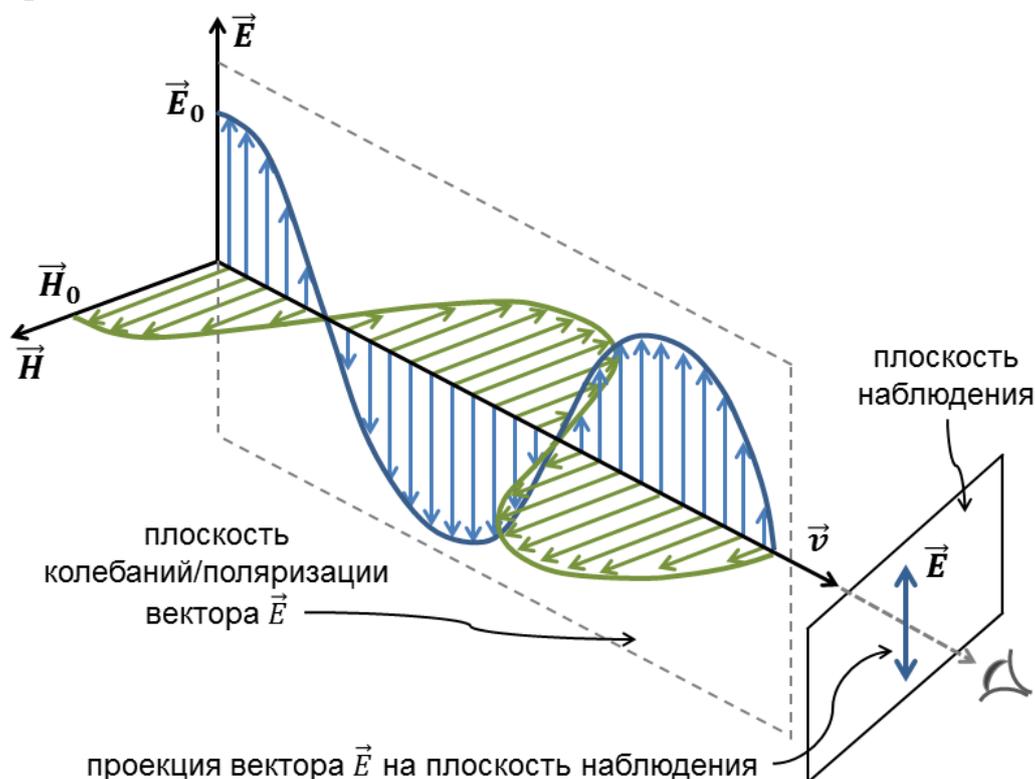


Рис. 1. Колебания векторов напряженностей \vec{E} и \vec{H} в электромагнитной волне

Световые волны испускают атомы при переходе электронов с более высоких энергетических уровней на более низкие. Этот переход осуществляется за короткий промежуток времени порядка 10^{-8} с. Обычные источники света состоят из огромного числа атомов, которые испускают независимо друг от друга волны с различными направлениями векторов \vec{E} . Накладываясь друг на друга, эти волны образуют результирующую волну, в которой колебания светового вектора в различных направлениях быстро и беспорядочно сменяют друг друга и с равной вероятностью могут происходить во всех направлениях, перпендикулярных вектору скорости \vec{v} . Такой свет называют *естественным* или *неполяризованным*.

Поляризованным является свет, в котором колебания светового вектора \vec{E} каким-либо образом упорядочены: ориентация светового

вектора в любой точке пространства с течением времени остаётся неизменной или меняется по определённому закону. Вид поляризации волны определяется видом той кривой, которую описывает электрический вектор за один период колебания в *плоскости наблюдения* – плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны (см. рис. 1). При этом свет должен распространяться к наблюдателю. Например, если колебания светового вектора происходят только в одной плоскости (как на рис. 1), свет является *плоско* (или *линейно*) *поляризованным*. В этом случае проекция вектора \vec{E} на плоскость наблюдения будет иметь вид отрезка прямой линии (рис. 2).

Естественный свет можно рассматривать как совокупность линейно поляризованных волн со всеми возможными направлениями колебаний вектора \vec{E} , причем амплитуда этих векторов одинакова во всех направлениях, так что концы их лежат на окружности (рис. 2).

Свет, у которого изменения направления светового вектора в пространстве упорядочены лишь частично (есть преимущественное направление колебаний \vec{E} , но не единственное), называется *частично поляризованным*. Он представляет собой смесь естественного и линейно поляризованного света (рис. 2).

Вид поляризации схематично изображают на световом луче с помощью стрелок и точек, причем стрелки обозначают колебания, происходящие в плоскости рисунка, а точки – в перпендикулярных ей направлениях (рис. 2).

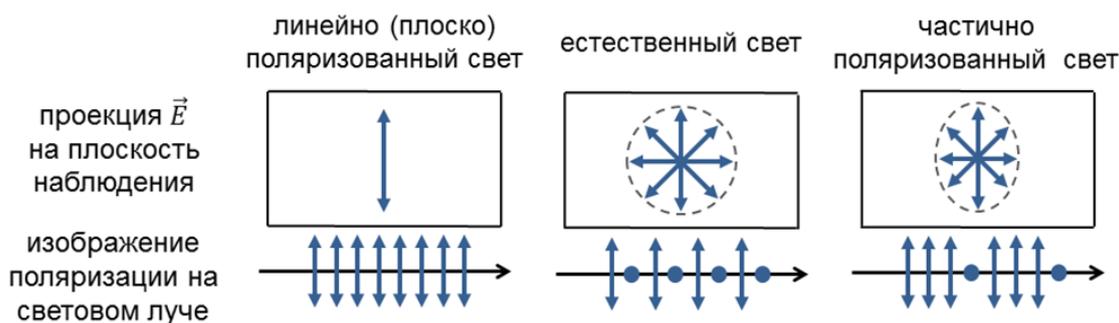


Рис. 2. Схематичное изображение поляризации

Обычные источники: солнце, пламя, электрические лампочки и др., излучают неполяризованный свет. В практических целях требуется из неполяризованного получать полностью поляризованный свет, прежде всего, линейно поляризованный. Визуально поляризованный свет отличить от неполяризованного нельзя. Для выделения линейно

поляризованного света используют оптические устройства, называемые *поляризаторами*. Они пропускают световые колебания лишь в определенной плоскости – *плоскости поляризатора*. Те же самые приборы, применяемые для анализа состояния поляризации света, называют *анализаторами*.

Первые поляризаторы были изготовлены из двулучепреломляющих кристаллов (призмные поляризаторы). В настоящее время более распространены поляризаторы из дихроичных материалов – поляроиды. В данной работе изучается поляризация света, возникающая при отражении от диэлектрика.

Степень поляризации

У частично поляризованного света интенсивность в определённом направлении является преобладающей. Поэтому при вращении анализатора, на который падает частично поляризованный свет, интенсивность прошедшего света будет изменяться от I_{min} до I_{max} . Степень выделения световых волн с определенной ориентацией электрического вектора характеризуют безразмерной величиной – *степенью поляризации* P :

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}. \quad (1)$$

Для естественного света $I_{max} = I_{min}$ и $P = 0$, для плоско поляризованного $I_{min} = 0$ и $P = 1$, для частично поляризованного света – $0 < P < 1$.

Угол Брюстера

Поляризацию света можно наблюдать при его отражении и преломлении на границе раздела двух изотропных диэлектриков. Например, при падении луча естественного света на поверхность стекла, воды и т.д. часть его отражается, а часть, преломляясь, распространяется в среде. Располагая анализатор на пути луча, можно исследовать поляризации отраженного и преломленного лучей. Оба луча будут частично поляризованы.

Назовем *плоскостью падения* плоскость, проходящую через падающий луч и нормаль к границе раздела сред, проведённую в точке падения луча (см. рис. 3).

В отраженном луче будут преобладать колебания вектора \vec{E} , перпендикулярные плоскости падения, а в преломленном луче –

колебания, параллельные ей. Степень поляризации зависит от угла падения α . При некотором строго определенном для данных сред значении угла падения отраженный свет будет полностью поляризован (линейно). Такой угол падения называют *углом полной поляризации* или *углом Брюстера*. Его значение удовлетворяет условию

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{Бр}} = n_{21}, \quad (2)$$

где $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$ – относительный показатель преломления второй среды по отношению к первой. Соотношение (2) известно, как *закон Брюстера*. Показатель преломления оптических стекол лежит в интервале $1,3 \div 2,1$, следовательно, угол Брюстера варьируется в диапазоне $52,4^\circ \div 64,5^\circ$.

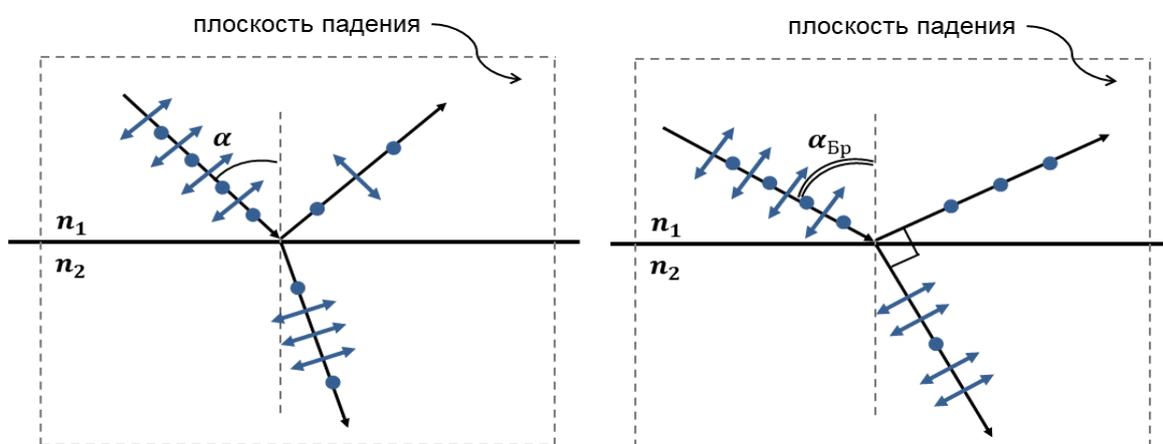


Рис. 3. Поляризации естественного света при падении на диэлектрик

Преломленный луч всегда частично поляризован с разной степенью. Отметим, что при угле падения равном углу Брюстера угол между отраженным и преломленным лучами равен 90° .

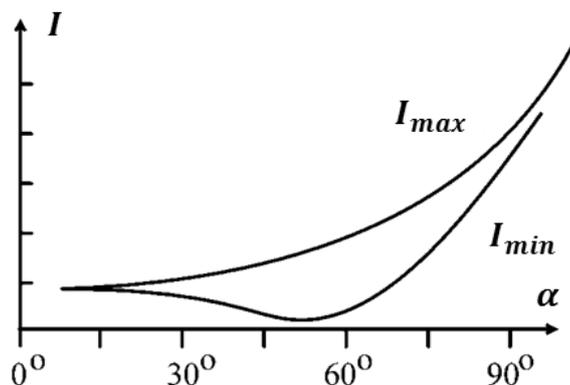


Рис. 4. Зависимости максимального и минимального значений интенсивности отраженного света от угла падения

На рисунке 4 представлен вид теоретических зависимостей интенсивностей отраженного света I_{min} и I_{max} от угла падения α . Минимальное значение интенсивности I_{min} соответствует максимальной степени поляризации отраженного света и углу падения, равному углу Брюстера.

Брюстеровское отражение является самым простым и дешевым способом получения линейно поляризованного света. В определенных диапазонах длин волн этот способ вовсе является единственным. Однако использование отраженного луча в таких поляризаторах не всегда удобно, так как его направление зависит от угла падения и доля отражаемого от диэлектрика света очень мала (например, от стеклянной пластины отражается 3-5% падающего света). Поэтому применяют многократное отражение волн от стопы пластин или используют не отраженный, а преломленный луч, заставляя последний многократно преломляться, при условии падения каждый раз на границу раздела под углом Брюстера (рис. 5).

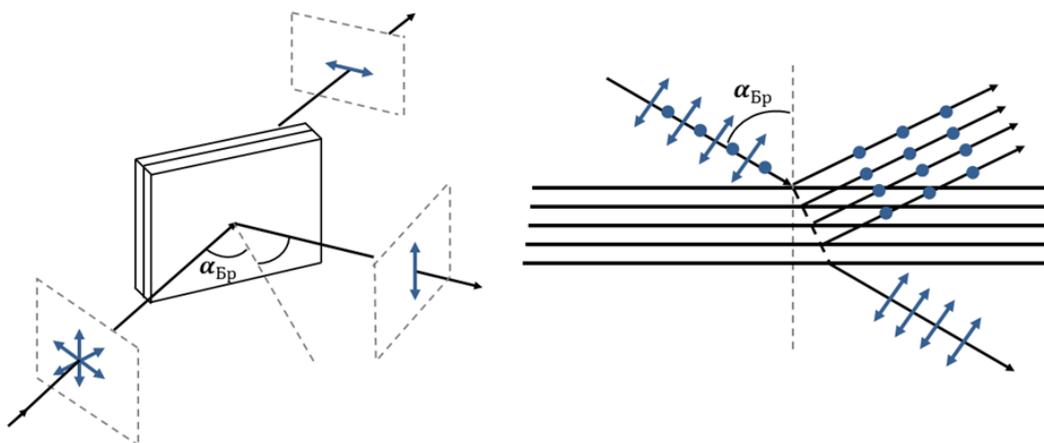


Рис. 5. Поляризация света с помощью стопы Столетова

Подобные конструкции содержат 8-10 пластин и носят название *стоп Столетова*. Выбор веществ при изготовлении стоп связан с исследуемой областью спектра. Например, в видимой области (свет) материалом стопы может быть обычное стекло, в инфракрасной – селен или хлористое серебро.

При падении естественного света на стопу пластин с показателем преломления n степень поляризации луча, прошедшего N пластин, растет. Теоретический вид зависимость $P(N)$ имеет вид:

$$P(N) = \frac{(n^2 + 1)^{4N} - (2n)^{4N}}{(n^2 + 1)^{4N} + (2n)^{4N}}. \quad (3)$$

2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Для получения и исследования поляризации света в работе используется установка, схема которой приведена на рис. 6.

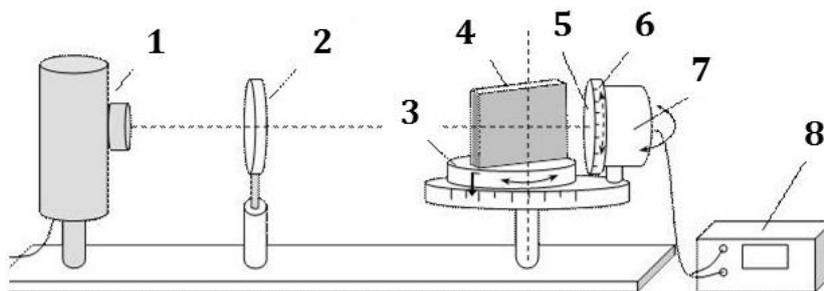


Рис. 6. Схема установки

На оптической скамье размещены лампа в корпусе 1, поляризатор 2, поворотный столик 3, съемный блок с пластинами 4, анализатор 5 во вращающейся обойме 6, подвижный фотоэлемент 7, единый блок питания и измерения интенсивности света 8.

Поворот лампы вокруг своей оси позволяет при необходимости исключать попадание излучения на фотоэлемент для фиксирования интенсивности окружающего света – «шума».

Поляризатор является съемным. *При ненадобности рекомендуется не убирать его с оптической скамьи, а опускать вниз до упора.*

Поворотный столик снабжен стрелкой-указателем для определения угла падения света на блок пластин. Под ним находится угловая шкала, положение которой можно регулировать. Зажимной винт позволяет фиксировать положение столика. Поворотный столик может вращаться вокруг вертикальной оси, тем самым изменять угол падения света на пластины.

Блок (стопа) с пластинами устанавливается в штыри поворотного столика. В работе используется набор блоков с двумя, четырьмя, шестью и восемью пластинами.

Анализатор расположен во вращающейся обойме, снабженной угловой шкалой. *Ноль угловой шкалы анализатора может не соответствовать положению, при котором плоскости поляризатора и анализатора совпадают.*

Фотоэлемент подвижен. Он может быть расположен как за блоком с пластинами, так и перед ним.

Данные, поступающие с фотоэлемента, преобразуются в блоке измерения интенсивности света в показания, пропорциональные световому потоку, падающему на фотоэлемент. *В работе эти показания принимаются за интенсивность света в условных единицах.*

Единый блок питания и измерения интенсивности света снабжен кнопкой одновременного включения лампы и шкалы измерителя интенсивности.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомьтесь с основными узлами и элементами установки:
 - источник света,
 - поляризатор,
 - поворотный столик с фиксаторами для стеклянных пластин, стрелка-указатель угла падения, винтовой зажим,
 - вращающийся узел анализатор-фотоэлемент, вращающаяся обойма с анализатором,
 - измеритель интенсивности света-блок питания лампы.
2. Определите уровень «шума». Для этого включите блок питания, исключите попадание света лампы на фотоэлемент (поверните/прикройте рукой лампу). Зафиксируйте в отчете значения интенсивности освещения помещения.
3. Проведите настройку установки по вертикали. Для этого опустите поляризатор максимально вниз. Разместите фотоэлемент напротив источника. Изменяя высоту приборов, расположите выходное отверстие источника на одном уровне с центром фотоэлемента.
4. Проведите настройку отсчета угла падения. Расположите стрелку-указатель угла падения как можно ближе к источнику. Совместите ноль шкалы отсчета углов падения со стрелкой-указателем.
 - *Дальнейшие манипуляции в работе проводите, придерживая шкалу отсчета углов, чтобы она не сдвигалась вслед за столиком или фотоэлементом.*
5. Определите степень поляризации излучения источника. Для этого фотоэлемент разместите строго напротив источника. Убедитесь, что при малом смещении фотоэлемента влево-вправо значения

интенсивности уменьшаются. В положении, при котором интенсивность максимальна, начинайте поворачивать анализатор. Вращая плоскость анализатора на 360° , зафиксируйте в отчете максимальное и минимальное значения интенсивности.

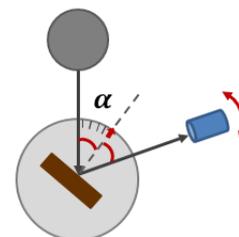
- *Поворот плоскости анализатора вблизи I_{min} и I_{max} следует проводить плавно с малым шагом, чтобы не пропустить наименьшее или наибольшее значение.*

Рассчитайте степень поляризации излучения источника по формуле (1).

Таблица 1

«Шум»	Степень поляризации излучения источника		
I , усл. ед.	I_{max} , усл. ед.	I_{min} , усл. ед.	P

6. Рассчитайте угол Брюстера для используемого стекла, показатель преломления которого равен 1,38.
7. Опустите вниз поляризатор.
8. Установите на поворотном столике блок с двумя пластинами. Поверните столик так, чтобы угол падения был равен рассчитанному углу Брюстера.
9. Поворачивая фотоэлемент, добейтесь попадания на него отраженного света. Правильное положение фотоэлемента соответствует максимальному значению интенсивности света вблизи угла отражения. Убедитесь, что при малом сдвиге фотоэлемента из этого положения значения интенсивности уменьшаются.



10. В этом положении фотоэлемента начинайте поворачивать анализатор. Вращая плоскость анализатора на 360° , зафиксируйте в отчете максимальное и минимальное значения интенсивности.
11. Переведите фотоэлемент за пластину. Найдите его положение напротив источника с максимальным значением интенсивности, соответствующее попаданию преломленного луча (прошедшего света) на фотоэлемент.

12. Прокрутите на 360° плоскость анализатора в поисках минимального и максимального значений интенсивности. Зафиксируйте их в таблице отчета.
13. Пункты 8-12 повторите для блоков с $N = 4, 6, 8$ пластин.
14. Рассчитайте степень поляризации света по формуле (1).

Таблица 2

Стопа Столетова		I_{max} , усл. ед.	I_{min} , усл. ед.	$P_{экспер}$	$P_{теор}$	δ
Угол Брюстера $\alpha_{Бр} = \underline{\hspace{2cm}}$	N					
Прошед.	2					
	4					
	6					
	8					
Отраж.	2					
	4					
	6					
	8					
Поляризатор						

15. На одной координатной сетке постройте графики зависимостей степеней поляризации отраженного и прошедшего лучей от числа пластин $P(N)$.
16. Для прошедшего света найдите теоретическое значение степени поляризации по формуле (3). Рассчитайте относительное отклонение результатов

$$\delta = \frac{P_{теор} - P_{экспер}}{P_{теор}}$$

17. Уберите пластину со столика. Установите между источником и фотоэлементом поляризатор. Фотоэлемент расположите напротив источника. Наблюдая за световым пятном при отражении и прохождении света сквозь поляризатор, отрегулируйте высоту

поляризатора так, чтобы он находился на одном уровне с другими приборами.

18. Убедитесь в том, что свет после поляризатора попадает в центр фотоэлемента (смещение фотоэлемента на малый угол приводит к уменьшению значений интенсивности). В таком положении фотоэлемента начинайте вращать анализатор.
19. Прокрутите на 360° плоскость анализатора в поисках минимального и максимального значений интенсивности. Запишите их в отчет.
20. Рассчитайте степень поляризации света, прошедшего поляризатор, по формуле (1).
21. Сформулируйте вывод на основе результатов работы. Проанализируйте зависимость степени поляризации отраженного и прошедшего сквозь стопу света от числа пластин, сравните со степенью поляризации света после поляризатора. Обратите внимание на изменение интенсивности отраженного и прошедшего сквозь стопу света при увеличении числа пластин, сравните с интенсивностью света после поляризатора. Оцените близость результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Возможна ли поляризация продольных волн? Почему?
2. Что такое электромагнитная волна?
3. Какой свет называют «естественным»? частично поляризованным?
4. Как найти степень поляризации света?
5. Чему равна степень поляризации естественного света? линейно поляризованного?
6. Чем отличается поляризатор от анализатора?
7. Чем замечателен угол Брюстера?
8. Какова степень поляризации падающего луча в законе Брюстера?
9. Выполните рисунок, поясняющий закон Брюстера.
10. Покажите, что при падении под углом Брюстера отраженный и преломленный лучи взаимно перпендикулярны.

Учебное издание

**ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОЛЯРИЗАТОРА И СТОПЫ СТОЛЕТОВА**

Методические указания к выполнению лабораторной работы О-39

Составитель

Шамшутдинова Варвара Владимировна

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати _____ 2023. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.

Заказ . Тираж _____ экз.

Национальный исследовательский Томский политехнический
университет



Система менеджмента качества



Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008

ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru