

Бипризма Френеля

Цель работы: изучить явление двухлучевой интерференции.

Решаемые задачи:

- приобрести навыки юстировки оптической схемы «Бипризма Френеля» и пронаблюдать интерференционную картину;
- пронаблюдать изменение ширины интерференционных полос в зависимости от расстояния между источником и бипризмой;
- определить расстояние между когерентными источниками;
- определить длину световой волны монохроматического источника.

Оптические элементы и аппаратура (рис.1):

- ✓ Не-Ne лазер (1);
- ✓ Бипризма Френеля (3);
- ✓ линза с фокусным расстоянием +5 мм (2);
- ✓ линза с фокусным расстоянием +200 мм (7);
- ✓ оптическая скамья (5);
- ✓ рейтеры (6);
- ✓ экран (4)
- ✓ измерительная линейка или рулетка.

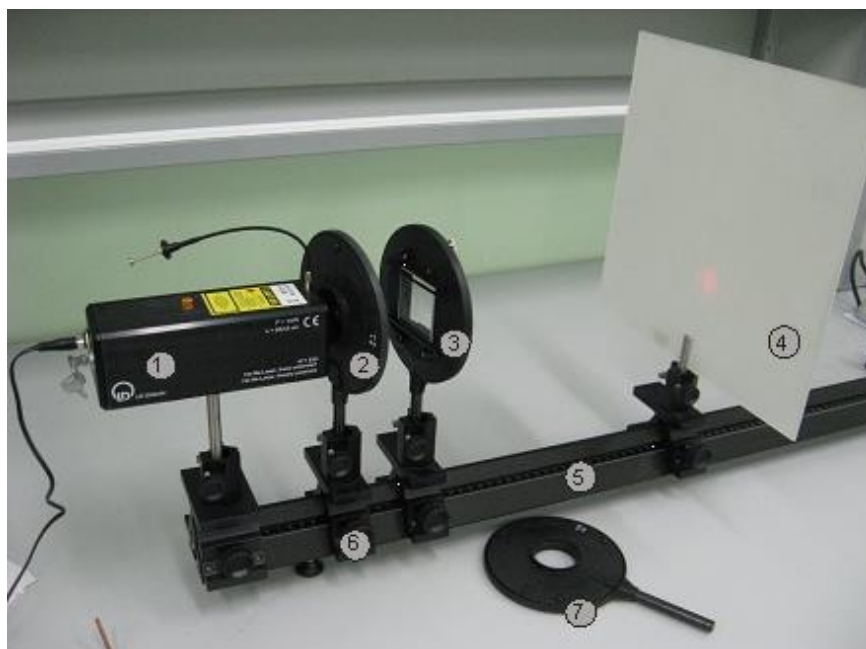


Рис.1. Общий вид установки для наблюдения интерференции с помощью бипризмы Френеля.

В оптической схеме с бипризмой Френеля когерентные волны создаются методом деления волнового фронта.

Плоская волна от лазера 1 фокусируется короткофокусной линзой 2 в точку А (см. рис.1 и схему на рис.2) и далее превращается в расходящийся пучок света. Часть волнового фронта попадает на экран через верхнюю половину бипризмы, а другая часть волнового фронта – через нижнюю.

Образуется два мнимых когерентных источника A_1 и A_2 (рис.2). В области пересечения расходящихся пучков от этих источников возникает интерференция. Ее можно наблюдать на экране в виде чередующихся светлых и темных полос.

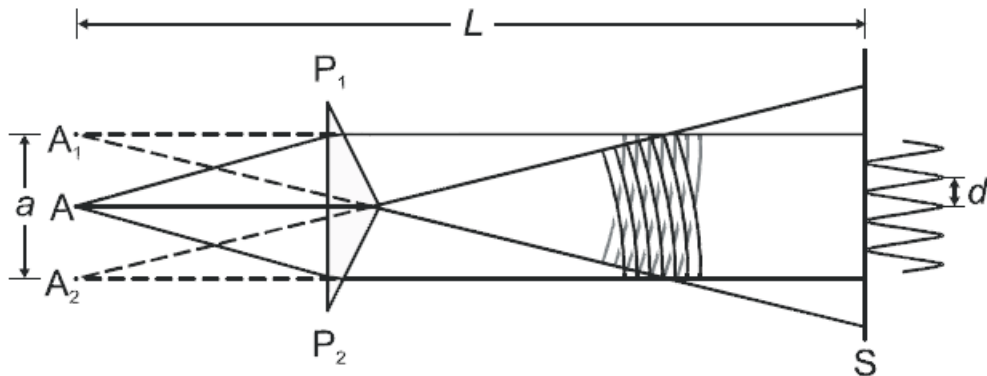


Рис.2 Оптическая схема для наблюдения интерференции с помощью бипризмы Френеля.

Ширина интерференционной картины d равна:

$$d = \frac{\lambda}{\varphi} = \frac{\lambda L}{a}, \quad (1)$$

где φ - угол между направлениями распространения волн, a – расстояние между когерентными источниками, L – расстояние от источника до экрана, λ - длина световой волны (рис.2).

Расстояние a между когерентными источниками S'_1 и S'_2 (рис.3) можно определить следующим образом.

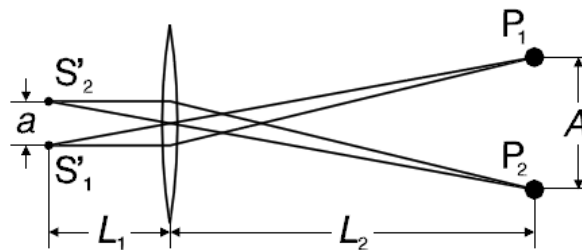


Рис.3. К способу определения расстояния между когерентными источниками.

Если получить на удаленном экране с помощью линзы изображения этих источников P_1 и P_2 , то расстояния a , A , L_1 и L_2 связаны соотношением:

$$\frac{a}{A} = \frac{L_1}{L_2},$$

откуда искомое расстояние равно:

$$a = A \frac{L_1}{L_2}. \quad (2)$$

Порядок выполнения работы:

Упражнение 1. Юстировки оптической схемы «Бипризма Френеля» и наблюдение интерференционной картины.

Соберите установку, фотография которой приведена на рис.1.

1. Лазер 1 установите на левом краю оптической скамьи. Направьте лазерный луч вдоль оптической скамьи. Измерьте его высоту над оптической скамьей (обозначим ее через Z).
2. На расстоянии ~ 12 см от лазера, установите короткофокусную линзу 2 (указанные расстояния отсчитываются от левых краев рейтеров, на которых закреплены элементы). Световой пучок сначала фокусируется в непосредственной близости линзы, создавая источник А (рис.2), а затем становится расходящимся. Перемещая линзу вверх-вниз, добейтесь, чтобы центр расходящегося пучка располагался на высоте Z .
3. На расстоянии 7 см от линзы закрепите бипризму Френеля. Ребро бипризмы должно быть посередине светового пучка.
4. Установите экран 4 на правом краю оптической скамьи.
5. Пронаблюдайте интерференционные полосы. Слегка перемещая бипризму вдоль оптической скамьи, наблюдайте изменения ширины интерференционных полос.

Упражнение 2. Определение расстояния между когерентными источниками.

1. Установите бипризму на расстоянии 7 см от линзы и получите на экране интерференционную картину.
2. Уберите экран, установите на оптической скамье линзу 5 с фокусным расстоянием +200 мм (рис.1).
3. Смещая линзу вдоль оптической скамьи, получите на удаленном на 1,5 – 2 м экране изображения двух точек (это изображения двух когерентных источников).
4. Измерьте расстояние между ними A , расстояние от линзы до экрана L_2 и до короткофокусной линзы 2 - L_2 (рис.3).
5. По формуле (2) определите a .

Упражнение 3. Определение длины волны лазерного излучения.

1. Уберите линзу 5 с фокусным расстоянием +200 мм. Установите экран 4 на конце оптической скамьи.
2. Приложите лист белой бумаги к экрану и зарисуйте несколько интерференционных полос. Используя полученный рисунок, определите ширину интерференционной полосы d .
3. Измерьте расстояние L между короткофокусной линзой 2 и экраном (рис.2).
4. Определите из соотношения (1) длину волны λ лазерного излучения.
5. Оцените ошибку определения этой величины.

Вопросы к обсуждению с преподавателем.

1. Интерференция монохроматического света. Расчет интерференционной картины при двухлучевой интерференции (оптический путь, оптическая разность хода, условия образования максимумов и минимумов, ширина интерференционной полосы).
2. Когерентные источники, способы их получения (метод деления амплитуды и метод деления волнового фронта).
3. Схема наблюдения интерференционной картины с помощью бипризмы Френеля. Объяснить назначение всех оптических элементов, используемых в установке, описать порядок юстировки оптической схемы.
4. Вывести рабочие формулы.
5. Объяснить, почему изменяется ширина интерференционной картины в зависимости от расстояния между короткофокусной линзой и бипризмой.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. §§16.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §27.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. Изд.10, М., Физматлит, 2008. §121.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §5.1, §5.2

Изучение вращения плоскости поляризации на модели поляриметра.

Цель работы: изучить явление вращения плоскости поляризации света.

Решаемые задачи:

- пронаблюдать зависимость угла вращения плоскости поляризации раствором сахара от длины волны;
- определить углы вращения плоскости поляризации для различных длин волн;
- используя закон Био, определить удельную постоянную вращения раствора сахара $[\alpha]$.

Оптические элементы и аппаратура:

- ✓ малая оптическая скамья (1);
- ✓ осветитель (галогенная лампа в корпусе) (2) и блок питания (3);
- ✓ держатель и стеклянный фильтр (4);
- ✓ поляроиды - поляризатор (5) и анализатор (6);
- ✓ стеклянная плоскопараллельная кювета с раствором сахара (7);
- ✓ линза с фокусным расстоянием $f = +100$ см (8);
- ✓ экран (9);
- ✓ универсальные зажимы (10);
- ✓ светофильтры на разные длины волн (входят в комплект и устанавливаются в держателе 4).

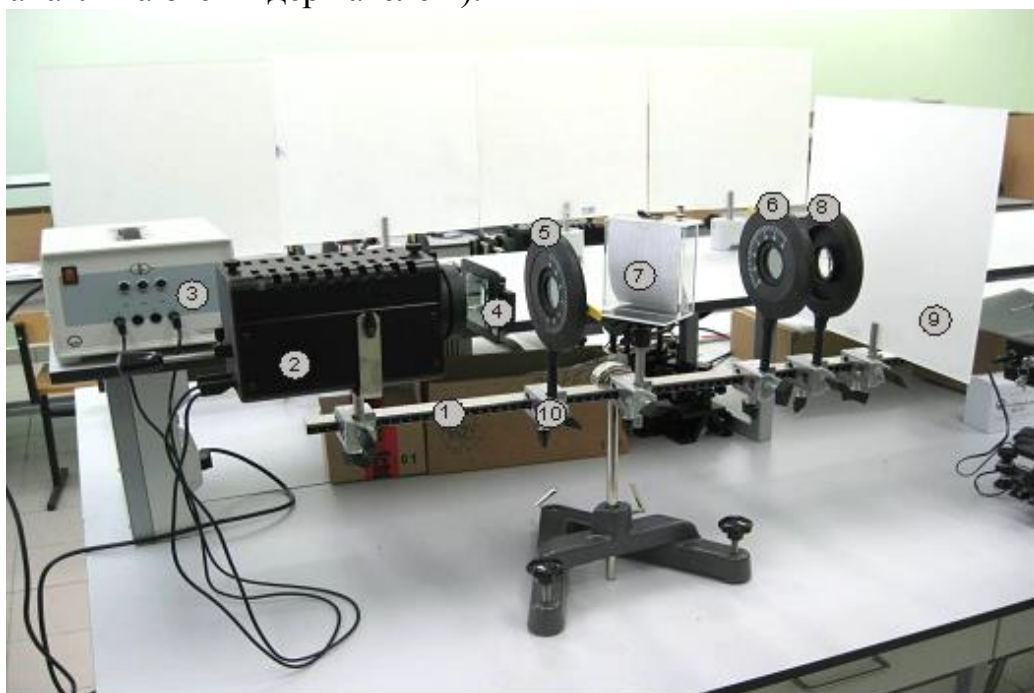


Рис. 1. Общий вид установки

Простейшей моделью поляриметра, используемой в данной работе, является система из двух скрещенных поляризационных фильтров (поляризатора и анализатора), между которыми помещается слой оптически активного вещества (раствора сахара). Измерение угла поворота плоскости поляризации производится при помощи установки анализатора на темноту

поля зрения в присутствии и отсутствии оптически активного вещества. Этот метод является приближенным, т.к. человеческий глаз не может точно определить положение, в котором анализатор установлен на полное затемнение поля зрения.

Порядок выполнения работы:

Упражнение 1. Наблюдение и измерение зависимости угла вращения плоскости поляризации от длины волны λ .

Подготовка к измерениям:

1. Соберите установку как на рис. 1.
2. Поместите тепловой (прозрачный стеклянный) фильтр в держатель (4) на пути луча.
3. Включите лампу.
4. Установите поляризатор и анализатор так, чтобы нанесенные на их оправы шкалы были обращены к экрану и поставьте их на 90^0 (интенсивность света, проходящего через систему при этом максимальна).
5. Переместите линзу так, чтобы поле зрения на экране было максимально освещено.

Замечание! Если наблюдения ведутся при ярком внешнем освещении (например, при солнечной погоде), то интенсивность картины на экране будет очень слабой. Тогда эксперимент следует проводить, убрав линзу и экран, наблюдая картину непосредственно со стороны анализатора. Чтобы галогенная лампа при этом не оказывала слепящего действия, ее накал можно уменьшить с помощью блока питания.

6. Налейте 50 мл раствора сахара известной концентрации в плоскую стеклянную кювету (примерно до уровня 5 см) и закройте кювету.
7. Поместите кювету на предметный столик вдоль направления луча и выровняйте кювету так, чтобы при наблюдении со стороны анализатора поле зрения делилось на две приблизительно равные части: в одной половине наблюдается свет, идущий от источника, в другой - свет, проходящий через кювету. (***Внимание!*** ***заполнение и размещение кюветы следует проводить под наблюдением преподавателя или инженера лаборатории***).

А. Наблюдение в белом свете:

1. Вращением анализатора добейтесь полного затемнения того участка поля зрения, где наблюдается свет, идущий от источника (поляризатор и анализатор скрещены). Убедитесь, что через кювету с сахаром при этом свет проходит.
2. Пронаблюдайте изменение цвета излучения, проходящего через кювету с раствором сахара при вращении анализатора (зависимость угла поворота плоскости поляризации от длины волны).

В. Наблюдение в монохроматическом свете:

1. Поместите красный фильтр в держатель (4).

2. Вращением анализатора добейтесь полного затемнения того участка поля зрения, где наблюдается свет, идущий от источника. Убедитесь, что через кювету с сахаром при этом свет проходит.
3. Для полного затемнения участка поля зрения, куда попадает свет, проходящий через кювету, необходимо повернуть анализатор на некоторый угол φ_1 . Определите этот угол.
4. Аналогичные измерения проведите для зеленого, желтого и синего фильтра, определив соответственно углы φ_2 , φ_3 и φ_4 .
5. Результаты представьте в виде таблицы, в которой приведите углы поворота плоскости поляризации для различных цветов.

Упражнение 2. Определение удельной постоянной вращения раствора сахара.

В данном упражнении наблюдения ведутся в белом свете.

1. Вращением анализатора добейтесь полного затемнения того участка поля зрения, где наблюдается свет, идущий от источника. Через кювету с сахаром при этом свет проходит;
2. Для полного затемнения участка поля зрения, куда попадает свет, проходящий через кювету, необходимо повернуть анализатор на некоторый угол φ_0 . Определите этот угол;
3. Измерьте длину кюветы d (длину пути, проходимого светом в оптически активном веществе);
4. Зная концентрацию раствора сахара, угол поворота плоскости поляризации φ_0 и d определите постоянную вращения сахара, используя закон Био.

Упражнение 3. Исследование зависимости удельной постоянной вращения раствора сахара от длины волны λ .

1. Рассчитайте (см. пункт 4 упр.2) удельную постоянную вращения для различных λ , используя данные, полученные в упр. 1.
2. Используя данные табл.1, постройте график зависимости $[\alpha]$ от $\frac{1}{\lambda^2}$.

Таблица 1. Длины волн в максимуме пропускания для различных фильтров.

фильтр	красный	желтый	зеленый	синий
λ , нм	650	579	529	450

Контрольные вопросы :

1. Виды поляризации света.
2. Закон Малюса.
3. Естественное вращение плоскости поляризации. Оптически активные вещества.
4. Феноменологическая теория вращения плоскости поляризации.
5. Эксперимент. Анализ результатов эксперимента.

Литература

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. Главы XVI, XVII, XXX.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §§ 62, 94.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Книга 5. М., АСТ: Астрель, 2006. Глава 6.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §1.2, §2.9, §§4.1–4.4.
5. Годжаев Н.М. Оптика., М., Высшая школа, 1977. Глава IX, глава XII (§ 5, 6).

Дифракция Фраунгофера на одно- и двумерных решетках

Цель работы: изучить явление дифракции параллельного пучка света на периодической структуре.

Решаемые задачи:

- пронаблюдать дифракционную картину от одномерных решеток с различным количеством штрихов на см визуально на экране;
- пронаблюдать дифракционную картину от двумерных решеток визуально на экране;
- измерить расстояния между максимумами в дифракционной картине от одномерной решетки и определить период решетки d (g – в обозначениях на пластинке);
- определить длину волны гелий-неонового лазера по дифракционной картине от двумерной решетки.

Оптические элементы и аппаратура:

- ✓ гелий-неоновый лазер (1);
- ✓ пружинный держатель (2);
- ✓ диафрагма с тремя одномерными решетками 469 87 (3);
- ✓ диафрагма с двумя двумерными решетками 469 88 (4);
- ✓ оптическая скамья (5);
- ✓ рейтеры (6);
- ✓ полупрозрачный экран (7);
- ✓ салазковый штатив (8).

Дифракция представляет собой отступление от законов геометрической оптики при распространении волн. Она является одним из доказательств волновой природы света. Дифракция всегда наблюдается, когда на пути светового пучка имеются препятствия, такие, например, как щели или ирисовые диафрагмы. В этом случае отклонение от прямолинейного распространения света называют дифракцией. В зависимости от экспериментальных проявлений выделяют два типа дифракции.

Дифракция Фраунгофера наблюдается в параллельном пучке света с плоским волновым фронтом. В этом случае предполагается, что источник света удален на бесконечно большое расстояние от препятствия (объекта дифракции). Кроме того, экран, на котором наблюдается дифракционная картина, также предполагается удаленным на бесконечно большое расстояние от препятствия.

В случае дифракции Френеля и источник света, и экран располагаются на конечном расстоянии от объекта дифракции. С увеличением расстояний

дифракция Френеля в пределе переходит в дифракцию Фраунгофера.

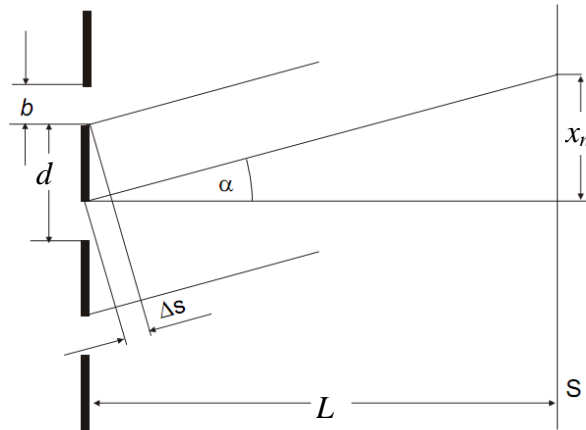


Рис. 1. Дифракция света на периодической структуре. b – ширина щелей, d – период решетки, L – расстояние между решеткой и экраном S , x_n – расстояние от центра дифракционной картины до n -ого максимума.

Если на дифракционную решетку с периодом d падает параллельный пучок света, как показано на рис. 1, то вследствие явления дифракции свет попадает, в том числе, и в область геометрической тени. На экране наблюдается картина чередующихся полос максимумов и минимумов. Условие нахождения в определенной точке экране, удаленной от центра на расстояние x_n максимума имеет вид:

$$n \frac{\lambda}{d} = \frac{x_n}{L}, n = 1, 2, 3 \dots (1)$$

где λ - длина волны падающего света, n – порядок максимума. Здесь предполагается, что L много больше d .

Таким образом, зная длину волны источника света и расстояние L , по дифракционной картине, наблюдаемой от щели, можно определить неизвестный период решетки d . Зная период решетки, по дифракционной картине, наблюдаемой на экране, можно определить длину волны источника света.

Для N щелей ширины b и с периодом d распределение интенсивности света на экране задается следующим выражением:

$$I(\alpha) = \frac{\sin^2\left(\frac{\phi}{2}\right)}{\left(\frac{\phi}{2}\right)^2} \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{N}{2}\varphi\right)}{\sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)}, (2)$$

где $\phi = \frac{2\pi}{\lambda} b \sin \alpha$ и $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \alpha$.

В выражении (2) второй множитель соответствует периодической

последовательности максимумов и минимумов интенсивности, которая бы наблюдалась от совокупности N равноудаленных друг от друга щелей бесконечно малой ширины. Первый множитель описывает влияние конечной ширины щелей b . В результате огибающая дифракционной картины представляет собой дифракционную функцию от одной щели с шириной b .

Суперпозиция двух одномерных дифракционных решеток под углом 90° друг к другу представляет собой двумерную решетку. Дифракционная картина по-прежнему может быть описана с помощью выражения (2), но уже в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Порядок выполнения работы:

Упражнение 1. Сборка установки для наблюдения дифракции на периодических структурах. Наблюдение дифракционных картин от одномерных решеток с различным периодом.

Собрать установку, схема которой приведена на рис. 2.

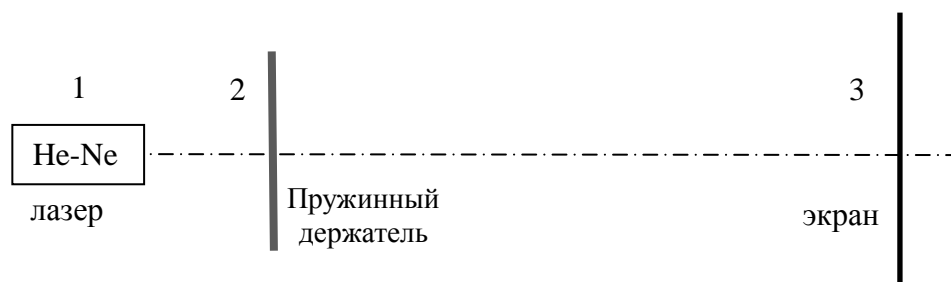


Рис. 2. Схема установки для наблюдения дифракции на периодических структурах.

Внимание! Гелий-неоновый лазер относится ко 2 классу опасности. При работе с ним нужно соблюдать меры предосторожности:

Не допускать попадания прямого или отраженного лазерного луча в глаза – не заглядывать внутрь лазера.

На конце оптической скамьи установить с помощью рейтера гелий-неоновый лазер 1. На расстоянии около 20 см от лазера на скамье закрепить пружинный держатель пока без пластинки с решетками. Установить полупрозрачный экран 7 на салазковом штативе на стол на расстоянии около 170 см от положения пружинного держателя. Направить лазер параллельно оптической скамье. Поворотом ключа в положение «1» на задней стенке лазера включить его. Отрегулировать элементы оптической схемы таким образом, чтобы луч лазера попадал в центр экрана.

В пружинный держатель вставить диафрагму (пластинку) с тремя одномерными решетками. Аккуратно (не касаясь пальцами прозрачной части пластинки) перемещая пластинку в пружинной держателе, добиться того, чтобы лазерный пучок полностью приходился на одну из решеток на диафрагме. Последовательно пронаблюдать дифракционные картины на экране от всех трех

решеток. При необходимости интенсивность лазерного пучка можно временно увеличить, нажимая на кнопку на конце гибкого стержня, выходящего из верхней части корпуса гелий-неонового лазера. При этом сдвигается серый фильтр, закрывающий выходное отверстие лазера. Измерить расстояния между максимумами дифракционной картины. Для этого приложить к экрану лист белой бумаги и карандашом отметить положения нескольких максимумов. Внимание! При измерениях расстояние между решеткой и полупрозрачным экраном должно быть постоянным! С помощью рулетки или длинной линейки измерить расстояние между решеткой и полупрозрачным экраном L . Считая длину волны гелий-неонового лазера равной 633 нм, определить периоды для трех решеток. Результаты записать в таблицу:

Расстояние между максимумами, x_n /мм	Период решетки, d /мм

Упражнение 2. Определение длины волны излучения лазера по дифракционной картине от двумерной решетки.

Поменять диафрагму в пружинном держателе на диафрагму с двумя двумерными решетками. Пронаблюдать на экране дифракционные картины от обеих двумерных решеток. Для каждой двумерной решетки измерить расстояния между максимумами с помощью листа бумаги (см. упражнение 1). С помощью рулетки или длинной линейки измерить расстояние между решеткой и полупрозрачным экраном L . Зная период решеток ($d = 0.25$ мм), по формуле (1) найти длину волны гелий-неонового лазера.

Вопросы к обсуждению с преподавателем.

1. Явление дифракции света. Принцип Гюйгенса-Френеля.
2. Классификация дифракционных явлений. Дифракция Френеля и Фраунгофера.
3. Дифракция Фраунгофера на периодической структуре из N одинаковых щелей.
4. Почему в качестве источника излучения используется лазер?
5. Как меняется дифракционная картина от решетки при уменьшении периода решетки?
6. Каким образом на дифракционную картину влияет конечная ширина щелей решетки? Показать, где это проявляется в эксперименте.

Литература

1. Ландсберг Г. С. Оптика. Учеб. пособие: Для вузов. – 6-е. изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 848 с. §§ 44, 45-48, 52, 53.
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т. IV. Оптика. — 3-е изд., стереот. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 792 с. §§ 46, 47, 61.

Дифракция Фраунгофера на щели

Цель работы: изучить явление дифракции параллельного пучка света на щели.

Решаемые задачи:

- приобрести навыки юстировки оптической схемы для наблюдения дифракции с He-Ne лазером в качестве источника света;
- пронаблюдать дифракционную картину от щелей различной ширины визуально на экране и с помощью системы VideoCom;
- определить ширину щели по расстоянию между минимумами на экране;
- с помощью системы VideoCom убедиться в линейном характере зависимости расстояний между минимумами дифракционной картины от обратной ширины щели;
- измерить зависимость расстояния до n -ого минимума от его порядка n .

Оптические элементы и аппаратура:

- гелий-неоновый лазер (1);
- линза с фокусным расстоянием $f = +5$ мм (2);
- линза с фокусным расстоянием $f = +50$ мм (3);
- поляризатор (4);
- щель переменной ширины (5)
- линза с фокусным расстоянием $f = +50$ мм (6);
- приемник излучения VideoCom (7);
- компьютер (8)
- оптическая скамья (9);
- рейтеры (10);
- полупрозрачный экран (11);
- щели с фиксированной шириной на диафрагме (12);
- пружинный держатель (13).

Дифракция представляет собой отступление от законов геометрической оптики при распространении волн. Она является одним из доказательств волновой природы света. Дифракция всегда наблюдается, когда на пути светового пучка имеются препятствия, такие, например, как щели или ирисовые диафрагмы. В этом случае отклонение от прямолинейного распространения света называют дифракцией. В зависимости от экспериментальных проявлений выделяют два типа дифракции.

Дифракция Фраунгофера наблюдается в параллельном пучке света с плоским волновым фронтом. В этом случае предполагается, что источник света удален на бесконечно большое расстояние от препятствия (объекта дифракции). Кроме того, экран, на котором наблюдается дифракционная картина, также предполагается удаленным на бесконечно большое расстояние от препятствия.

Экспериментально это реализуется с помощью набора линз, устанавливаемых между источником света и объектом дифракции, которые и формируют параллельный пучок света.

В случае дифракции Френеля и источник света, и экран располагаются на конечном расстоянии от объекта дифракции. С увеличением расстояний дифракция Френеля в пределе переходит в дифракцию Фраунгофера. Поскольку расчет дифракционных картин проще выполнять для дифракции Фраунгофера, экспериментальные упражнения, предлагаемые в данной работе, основаны на предположении, что наблюдаемая дифракция – это дифракция в параллельных пучках света.

Если на щель малой ширины падает параллельный пучок света, как показано на рис. 1, то вследствие явления дифракции свет попадает в том числе и в область геометрической тени. На экране наблюдается картина чередующихся полос максимумов и минимумов. Условие нахождения в определенной точке экране минимума имеет вид:

$$b \sin \varphi = n \lambda, n = 1, 2, 3 \dots (1)$$

где b – ширина щели, φ - угол, под которым видна интересующая нас точка экрана, λ - длина волны падающего света, n – порядок минимума.

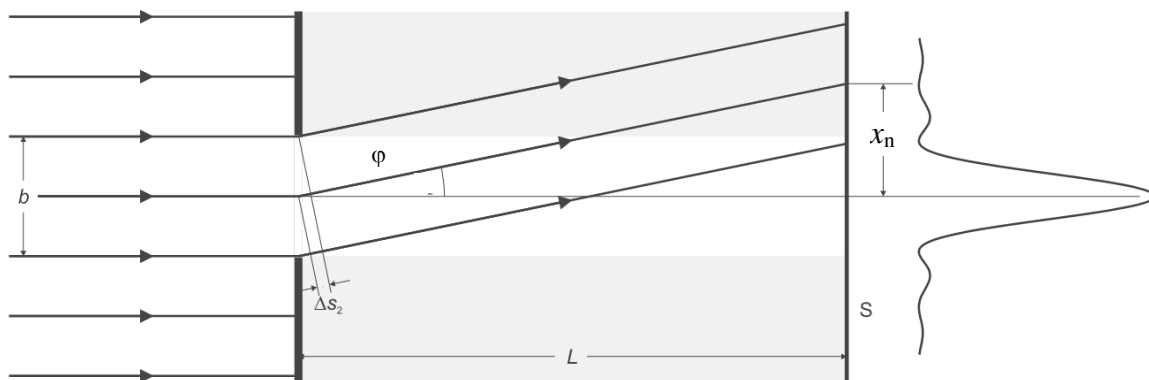


Рис.1. Дифракция Фраунгофера на щели.

В случае, когда угол φ мал, а расстояние между щелью и экраном L велико, можно записать

$$\sin \varphi \approx \varphi \approx \frac{x_n}{L}. (2)$$

Тогда условие (1) принимает вид

$$b \frac{x_n}{L} = n \lambda. (3)$$

Таким образом, зная длину волны источника света и расстояние L , по

дифракционной картине, наблюдаемой от щели, можно определить неизвестную ширину щели b . Если же ширину щели можно менять, то график зависимости расстояния между двумя ярко выраженными минимумами одного порядка $2 \cdot x_n$ от обратной ширины щели $1/b$ будет представлять собой прямую линию.

Порядок выполнения работы:

Упражнение 1. Сборка установки для наблюдения дифракции на щели. Наблюдение дифракционной картины от щели с переменной шириной с помощью системы VideoCom.

Собрать установку, фотография которой приведена на рис.2.



Рис. 2 Внешний вид установки для наблюдения дифракции на щели с помощью системы VideoCom.

Внимание! Гелий-неоновый лазер относится ко 2 классу опасности. При работе с ним нужно соблюдать меры предосторожности:

Не допускать попадания прямого или отраженного лазерного луча в глаза – не заглядывать внутрь лазера.

Все оптические элементы должны быть установлены на одной высоте.

На оптической скамье 9 установить с помощью рейтера 10 гелий-неоновый лазер 1. На расстоянии около 50 см от лазера на скамье закрепить щель с переменной шириной 5. Направить лазер параллельно оптической скамье. Поворотом ключа в положение «1» на задней стенке лазера включить его. Добиться того, чтобы лазерный луч попадал точно в центр щели.

Перед лазером установить линзу 2 с фокусным расстоянием +5 мм. Расстояние между передней стенкой лазера и линзой должно быть примерно 1 см. Теперь свет лазера должен полностью закрыть диафрагму со щелью.

На расстоянии порядка 7 см от линзы 2 установить линзу 3 с фокусным расстоянием +50 мм (расстояния измеряются по одноименным краям рейтеров 10 на оптической скамье 9: по правым или левым). Перемещая линзу 3 вдоль оптической скамьи, получить четкое изображение лазерного пятна на щели 5. После этого слегка сдвинуть линзу 3 по направлению к линзе 2 так, чтобы диаметр пятна на щели стал равен приблизительно 6 мм. В этом случае диаметр лазерного пучка вдоль оптической оси должен быть постоянным. Это можно проверить с помощью листа белой бумаги, перемещая его вдоль оптической скамьи и наблюдая за изображением лазерного пучка.

Переместить диафрагму со щелью ближе к лазеру. Расстояние между лазером и диафрагмой должно стать 35 см. Убедиться в том, что лазерное пятно по-прежнему находится в центре щели. Между щелью 5 и линзой 3 установить поляризатор 4.

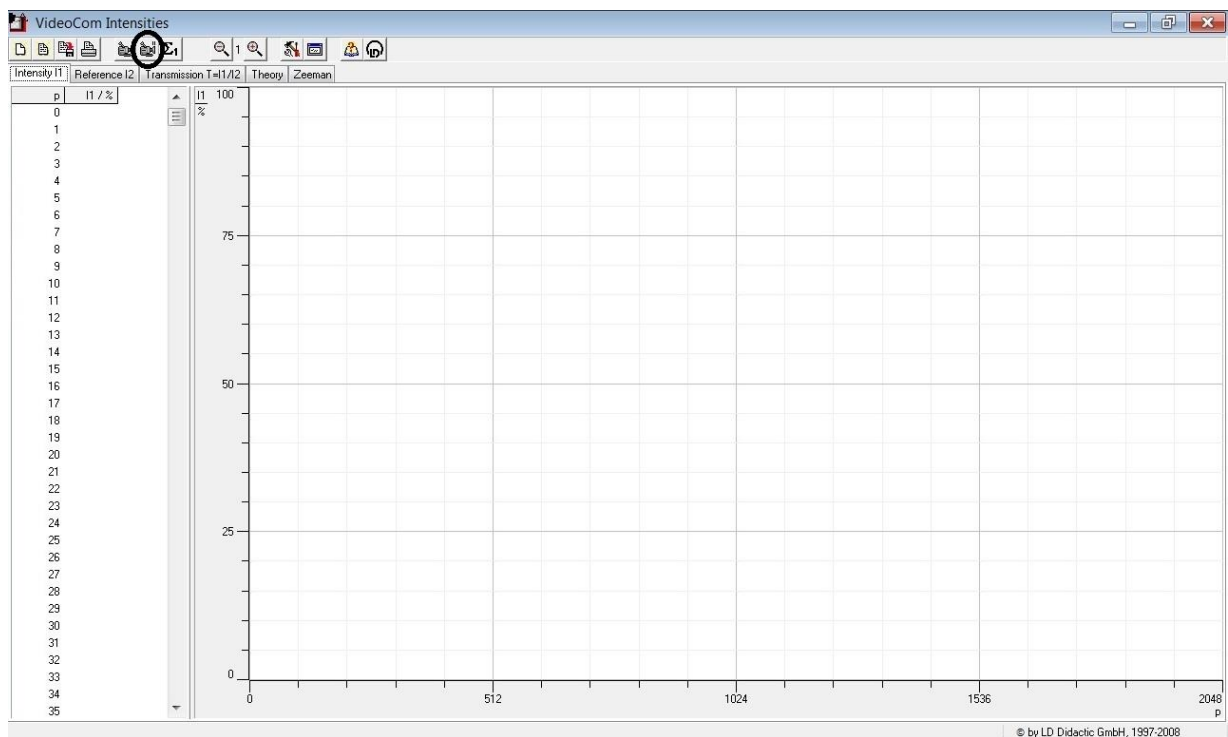


Рис. 3. Окно программы «VideoCom Intensities». Маркером отмечена кнопка начала измерения на 2048 пикселях. По оси X отложены пиксели, по оси Y интенсивность падающего света в %.

На противоположном от лазера конце оптической скамьи установить приемник излучения VideoCom 7. Ближайшая к корпусу приемника шкала на объективе соответствует ширине диафрагмы объектива, она должна быть установлена на значение 1,5, что соответствует максимальной ширине диафрагмы. Вторая шкала должна быть установлена на ∞ . С помощью USB-разъема подключить приемник к компьютеру 8. На компьютере запустить программу «VideoCom Intensities». С помощью шкалы на задней стороне диафрагмы со щелью 5 выставить ширину щели, равную 0,6 мм. На рис. 3 показан внешний вид окна программы «VideoCom Intensities». Для запуска

измерений в программе нажать соответствующую клавишу или клавишу F9 на клавиатуре. Те же клавиши останавливают измерение.

При правильной сборке установки в центральном диапазоне шкалы программы должен наблюдаться узкий интенсивный сигнал (интенсивность падающего на приемник света можно регулировать, поворачивая поляризатор, при этом положение 0 соответствует максимальной интенсивности, в положении 90 свет не проходит). При полностью открытом поляризаторе (положение 0) интенсивность наблюдаемого сигнала должна быть > 100 .

Получив интенсивный сигнал от приемника, установить дополнительную линзу 6 с фокусным расстоянием +50 мм перед объективом приемника VideoCom. При этом частично повернуть поляризатор ($\sim 45^\circ$). Линзу необходимо установить таким образом, чтобы ободок вокруг линзы совместился с внешним корпусом объектива. Запустив измерение в программе «VideoCom Intensities» и регулируя интенсивность излучения с помощью поляризатора, получить на экране компьютера дифракционную картину от щели: должен наблюдаться интенсивный максимум в центре и несколько максимумов более высоких порядков с меньшими интенсивностями с обеих сторон от него.

Меняя ширину щели (0,2 мм, 0,4 мм, 0,6 мм, 0,8 мм), получить дифракционные картины для различных ширин щели на экране компьютера. Для каждой фиксированной ширины измерить расстояние в пикселях между двумя вторыми минимумами (допустимо измерять расстояния между третьими минимумами, однако для всех ширин щели порядок используемых минимумов должен быть одинаковым). При необходимости часть окна программы можно растянуть: необходимо нажать сочетание клавиш Alt+Z и выделить мышкой желаемую область. Обратное масштабирование — Alt+O.

Результаты записать в таблицу.

Ширина щели, $b/\text{мм}$	Расстояние между первыми минимумами, $2x_n/\text{пиксель}$

Построить график зависимости расстояния между минимумами от обратной ширины щели $x_n = f(1/b)$.

Упражнение 2. Определение зависимости расстояния до n -ого минимума от его порядка.

Используется та же схема установки, что и в упражнении 1.

С помощью шкалы на задней поверхности диафрагмы со щелью переменной ширины установить ширину щели, равную 0,6 мм. Получить на экране компьютера четкое изображение дифракционной картины. Растянуть необходимую область изображения на весь экран. Измерить расстояние в

пикселях между минимумами с $n = 1, 2, 3$ и т.д., пока есть такая возможность, но не менее 3-х точек. Для определения расстояния между минимумами с $n = 3$ и более интенсивность падающего на приемник света можно увеличить, повернув в соответствующую сторону поляризатор. Результаты записать в таблицу

Порядок минимума, n	Расстояние между n -ыми минимумами, $2x_n/\text{пиксель}$	Отношение x_n/n (мм/пиксель)

Упражнение 3. Определение ширины щели по дифракционной картине.

В этом упражнении дифракционная картина от щели наблюдается визуально на полупрозрачном экране. Для этого с оптической скамьи 10 следует убрать поляризатор 4, линзу 6, приемник VideoCom 7, а диафрагму со щелью переменной ширины 5 заменить на пружинный держатель 13, в который вставить пластинку 12 с 3 щелями неизвестной ширины. Полупрозрачный экран закрепить с помощью рейтера 10 на конце оптической скамьи. Схема полученной установки показана на рис. 4.

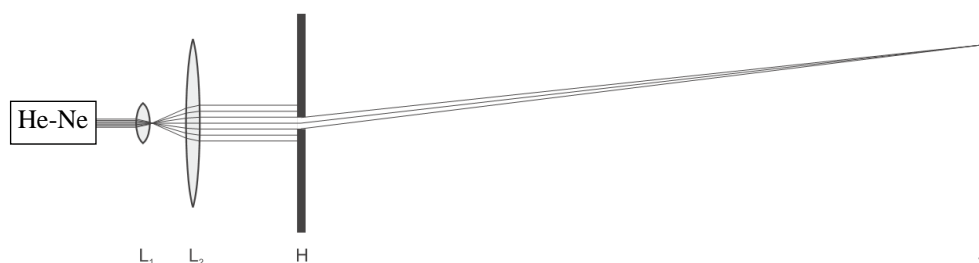


Рис. 4. Схема экспериментальной установки для наблюдения дифракционной картины от щели на экране. Здесь L_1 и L_2 – линзы с фокусными расстояниями +5 мм и +50 мм, соответственно, H – пружинный держатель с пластинкой с тремя щелями различной ширины, S – полупрозрачный экран.

Аккуратно (держась за края пластинки 12) перемещая пластинку в пружинной держателе, добиться того, чтобы центр лазерного пучка приходился на одну из щелей на диафрагме. При этом на полупрозрачном экране должна быть видна дифракционная картина из максимумов и минимумов. Передвигая пластинку в держателе, получить дифракционные картины на экране от всех трех щелей неизвестной ширины. При необходимости интенсивность лазерного пучка можно временно увеличить, нажимая на кнопку на конце гибкого стержня, выходящего из верхней части корпуса гелий-неонового лазера. При этом сдвигается серый фильтр, закрывающий выходное отверстие лазера.

Прикладывая к экрану лист белой бумаги, отметить карандашом положения первых минимумов дифракционной картины для всех трех щелей. Выключить лазер поворотом ключа в положение «0». Линейкой измерить полученные расстояния $2x_{1i}$. Записать результаты. Для определения ширины щелей также необходимо измерить расстояние между полупрозрачным экраном и самой щелью L . Теперь, зная длину волны гелий-неонового лазера 632,8 нм, можно определить ширину i -ой щели, где $i = 1, 2, 3$, по формуле:

$$b_i = \frac{L\lambda}{x_{1i}} \quad (4).$$

Записать полученные значения.

Вопросы к обсуждению с преподавателем.

1. Явление дифракции света. Принцип Гюйгенса-Френеля.
2. Классификация дифракционных явлений. Дифракция Френеля и Фраунгофера.
3. Дифракция Фраунгофера на щели. Вывести формулу для определения ширины щели по расстоянию между минимумами n -ого порядка.
4. Объяснить назначение всех оптических элементов, используемых в установке, описать порядок юстировки оптической схемы.
5. Объяснить линейный характер зависимости расстояния между минимумами от обратной ширины щели.
6. Как меняется дифракционная картина от щели при изменении расстояния между щелью и экраном?

Литература

1. Ландсберг Г. С. Оптика. Учеб. пособие: Для вузов. – 6-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 848 с. §§ 39-42.
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т. IV. Оптика. — 3-е изд., стереот. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 792 с. §§ 39-45.

Исследование линейно - поляризованного света и проверка закона Малюса.

Цель работы: изучить явление поляризации света.

Решаемые задачи:

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

Оптические элементы и аппаратура:

- ✓ малая оптическая скамья (1);
- ✓ осветитель (галогенная лампа в корпусе) (2) и блок питания (3);
- ✓ держатель с тепловым фильтром (4);
- ✓ селеновый фотоэлемент (5);
- ✓ поляроиды - поляризатор (6) и анализатор (7);
- ✓ цифро-аналоговый мультиметр (8);
- ✓ универсальные зажимы (9).

В данной работе линейно поляризованный свет получается при прохождении излучения от галогенной лампы (2) через поляризатор (6).

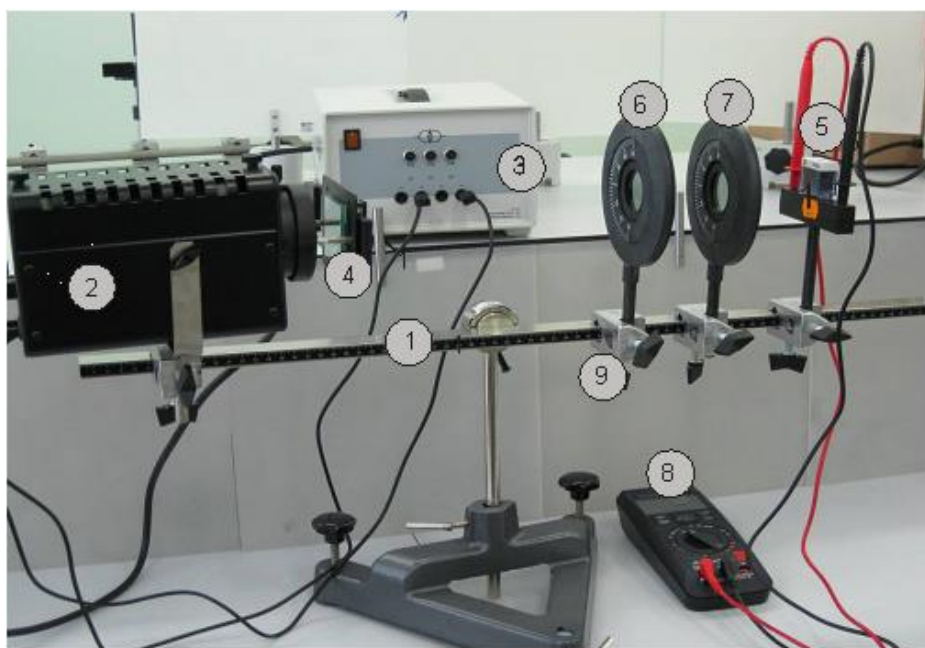


Рис. 1. Общий вид установки

Порядок выполнения работы:

1. Включить галогенную лампу.
2. Установить поляроиды в зажимах на одной высоте так, чтобы луч света от галогенной лампы проходя через них попадал на селеновый фотоэлемент.

3. Установить поляризатор на 90° (по делениям на его оправе), а анализатор повернуть так, чтобы интенсивность света, проходящего через систему, была максимальна.
4. Последовательно поворачивая анализатор (6) с шагом $5 - 10^{\circ}$, измерить силу фототока для каждой ориентации анализатора. Провести эти измерения для поворота анализатора на 180° .
5. Неизбежный фон (шум) сигнала, обусловленный внешним освещением скорректировать, вычитая из всех полученных значений фототока величины I_{\min} - значение фототока в минимуме.
6. На координатной сетке построить график зависимости I/I_{\max} (где I – величина фототока при данном угле поворота анализатора, а I_{\max} - значение фототока в максимуме) от угла между плоскостями поляризатора и анализатора.
7. Для сравнения с теоретическим законом на той же координатной сетке построить график функции: $y = \text{Cos}^2\varphi$, где φ - угол, отсчитываемый от направления максимального пропускания поляризаторов.

Контрольные вопросы :

1. Виды поляризации света. Закон Малюса.
2. Явление двойного лучепреломления.
3. Построение Гюйгенса для одноосных кристаллов.
4. Анализ поляризованного света.
5. Поляризационные приспособления (поляроиды, поляризационные призмы).
6. Эксперимент. Анализ результатов эксперимента.

Литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. 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. М., АСТ: Астрель, 2006. Глава 6.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §1.2, §§4.1–4.4.
5. Годжаев Н.М. Оптика., М., Высшая школа, 1977. Глава IX.

Зеркало Ллойда

Цель работы: изучить явление двухлучевой интерференции.

Решаемые задачи:

- приобрести навыки юстировки оптической схемы «Зеркало Ллойда» и пронаблюдать интерференционную картину;
- пронаблюдать изменение ширины интерференционных полос в зависимости от расстояния между источником и поверхностью зеркала;
- определить расстояние между когерентными источниками;
- определить длину световой волны монохроматического источника.

Оптические элементы и аппаратура (рис.1):

- ✓ He-Ne лазер (1);
- ✓ «Зеркало Ллойда» (3);
- ✓ линза с фокусным расстоянием +5 мм (2);
- ✓ линза с фокусным расстоянием +200 мм (5);
- ✓ оптическая скамья (8);
- ✓ рейтеры (9);
- ✓ экран (4);
- ✓ измерительная линейка (6).



Рис.1. Общий вид установки для наблюдения интерференции с помощью схемы «Зеркало Ллойда»

В оптической схеме с зеркалом Ллойда когерентные волны создаются методом деления волнового фронта.

Плоская волна от лазера 1 фокусируется короткофокусной линзой 2 в точку А (см. рис.1 и схему на рис.2) и далее превращается в расходящийся пучок света. Часть волнового фронта непосредственно попадает на экран. Другая часть волнового фронта попадает на экран после отражения в плоском зеркале (3 на рис.1 и R на рис.2) Этот световой пучок как бы излучается мнимым источником А'. Поскольку две волны, падающие на

экран, когерентны, то в той области, где они перекрываются, возникает интерференционная картина.

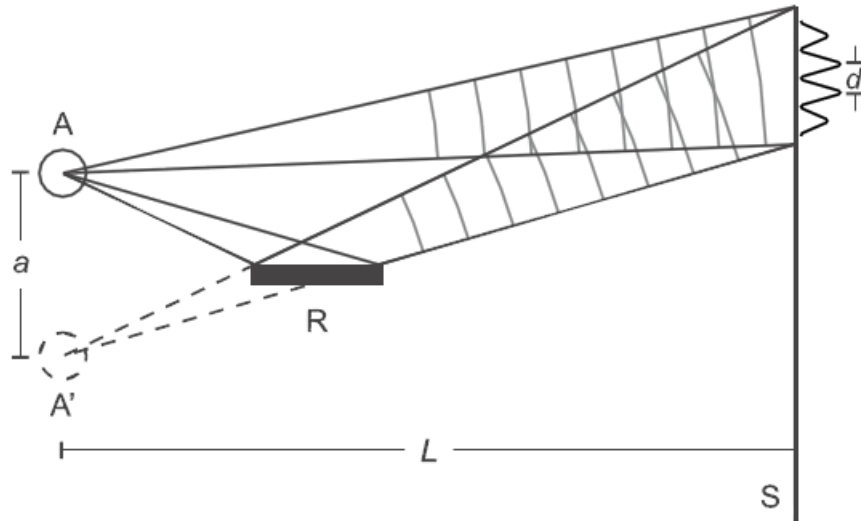


Рис.2 Оптическая схема для наблюдения интерференции с зеркалом Ллойда

Ширина интерференционной картины d равна:

$$d = \frac{\lambda}{\varphi} = \frac{\lambda L}{a}, \quad (1)$$

где φ - угол между направлениями распространения волн, a – расстояние между когерентными источниками, L – расстояние от источника до экрана, λ - длина световой волны (рис.2).

Расстояние a между когерентными источниками S'_1 и S'_2 (рис.3) можно определить следующим образом.

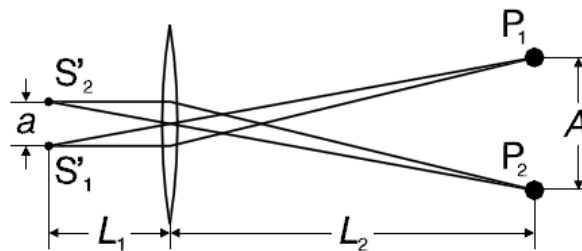


Рис.3. К способу определения расстояния между когерентными источниками.

Если получить на удаленном экране с помощью линзы изображения этих источников P_1 и P_2 , то расстояния a , A , L_1 и L_2 связаны соотношением:

$$\frac{a}{A} = \frac{L_1}{L_2},$$

откуда искомое расстояние равно:

$$a = A \frac{L_1}{L_2}. \quad (2)$$

Порядок выполнения работы:

Упражнение 1. Юстировки оптической схемы «Зеркало Ллойда» и наблюдение интерференционной картины.

Соберите установку, фотография которой приведена на рис.1.

1. Лазер 1 установите на левом краю оптической скамьи. Направьте лазерный луч вдоль оптической скамьи. Измерьте его высоту над оптической скамьей (обозначим ее через Z).
2. На расстоянии ~ 12 см от лазера, установите короткофокусную линзу 2 (указанные расстояния отсчитываются от левых краев рейтеров, на которых закреплены элементы). Световой пучок сначала фокусируется в непосредственной близости линзы, создавая источник А (рис.2), а затем становится расходящимся. Перемещая линзу вверх-вниз, добейтесь, чтобы центр расходящегося пучка располагался на высоте Z .
3. На расстоянии 8 см от линзы закрепите зеркало Ллойда 3. В этом упражнении рабочим является левое зеркало (3_1 на рис.4). Правое зеркало 3_2 должно быть максимально углублено в оправу, путем вращения винта 1, расположенного на задней поверхности устройства.

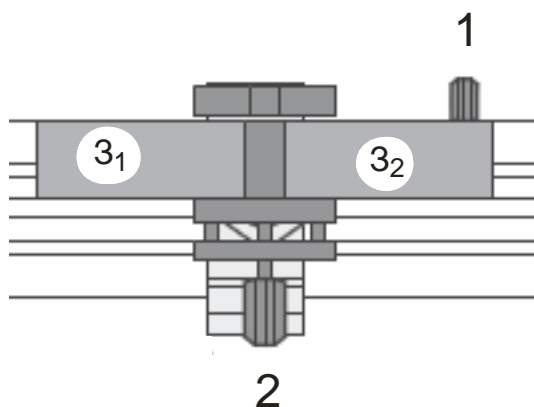


Рис.4. Зеркало Ллойда

4. Зеркало Ллойда можно перемещать перпендикулярно оптической скамье с помощью винта 2, расположенного перед зеркалом. Вращая его, постарайтесь, установить зеркало так, чтобы часть пучка скользила по его поверхности, а другая часть свободно распространялась вдоль оптической скамьи.
5. Установите экран 4 на правом краю оптической скамьи.
6. Плавное перемещение зеркала Ллойда перпендикулярно оптической скамье с помощью винта 2 (рис.4), наблюдайте возникновение вертикальных интерференционных полос на белой бумаге, прижатой к экрану.

Упражнение 2. Определение расстояния между когерентными источниками.

1. Получите на экране интерференционную картину с шириной полосы около 1 мм.
2. Уберите экран, установите на оптической скамье линзу 5 с фокусным расстоянием +200 мм (рис.1).
3. Смещая линзу вдоль оптической скамьи, получите на удаленном на 1,5 – 2 м экране изображения двух точек (это изображения двух когерентных источников).
4. Измерьте расстояние между ними A , расстояние от линзы до экрана L_2 и до короткофокусной линзы 2 – L_1 .
5. По формуле (2) определите a .

Упражнение 3. Определение длины волны лазерного излучения.

1. Уберите линзу 5 с фокусным расстоянием +200 мм. Установите экран 4 на конце оптической скамьи.
2. Приложите лист белой бумаги к экрану и зарисуйте 5 – 10 интерференционных полос. Используя полученный рисунок, определите ширину интерференционной полосы d .
3. Измерьте расстояние L между короткофокусной линзой 2 и экраном.
4. Определите из соотношения (1) длину волны λ лазерного излучения.
5. Оцените ошибку определения этой величины.

Вопросы к обсуждению с преподавателем.

1. Интерференция монохроматического света. Расчет интерференционной картины при двухлучевой интерференции (оптический путь, оптическая разность хода, условия образования максимумов и минимумов, ширина интерференционной полосы).
2. Когерентные источники, способы их получения (метод деления амплитуды и метод деления волнового фронта).
3. Схема наблюдения интерференции с помощью зеркала Ллойда.
4. Объяснить назначение всех оптических элементов, используемых в установке, описать порядок юстировки оптической схемы.
5. Вывести рабочие формулы.
6. Объяснить, почему изменяется ширина интерференционной картины в зависимости от положения зеркала.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. §16.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §27.

Изучение центрированных оптических систем.

Цель работы: изучить законы построения изображения в центрированных оптических системах.

Решаемые задачи:

- приобрести навыки юстировки центрированных оптических систем;
- освоить методы измерения фокусных расстояний собирающих и рассеивающих линз;
- пронаблюдать экспериментально зависимость вида изображения от положения предмета относительно фокусного расстояния линзы.

Оптические элементы и аппаратура:

1. Малый оптический рельс на подставке
2. лампа накаливания в корпусе и блок питания
3. асферический конденсор со штативом для диафрагмы
4. полупрозрачный экран
5. 5 собирающих линз с фокусными расстояниями $f=50$ мм, 100 мм, 150 мм, 200 мм, 300 мм.;
6. рассеивающая линза с фокусным расстоянием $f = -100$ мм.;
7. набор из двух прозрачных стекол с рисунком для исследования изображений.
8. рулетка длиной 2 м.

Упражнение 1. Определение фокусного расстояния тонкой собирающей линзы.

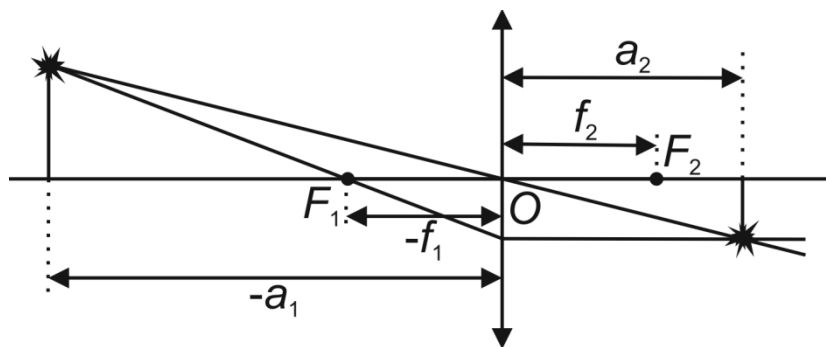


Рис.1 Ход лучей в тонкой линзе.

Если менять расстояние между предметом и линзой ($-a_1$), то изображение будет формироваться на различных расстояниях a_2 от линзы. Так как величины a_1 и a_2 связаны соотношением:

$$\frac{1}{(-a_1)} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{f_2}, \quad (1)$$

то величину фокусного расстояния линзы f_2 или ($-f_1$) можно определить по графику зависимости $\frac{1}{a_2}$ от $\frac{1}{(-a_1)}$ как обратную величину отрезка, отсекаемого графиком на оси ординат.

Порядок выполнения задания:

1. На оптической скамье расположить осветитель, собирающую линзу и экран (рис.2).

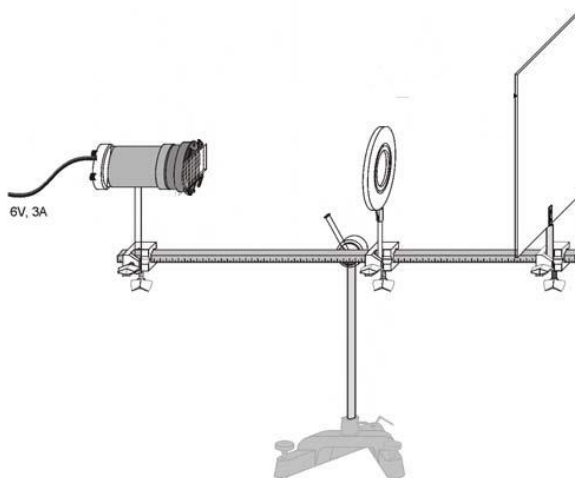


Рис.2. Экспериментальная установка для определения фокусного расстояния собирающей линзы.

2. В штатив на асферическом конденсоре вставить диафрагму в виде стрелки.
3. Включить осветитель в сеть.
4. Переместить экран на конец рельса.
5. Перемещая исследуемую линзу между экраном и предметом добиться на экране четкого изображения стрелки.
6. Измерить расстояния $(-a_1)$ и a_2 .
7. Уменьшить расстояние между предметом и экраном на 3-4 см и снова измерить расстояния $(-a_1)$ и a_2 .
8. Повторить эти измерения для 4-5 расстояний между предметом и экраном.
9. Построить график, откладывая по осям координат величины $x = \frac{1}{(-a_1)}$ и

$y = \frac{1}{a_2}$ и по графику определить фокусное расстояние линзы.

Упражнение 2. Определение фокусного расстояния собирающих линз методом Бесселя.

Если между предметом и экраном расстояние больше $4f$, то находят два положения линзы, одно из которых соответствует увеличенному, другое – уменьшенному изображениям (рис.2). Расстояние между объектом и экраном остается неизменным.

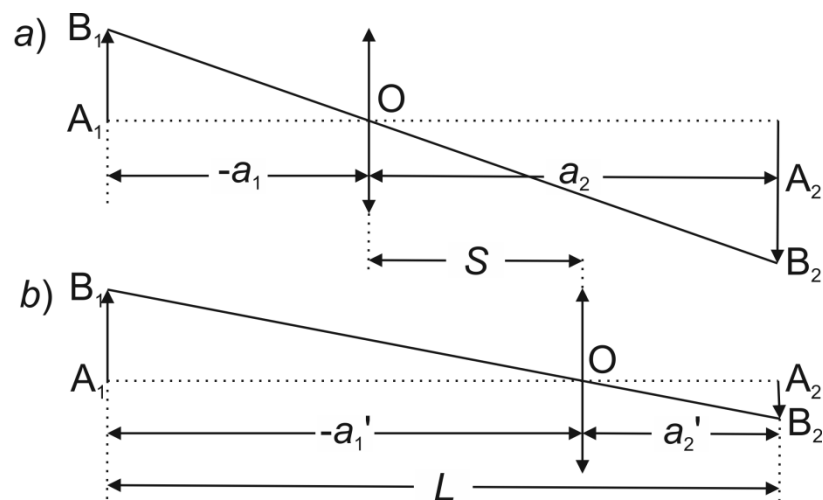


Рис.3. К определению фокусного расстояния тонкой собирающей линзы методом Бесселя.

Обозначив $S = (-a_1') - (-a_1)$ и $L = (-a_1) + a_2$, с учетом (1) получим формулу Бесселя для определения фокусного расстояния:

$$f = \frac{L^2 - S^2}{4L} \quad (2)$$

Порядок выполнения задания:

1. Установите лампу с асферическим конденсором с края оптического рельса. Вставьте в штатив для диафрагм прозрачное стекло с рисунком.
2. Расположите полупрозрачный экран на расстоянии около 50 см от объекта.
3. Линзу с $f = 100$ мм установите между штативом для диафрагм и экраном (рис 4).

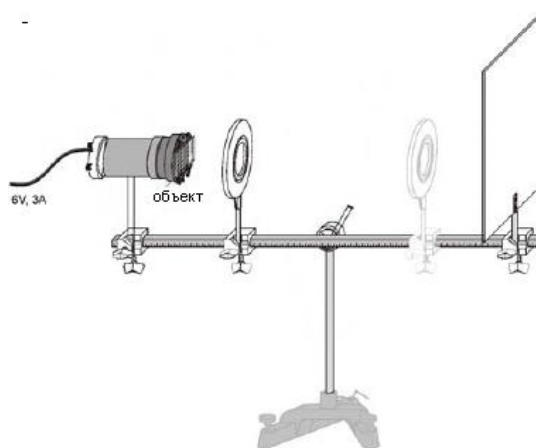


Рис.4 Экспериментальная установка для определения фокусного расстояния линзы методом Бесселя.

4. Двигайте зажим с линзой по направлению к объекту до тех пор, пока не получите четкое изображение на экране, после чего измерьте расстояние a_2 между линзой и экраном.

5. Двигайте линзу по направлению к экрану до тех пор, пока снова не получите четкого изображения. Измерьте расстояние a_2' между линзой и экраном.
6. Определите $s = (-a_1') - (-a_1) = a_2 - a_2'$ и по формуле (2) рассчитайте фокусное расстояние линзы.
7. Повторите эксперимент с линзой $f = 150$ мм.

Упражнение 3. Определение фокусного расстояния собирающей линзы автоколлимационным методом.

Автоколлимационный метод основан на обратимости хода световых лучей, идущих параллельно оптической оси. Если объект поместить в фокусе линзы, то после линзы будет распространяться параллельный оптической оси пучок света. Стоящее позади линзы плоское зеркало будет отражать этот свет таким образом, что изображение объекта будет наблюдаться рядом с объектом (рис.5). При этом расстояние d между линзой и изображением будет равно фокусному расстоянию линзы f .

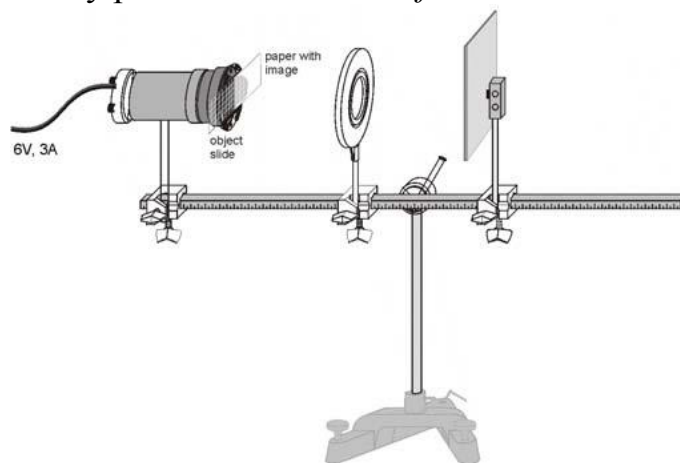


Рис.5 Экспериментальная установка для определения фокусного расстояния линзы автоколлимационным методом.

Порядок выполнения задания:

1. Установить лампу с асферическим конденсором на оптический рельс, как показано на рисунке 5.
2. Установить линзу $f = +150$ мм таким образом, чтобы свет проходил через линзу вдоль оптической оси. Расстояние между линзой и штативом для диафрагм должно быть порядка фокусного расстояния линзы.
3. Вставить прозрачное стекло с узором (объект) и белый лист бумаги (экран для наблюдения изображения объекта) в штатив для диафрагм, в соответствии с рисунком 5. И бумага, и объект должны закрывать половину линзы конденсора.
4. Установить зеркало позади линзы. Расстояние между линзой и зеркалом может быть выбрано меньше фокусного расстояния.
5. Подстраивайте положение линзы до тех пор, пока изображение узора на бумаге не станет четким. Возможно, понадобится подстраивать

положения зеркала и линзы до тех пор, пока изображение не станет одного размера с оригиналом.

6. Измерьте расстояние d между линзой и плоскостью объекта (изображения).
7. Повторите эксперимент с другими линзами.

Упражнение 4. Определение фокусного расстояния тонкой рассеивающей линзы.

Фокусное расстояние отрицательной линзы определяется с помощью вспомогательной положительной линзы.

Если на пути лучей, выходящих из источника S и сходящихся в точке S_1 после преломления в собирающей линзе 1 (рис.6) поместить рассеивающую линзу 2 так, чтобы расстояние a_1 было меньше ее фокусного расстояния, то изображение источника S удалится от линзы 1. Предположим, что оно переместится в точку S_2 . Для линзы 2 точка S_1 является предметом, а S_2 – изображением.

Тогда, согласно (1) можно найти положение заднего фокуса рассеивающей линзы:

$$f_2 = \frac{a_1 a_2}{a_1 - a_2} \quad (3)$$

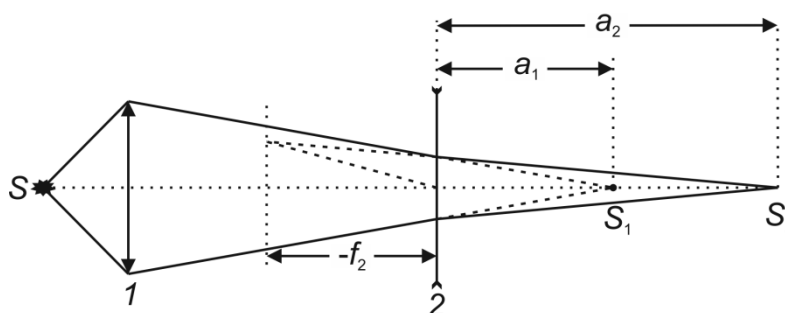


Рис.6. К определению фокусного расстояния рассеивающей линзы.

Порядок выполнения задания:

1. На оптической скамье расположите осветитель, собирающую линзу с $f = 100$ мм и экран, как показано на рис.2.
2. Вставьте в штатив для диафрагм прозрачное стекло с рисунком.
3. Поместите линзу на расстояние ~ 30 см от объекта и перемещая экран, получите на нем отчетливое изображение рисунка (уменьшенное). Отметьте это положение экрана (точка S_1).
4. На оптическую скамью между собирающей линзой и экраном поместите исследуемую рассеивающую линзу.
5. Перемещая экран, вновь найти отчетливое изображение рисунка (точка S_2).
6. Определив расстояния a_1 и a_2 (рис.6), по формуле (3) вычислить фокусное расстояние f рассеивающей линзы.

Упражнение 5. Определение фокусных расстояний собирающей и рассеивающей линз с помощью параллельных пучков света (демонстрационное упражнение).

Порядок выполнения задания:

1. Установить лампу с асферическим конденсором и полупрозрачный экран на оптический рельс, как показано на рисунке 7. Линзу пока не устанавливать.

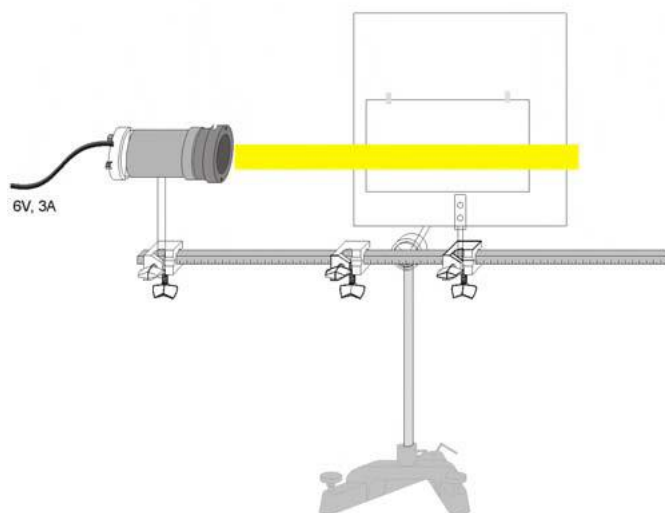


Рис.7. Исходная экспериментальная установка.

2. Создать параллельный пучок света, направленный вдоль оптической оси. Для этого перемещая лампу относительно конденсора, получить четкое изображение спирали лампы (горизонтальное) в наиболее удаленной точке (на стене).
3. На экране зафиксировать при помощи липкой ленты лист белой бумаги. Убедиться, что пучок света параллелен.
4. Установить линзу с $f = 100$ мм в зажиме перед экраном.
5. Отметить точку пересечения лучей преломленного пучка, вышедшего из линзы (рис. 8) и измерить фокусное расстояние.

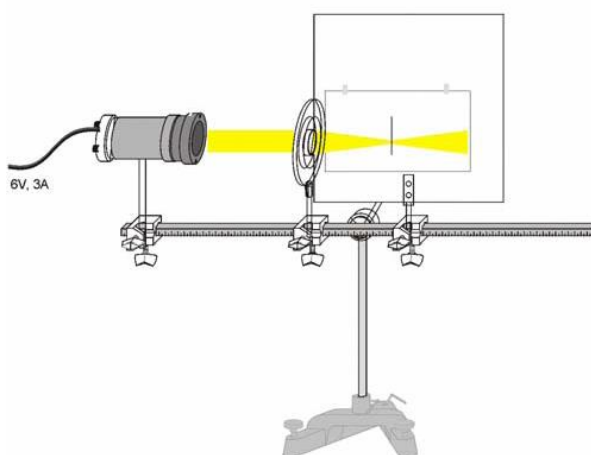


Рис.8. Экспериментальная установка для определения фокусных расстояний собирающих линз с помощью параллельных пучков.

6. Для определения фокусного расстояния рассеивающей линзы, сложить лист белой бумаги вдвое и закрепить на экран таким образом, чтобы изгиб совпадал с краем экрана вблизи линзы (рис 9).
7. Установить линзу $f = -100\text{мм}$ в зажиме перед экраном.
8. Зафиксировать форму преломленного пучка света на бумаге, проведя линии вдоль границы освещенной области (рис 9).
9. Снять лист бумаги, развернуть, продолжить полученные линии до пересечения, и определить фокусное расстояние линзы, как показано на рис.9.

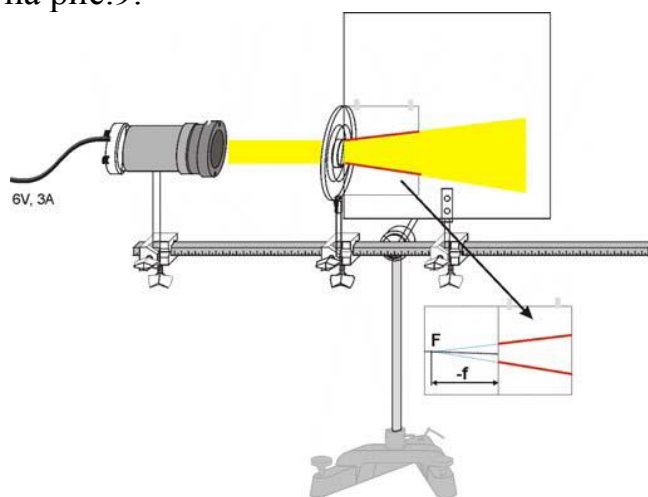


Рис.9 Экспериментальная установка для определения фокусного расстояния рассеивающей линзы с помощью параллельных пучков.

Контрольные вопросы:

1. Центрированная оптическая система (ЦОС)
2. Кардинальные элементы ЦОС. Построение изображений в ЦОС.
3. Тонкая линза. Оптическая сила линзы.
4. Методы определения фокусных расстояний собирающих и рассеивающих линз.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. §§75 - 79.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §§2, 9 - 11.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. Изд-во Лань, СПб, 2008. §§115-117.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §7.1, §7.2

Интерференция сферических волн

Цель работы: изучить явление интерференции когерентных сферических волн, созданных методом деления амплитуды.

Принципиальная оптическая схема установки для наблюдения двухлучевой интерференции сферических волн, реализованная в данной работе, приведена на рис.1.

Свет от точечного источника S_0 проходит сквозь полупрозрачное зеркало M_1 . Волна частично отражается от его поверхности и частично проходит сквозь него, попадая на второе зеркало M_2 . Это зеркало полностью отражает свет. В результате возникает две когерентные волны 1 и 2, как бы испускаемые мнимыми источниками S_1 и S_2 .

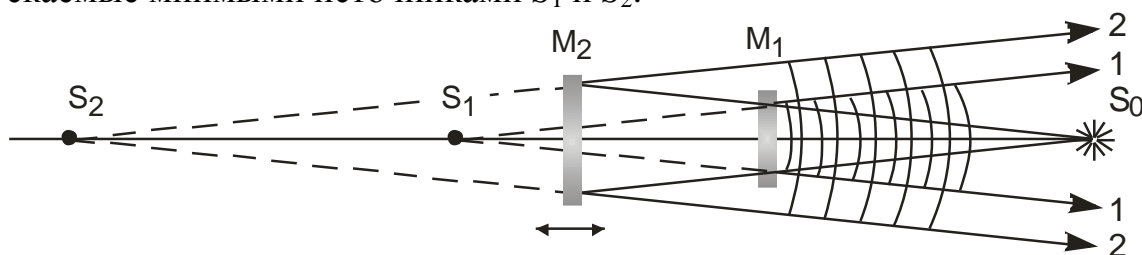


Рис.1. Схема наблюдения двухлучевой интерференции сферических волн.

Оценим видность образующейся интерференционной картины.

Будем считать, что расходимости интерферирующих волн невелики, и пренебрежем уменьшением интенсивности с расстоянием.

Если коэффициент отражения зеркала M_1 равен R , а зеркала $M_2 = 1$, то, пренебрегая поглощением света в зеркалах, интенсивности 1 и 2 волн соответственно равны:

$$I_1 = I_0 R, \quad I_2 = I_0 (1 - R)^2,$$

где I_0 – интенсивность волны, падающей на зеркало M_1 , от источника S_0 .

Видность интерференционной картины V равна:

$$V = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2} = \frac{2(1-R)\sqrt{R}}{R + (1-R)^2}.$$

В нашей установке $R = 0,5$, следовательно, $V = 0,94$.

Поскольку видность интерференционной картины близка к 1, то можно ожидать, что интерференционные полосы будут достаточно хорошо различимы.

Получим выражения для радиуса m -го кольца и ширины интерференционных колец.

Пусть источники S_1 и S_2 излучают сферические волны (рис.2). При падении на экран (он расположен в точке А) их радиусы кривизны равны R_1 и R_2 . Для сечений волновых поверхностей, расположенных в плоскости рисунка, в выбранной системе координат можно записать:

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = R_1^2 \\ (x + a)^2 + y^2 = R_2^2 \end{cases} \quad (1)$$

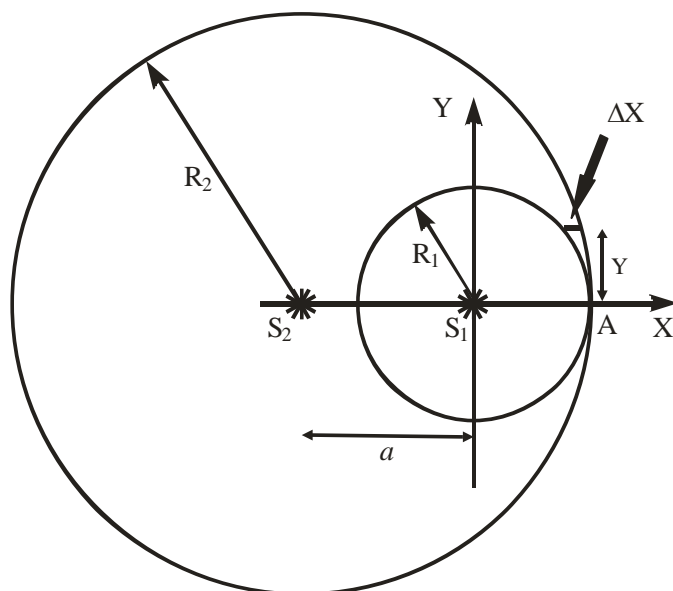


Рис.2. К выводу выражений для радиуса m -го кольца и ширины интерференционных колец.

В окрестности точки А:

$$\begin{cases} x_1 = \sqrt{R_1^2 - y^2} \\ x_2 = \sqrt{R_2^2 - y^2} - a \end{cases} \quad (2)$$

Рассмотрим точки, расположенные вблизи точки А. Если для них выполняется условие $R_2 \gg y$ и $R_1 \gg y$, то можно записать:

$$\begin{aligned} \Delta x &= x_2 - x_1 = \sqrt{R_2^2 - y^2} - a - \sqrt{R_1^2 - y^2} = \\ &= R_2 \left(1 - \frac{y^2}{2R_2^2} \right) - a - R_1 \left(1 - \frac{y^2}{2R_1^2} \right) = \\ &= \frac{y^2}{2} \left(\frac{R_2 - R_1}{R_1 R_2} \right) = \\ &= \frac{ay^2}{2R_1 R_2}, \end{aligned}$$

где $a = R_2 - R_1$.

Условие наблюдения максимума или минимума интерференционной картины имеет вид: $\Delta x = m \frac{\lambda}{2}$.

При нечетных m будет наблюдаться минимум (темное кольцо), а при четных – максимум (светлое кольцо).

Таким образом:

$$\frac{ay_m^2}{2R_1 R_2} = m \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

Откуда радиус m -го кольца равен:

$$y_m = \sqrt{m\lambda \frac{R_1 R_2}{a}}. \quad (4)$$

Продифференцируем (4) и, заменив: $dy \rightarrow \Delta y$, а $dm \rightarrow \Delta m = 1$, получим:

$$\Delta y = \frac{\sqrt{\lambda \frac{R_1 R_2}{a}}}{2\sqrt{m}} \sim \frac{1}{\sqrt{m}}.$$

Таким образом, с ростом номера кольца расстояние между ними уменьшается.

Решаемые задачи:

- приобрести навыки юстировки оптической схемы для создания когерентных сферических волн методом деления амплитуды;
- пронаблюдать интерференционную картину, образующуюся при интерференции двух сферических волн;
- пронаблюдать изменение интерференционной картины при изменении расстояния между источниками и температуры воздуха;
- определить длину волны лазерного излучения.

Элементы экспериментальной установки (рис.3):

- ✓ He-Ne лазер (1);
- ✓ линза с фокусным расстоянием $f = +50$ мм (2);
- ✓ полупрозрачное зеркало ППЗ(3);
- ✓ зеркало (4);
- ✓ микрометрический винт (5) с редуктором (6);
- ✓ полупрозрачное зеркало ПП7 (7);
- ✓ экран (8).

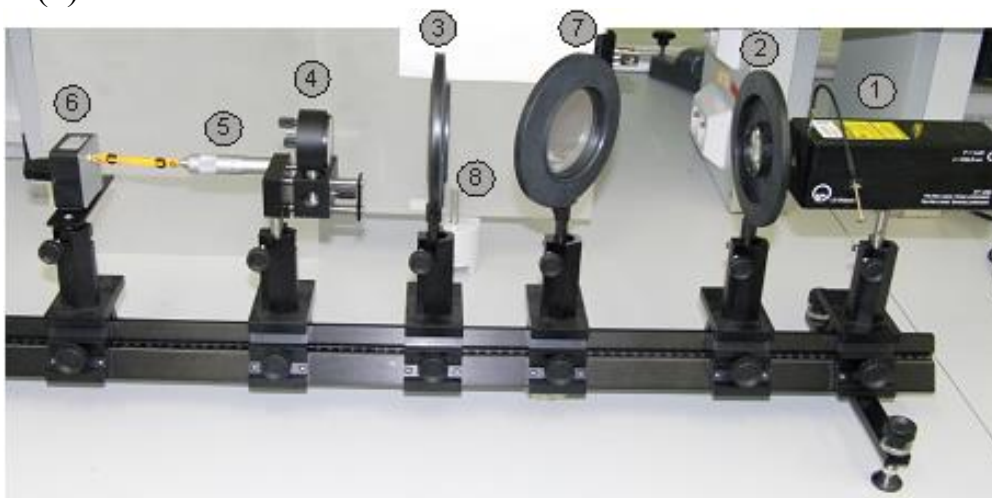


Рис.3 Внешний вид экспериментальной установки: He-Ne лазер (1), линза с фокусным расстоянием $f = +50$ мм (2), полупрозрачное зеркало ППЗ(3), зеркало (4), микрометрический винт (5) с редуктором (6), полупрозрачное зеркало ПП7 (7) и экран (8).

Порядок выполнения работы:

Упражнение 1. Сборка и юстировка установки для наблюдения интерференции сферических волн.

Расположение элементов экспериментальной установки на оптической скамье показано на рис.3.

Порядок юстировки.

Внимание! Категорически запрещается касаться руками и предметами оптических поверхностей зеркал и линз. Если Вы заметили грязь на рабочих поверхностях оптических элементов, обратитесь к инженеру.

Уберите с оптической скамьи все элементы.

На правом конце оптической скамьи установите лазер 1 и на расстоянии 52 см от него - зеркало 4 с микрометрическим винтом 5 и редуктором 6 (все расстояния отсчитываются от левых краев рейтеров).

Включите лазер и направьте его луч вдоль оптической скамьи. Для визуализации луча используйте кусочек белой бумаги в качестве переносного экрана.

Перемещением зеркала вверх/вниз, добейтесь, чтобы луч попадал на его середину. Поворотом зеркала направьте отраженный луч в выходное окно лазера. При необходимости более точной настройки, используйте винты, расположенные на задней стороне оправы зеркала.

Установите линзу 2 на расстоянии 11 см от лазера. Изменяя положение линзы по высоте, добейтесь, чтобы центр образовавшегося широкого пучка оказался примерно на той же высоте, что и выходное отверстие лазера. Для этого наблюдайте светлое пятно, которое образуется на торце лазера от луча, отраженного зеркалом и вновь прошедшим через линзу. Это пятно, перемещением линзы вверх/вниз, нужно совместить с выходным отверстием лазера. Не забывайте следить за тем, чтобы плоскость линзы была перпендикулярна лучу лазера.

На расстоянии 13 см от зеркала 4 установите зеркало ППЗ (точки на оправе расположить к лазеру) так, чтобы отраженный от него луч, пройдя линзу, также попал в выходное отверстие лазера.

Таким образом, в фокусе линзы 2 мы создали первичный точечный источник S_0 (рис.1). Сферическая световая волна от него отражается зеркалом 4 (она как бы излучается мнимым источником S_2), а сферическая волна, отраженная полупрозрачным зеркалом ППЗ - мнимым источником S_1 .

Чтобы развернуть эти волны и направить их на боковой экран 8, установите на расстоянии 11 см от ППЗ полупрозрачное зеркало ПП7 (точки на оправе расположить от лазера) под углом примерно 45° к оси оптической скамьи. Установите экран 8 на расстоянии 25÷30 см. На экране Вы будете наблюдать несколько светлых пятен. Винтами плавной регулировки наклонов зеркала 4 совместите эти пятна. Появится интерференционная картина в виде концентрических колец.

Комментарий. Вращать винты следует крайне осторожно: интерференционная картина очень чувствительна к малым перемещениям зеркала и вибрациям. Рекомендуется после небольшого поворота винтов убрать пальцы и подождать, пока прекратится вибрация установки. Если интерференционная картина не появилась, то следует продолжить юстировку.

Упражнение 2. Наблюдение изменений интерференционной картины

при изменении температуры воздуха и расстояния между когерентными источниками.

Если, например, увеличить температуру воздуха между зеркалами 4 и ППЗ, то плотность воздуха в этой области уменьшится и, как следствие, уменьшится показатель преломления. Эти изменения отразятся на интерференционной картине.

Аккуратно, не касаясь оптических элементов, поместите ладонь под лучом между зеркалами 4 и ППЗ. Пронаблюдайте изменения в интерференционной картине.

Пронаблюдайте изменения интерференционной картины при перемещении зеркала вдоль оптической скамьи. Для этого аккуратно и плавно вращайте в одном направлении микрометрический винт с помощью редуктора. Вы увидите, что интерференционная картина «плывет»: центральное пятно периодически становится то темным, то светлым.

Упражнение 3. Определение длины волны излучения лазера.

Определите цену деления поворота рукоятки редуктора (шкала нанесена на торце редуктора), зная цену деления микрометрического винта (10 мкм).

Очевидно, что смена светлого пятна на светлое происходит при перемещении зеркала на расстояние $\lambda/2$. Плавно поворачивайте рукоятку редуктора в одном направлении. Сосчитайте число таких смен и перемещение, которое при этом совершило зеркало. По этим данным определите длину волны излучения лазера.

Вопросы к обсуждению с преподавателем.

1. Интерференция монохроматического света. Расчет интерференционной картины при двухлучевой интерференции (оптический путь, оптическая разность хода, условия образования максимумов и минимумов, ширина интерференционной полосы).
2. Когерентные источники, способы их получения (метод деления амплитуды и метод деления волнового фронта).
3. Объясните причину возникновения интерференционных полос. Почему они имеют форму колец?
4. Объясните назначение всех оптических элементов, используемых в установке, опишите порядок юстировки оптической схемы.
5. Почему интерференционные полосы имеют форму окружностей?
6. Выведите формулы для радиусов колец и их ширины.
7. Почему интерференционная картина смещается при изменении температуры среды? Оцените, какие изменения в показателе преломления можно зафиксировать с помощью этой установки.
8. Почему интерференционные полосы смещаются при движении зеркала 4?
9. Как определить цену деления шкалы редуктора?
10. Как определить длину волны излучения лазера? Обсудите полученные результаты, сформулируйте выводы.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. §§25, 26.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §33.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. Изд.10, М., Физматлит, 2008. §122.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §5.1, §5.3

Кольца Ньютона

Цель работы: изучить явление двухлучевой интерференции.

Решаемые задачи:

- приобрести навыки юстировки оптической схемы «Кольца Ньютона» в проходящем и отраженном свете;
- пронаблюдать кольца Ньютона в проходящем и отраженном свете;
- пронаблюдать изменения интерференционной картины в зависимости от степени монохроматичности света;
- измерить радиус кривизны линзы;
- определить длину световой волны монохроматического источника.

Оптические элементы и аппаратура (рис.2,3):

- ✓ устройство «Кольца Ньютона» (1);
- ✓ полупрозрачное зеркало (2);
- ✓ 2 линзы с фокусными расстояниями $f = +100$ мм и $f = +200$ мм; (3)
- ✓ светофильтры на разные длины волн;
- ✓ экран (4);
- ✓ осветитель с лампой накаливания (5) и блок питания (6);
- ✓ осветитель с ртутной или натриевой лампой (7) и блок питания (8);
- ✓ оптическая скамья (9);
- ✓ рейтеры (10);
- ✓ консоль (11);

В схеме «Кольца Ньютона» когерентные волны создаются методом деления амплитуды.

В данной установке кольца Ньютона наблюдаются в тонком воздушном клине толщины d , который образуется между поверхностями выпуклой линзы L с большим радиусом кривизны и соприкасающейся с ней плоской полированной пластинки P (рис.1).

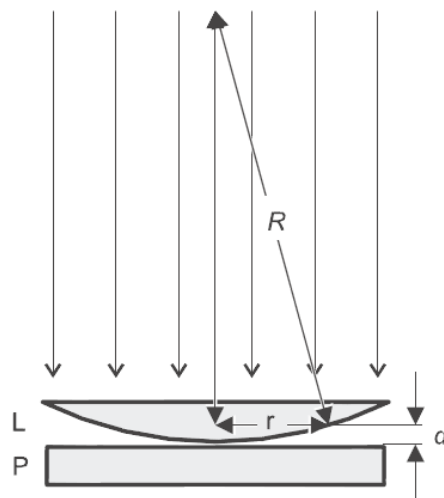


Рис.1

Разность хода, возникающая между волнами, отраженными от верхней и нижней поверхностями воздушного клина, равна:

$$\Delta = 2d + \lambda/2. \quad (1)$$

Толщина воздушного зазора d связана с радиусом кривизны линзы R и радиусом m -го кольца r_m^2 соотношением:

$$d = \frac{r_m^2}{2R}. \quad (2)$$

Условие наблюдения m -го темного кольца имеет вид:

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (3)$$

Из соотношений (1) – (3) следует:

$$r_m^2 = mR\lambda,$$

или для диаметров колец D_m :

$$D_m^2 = 4R\lambda m. \quad (4)$$

Таким образом, график зависимости D_m^2 от m будет представлять собой прямую линию с тангенсом угла наклона равным $4R\lambda$.

Порядок выполнения работы:

Упражнение 1. Сборка установки для наблюдения колец Ньютона в схемах «на просвет» и «отражение». Наблюдение колец Ньютона в белом и монохроматическом свете.

1. Собрать установку, фотография которой приведена на рис.2. Фотографии некоторых оптических элементов даны на рис.3

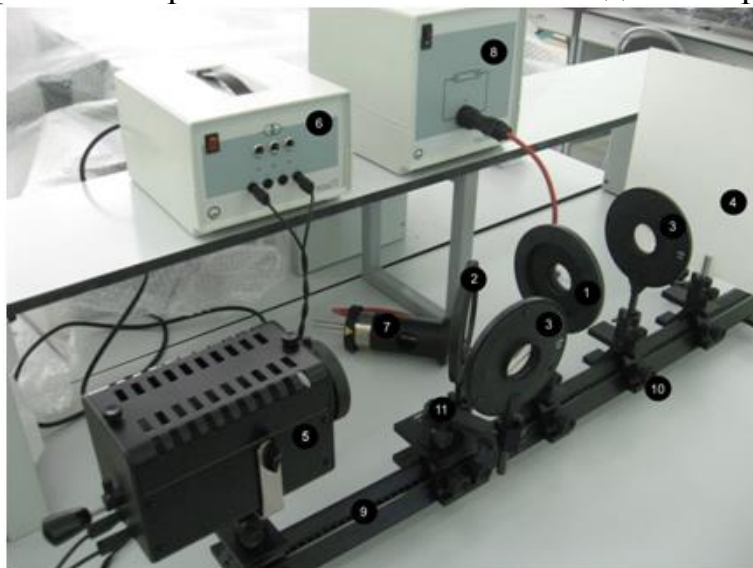


Рис.2 Внешний вид установки для наблюдения «Колец Ньютона».

На нулевой отметке оптической скамьи 9 (отсчет ведется по левому краю рейтера) установить осветитель 5, подключить его к источнику питания

6 (установить 12 В) и направить световой пучок параллельно оптической скамье. На отметке ~40 см установить устройство «Кольца Ньютона» 1. На конце оптической скамьи закрепить экран 4.

На отметке 24 см между осветителем и «Кольцами Ньютона» расположить полупрозрачную пластинку 2 под углом 45° . На дополнительном рейтере, установленном на отметке 30 см с помощью консоли 11 закрепить линзу 3 с фокусным расстоянием +200 мм. Перемещая устройство «Кольца Ньютона» вдоль оптической скамьи добиться резкого изображения колец на боковом экране, закрепленном на стене. Это получилась интерференционная картина в отраженном свете.

Установить вторую линзу 3 с фокусным расстоянием +100 мм на оптической скамье и, перемещая ее, добиться резкого изображения колец на экране 4. Это получилась интерференционная картина в проходящем свете. Поскольку интерференционная картина в проходящем свете не контрастна, кольца будут плохо различимы.



Рис.3. Оптические элементы

2. Пронаблюдать и сравнить вид интерференционных колец в проходящем и отраженном свете. Обратит внимание, что эти картины «дополняют» друг друга: там, где в проходящем свете наблюдаются темные полосы, в отраженном будут светлые.

3. Пронаблюдать изменения интерференционных картин при их рассмотрении невооруженным глазом и сквозь желтый светофильтр (он закреплен в квадратной рамке). Обратите внимание, что при наблюдении через желтый светофильтр, число полос существенно увеличивается.

Упражнение 2. Определение радиуса кривизны линзы в устройстве «Кольца Ньютона».

1. На устройстве «Кольца Ньютона» нанесена шкала с ценой деления 1 мм/деление. Изображения колец и шкалы на экранах получаются увеличенными. Для измерения реальных диаметров колец в мм необходимо знать увеличение системы N . Измерьте в мм расстояние между 10 делениями шкалы на боковом экране L . Тогда увеличение системы будет равно $N = L/10$.

2. Установите после осветителя держатель с интерференционным светофильтром, пропускающим свет с длиной волны 578 нм.

3. Измерьте в мм диаметры (I_m) и номера темных колец на боковом экране. Рассчитайте действительный диаметр кольца D_m в мм по формуле:

$$D_m = I_m/N.$$

4. Представьте результаты в виде таблицы:

Номер кольца, m	Диаметр изображения кольца на экране, $I_m/\text{мм}$	Действительный диаметр кольца, $D_m/\text{мм}=\text{---}$	$D_m^2/\text{мм}^2$

4. Постройте график зависимости D_m^2 от m . По тангенсу угла наклона и известной длине волны пропускания светофильтра ($\lambda = 578 \text{ нм}$) определите радиус кривизны линзы R .

Упражнение 3. Определение длины волны излучения натриевой лампы.

Натриевая лампа излучает свет узкого спектрального диапазона. Светящимся телом в ней являются пары натрия. Задача этого упражнения – определить длину волны излучения этой лампы.

1. Уберите с оптической скамьи осветитель 5 и на его место установите натриевую лампу 7. Подключите лампу к источнику питания 8. После 3-5 минут прогрева лампа готова к использованию.

2. Измерьте в мм диаметры (I_m) и номера темных колец на боковом экране. Рассчитайте действительный диаметр кольца D_m в мм по формуле:

$$D_m = I_m/N.$$

3. Представьте результаты в виде таблицы:

Номер кольца, m	Диаметр изображения кольца на экране, $I_m/\text{мм}$	Действительный диаметр кольца, $D_m/\text{мм}$	$D_m^2/\text{мм}^2$

4. Постройте график зависимости D_m^2 от m . По тангенсу угла наклона и известному радиусу кривизны (он был определен в упражнении 2) определите длину волны излучения натриевой лампы.

Вопросы к обсуждению с преподавателем.

- Интерференция монохроматического света. Расчет интерференционной картины при двухлучевой интерференции (оптический путь, оптическая разность хода, условия образования максимумов и минимумов, ширина интерференционной полосы).
- Когерентные источники, способы их получения (метод деления амплитуды и метод деления волнового фронта).
- Интерференция немонахроматического света. Временная когерентность. Длина когерентности.
- Интерференция в тонких пленках. Что означает термин «тонкая пленка»?

5. Полосы равной толщины и равного наклона.
6. Кольца Ньютона в отраженном и проходящем свете. Объясните причину возникновения интерференционных полос. Почему они имеют форму колец?
7. Почему в отраженном свете интерференционная картина выглядит более контрастной, чем в проходящем свете?
8. Почему возрастает число интерференционных полос при возрастании степени монохроматичности света ($\lambda/\Delta\lambda$)?
9. Объяснить назначение всех оптических элементов, используемых в установке, описать порядок юстировки оптической схемы.
10. Вывести рабочие формулы.
11. Почему графики, построенные в упражнениях 2 и 3, не проходят через начало координат?

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. §§25, 26.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §33.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. Изд.10, М., Физматлит, 2008. §122.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §5.1, §5.3

Получение и исследование поляризованного света.

Цель работы: изучить явление поляризации света.

Решаемые задачи:

- получить линейно поляризованный свет;
- пронаблюдать изменения интенсивности света в зависимости от угла между осями поляризатора и анализатора;
- проверить справедливость закона Малюса;
- пронаблюдать прохождение плоскополяризованного света через кристаллическую пластинку, вырезанную из одноосного кристалла параллельно его оптической оси;
- определить вид поляризации света в зависимости от толщины пластинки и угла между направлением колебаний электрического вектора в поляризованном свете, падающем на пластинку и осью пластинки.

Рассмотрим прохождение линейно поляризованного света через кристалл. Свет определенной длины волны, прошедший через поляризатор, направим *нормально* на кристаллическую пластинку, вырезанную из одноосного кристалла *параллельно* его оптической оси.

Внутри кристалла будут распространяться по одному направлению, но с различными скоростями два луча, поляризованные в двух взаимно перпендикулярных направлениях, которые принято называть главными направлениями (β - и γ -) кристаллической пластинки.

Если путь лучей в кристалле равен l , то возникающая на этом пути оптическая разность хода равна $\Delta = l \cdot (n_o - n_e)$ и соответствующая этой разности хода разность фаз будет равна:

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot l \cdot (n_o - n_e) .$$

На выходе из кристалла колебания вектора **E** представляют сумму двух взаимно перпендикулярных колебаний одинаковой частоты с разностью фаз φ . Если смотреть навстречу лучу, то конец результирующего вектора **E** непрерывно вращается, скользя по эллипсу. На рис. 1 изображена схема такой эллиптически поляризованной волны, распространяющейся в направлении оси OX.

Форма эллипса и его ориентация относительно осей (оптической оси и направления, перпендикулярного ей) зависят от разности хода складывающихся волн. Эллиптическая поляризация - наиболее общий вид поляризации поперечных волн. Частными случаями эллиптической поляризации являются: линейная, когда длина одной из осей эллипса равна нулю, и круговая (циркулярная), когда оси эллипса одинаковы.

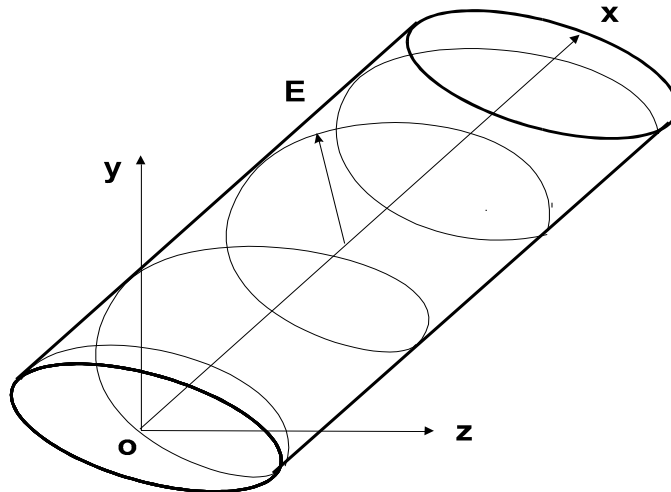


Рис. 1. Эллиптически поляризованная волна.

Анизотропная пластинка, при прохождении которой разность оптических путей обыкновенной и необыкновенной волн составляет:

$$\Delta = l \cdot |n_o - n_e| = (m + 1/4)\lambda \quad ,$$

где $m = 0, 1, 2, \dots$, называется пластинкой в четверть волны.

Если линейно поляризованный свет падает нормально на такую пластинку, то выходящий из нее свет будет в общем случае эллиптически поляризован. Оси эллипса будут параллельны главным направлениям пластинки. Если плоскость поляризации падающего на пластинку луча делит пополам угол между главными направлениями, то свет, выходящий из пластинки в четверть волны, будет поляризованным по кругу.

Кристаллическая пластинка, вносящая разность хода между обыкновенным и необыкновенным лучами:

$$\Delta = l \cdot |n_o - n_e| = (m + 1/2)\lambda \quad ,$$

где $m = 0, 1, 2 \dots$, называется полуволновой или пластинкой в половину длины волны.

На выходе из такой пластинки обыкновенный и необыкновенный лучи, складываясь, вновь дают линейно поляризованный свет, однако его плоскость поляризации окажется повернутой на угол 2α (α - угол между плоскостью колебаний вектора \mathbf{E} в падающей волне и осью пластинки).

Основной задачей данной работы является ознакомление с методами получения света с различным видом поляризации и со способами исследования состояния поляризации светового пучка.

Четвертьволновая и полуволновая пластинки являются таковыми только для определенной длины волны света. Для волновых пластинок, которые используются в данной работе, необходимо использовать желтый свет.

Оптические элементы и аппаратура:

- ✓ оптическая скамья (1);
- ✓ осветитель (галогенная лампа в корпусе) (2) и блок питания (3);

- ✓ держатель и стеклянный фильтр (4);
- ✓ поляроиды – поляризатор (5) и анализатор (6);
- ✓ четвертьволновая пластинка (7);
- ✓ полуволновая пластинка (8);
- ✓ цифро-аналоговый мультиметр (9);
- ✓ селеновый фотоэлемент (10);
- ✓ универсальные зажимы (11);
- ✓ желтый светофильтр (входит в комплект и устанавливается в держателе 4).



Рис.1. Общий вид установки



Рис 2.Отдельные детали установки

Порядок выполнения работы:

Упражнение 1. Проверка закона Малюса.

1. Убрать четвертьволновую и полуволновую пластинки с оптической скамьи (они будут использоваться в следующих упражнениях). Включить галогенную лампу.
2. Установить поляроиды в зажимах на одной высоте так, чтобы луч света от галогенной лампы проходя через них попадал на селеновый фотоэлемент.
3. Установить поляризатор на 90^0 , а анализатор повернуть так, чтобы интенсивность света, проходящего через систему, была максимальна.
4. Последовательно поворачивая анализатор (6, рис.1) с шагом $5 - 10^0$, измерить силу фототока для каждой ориентации анализатора. Провести эти измерения для поворота анализатора на 180^0 .
5. Неизбежный фон (шум) сигнала, обусловленный внешним освещением скорректировать, вычитая из всех полученных значений фототока величины I_{\min} - значение интенсивности в минимуме.
6. На координатной сетке построить график зависимости I/I_{\max} (где I – величина фототока при данном угле поворота анализатора, а I_{\max} - значение фототока в максимуме) от угла между плоскостями поляризатора и анализатора.
7. Для сравнения с теоретическим законом на той же координатной сетке построить график функции $y = \text{Cos}^2\varphi$, где φ - угол, отсчитываемый от направления максимального пропускания поляризаторов.

Упражнение 2. Определение главных направлений кристаллической пластинки.

1. Скрестить поляризатор и анализатор (интенсивность прошедшего света, и, следовательно, сила фототока при этом минимальны). Записать отсчеты на оправках поляризатора и анализатора, соответствующих этому положению (ориентировочно – поляризатор на 90^0 , анализатор на 0^0).
2. Установить между ними кристаллическую пластинку $\lambda/4$. Последовательно поворачивая пластинку от 0^0 до 180^0 с шагом $5-10^0$, измерять в каждом положении пластинки силу фототока.
3. Построить график зависимости интенсивности света (силы фототока) от угла поворота пластинки.
4. Найти по этому графику значения углов ориентации пластинки, при которых интенсивность прошедшего через систему света будет минимальной. Эти положения определяют главные направления кристаллической пластинки.

Упражнение 3. Получение и исследование поляризованного света с помощью кристаллической пластинки $\lambda/4$.

1. Поместите между осветителем и фотоэлементом поляризатор и анализатор. Сориентируйте поляризатор в положение 0^0 по делениям на его оправе.
2. Измерьте интенсивность света (силу фототока) как функцию положения анализатора в пределах угла φ от -90^0 до $+90^0$ с шагом $5-10^0$.
3. Поместите пластинку $\lambda/4$ на оптическую скамью между поляризатором и анализатором.
4. Измерьте интенсивность света как функцию положения анализатора в пределах угла φ от -90^0 до $+90^0$ с шагом $5-10^0$ (т.е. повторите пункт 2) для различных углов α главного направления кристаллической пластинки с направлением пропускания поляризатора ($\alpha=0^0, 30^0, 45^0, 60^0$).
5. Постройте на одной координатной сетке графики зависимости силы фототока от положения анализатора для случаев, когда:
 - а) между поляризатором и анализатором нет пластинки $\lambda/4$;
 - б) пластинка $\lambda/4$ помещена под углами $\alpha = 0^0, 30^0, 45^0, 60^0$.

Упражнение 4. Получение и исследование поляризованного света с помощью кристаллической пластинки $\lambda/2$.

1. Поместите пластинку $\lambda/2$ на оптическую скамью между поляризатором и анализатором.
2. Измерьте интенсивность света как функцию положения анализатора в пределах угла φ от -90^0 до $+90^0$ с шагом $5-10^0$ для различных углов α кристаллической пластинки ($\alpha = 0^0, 30^0, 45^0$).
3. Постройте на одной координатной сетке графики зависимости силы фототока от положения анализатора для случаев, когда:
 - а) между поляризатором и анализатором нет пластинки $\lambda/2$ (данные возьмите из пункта 2 упражнения 2);
 - б) пластинка $\lambda/2$ помещена под углами $\alpha=0^0, 30^0, 45^0$.

Сравните и объясните результаты, полученные в упражнениях 2 и 3.

Контрольные вопросы :

1. Виды поляризации света.
2. Закон Малюса.
3. Явление двойного лучепреломления.
4. Построение Гюйгенса для одноосных кристаллов.
5. Прохождение линейно поляризованного света через кристаллическую пластинку. Пластинки « $\lambda/2$ » и « $\lambda/4$ ».
6. Анализ поляризованного света.
7. Поляризационные приспособления (поляроиды, поляризационные и двоякопреломляющие призмы).
8. Эксперимент. Анализ результатов эксперимента.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. 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. М., АСТ: Астрель, 2006. Глава 6.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §1.2, §§4.1–4.4.
5. Годжаев Н.М. Оптика., М., Высшая школа, 1977. Глава IX.

Измерение скорости света с помощью лазерного дальномера

Цель работы: научиться измерять скорость света по времени прохождения лазерного импульса, определить показатели преломления некоторых сред.

Решаемые задачи:

- определить скорость света в воздухе по наклону графика $s = f(t)$, где s – расстояние, пройденное лазерным импульсом, t – время, затраченное на прохождение этого расстояния;
- определить показатели преломления воды и акрилового стекла;
- пронаблюдать изменение оптического пути в стеклянной призме.

Оптические элементы и аппаратура:

- ✓ лазерный сенсор перемещений S (1);
- ✓ сенсор Cassy 2 (2);
- ✓ Cassy Lab (компьютер) (3);
- ✓ концевые буферы (4);
- ✓ металлическая линейка (5);
- ✓ емкость из витринного стекла 50 x 50 x 50 мм (6);
- ✓ акриловый стеклянный брусок (7);
- ✓ стеклянная призма (8).

Скорость света – абсолютная величина скорости распространения электромагнитных волн в вакууме. В физике она стандартно обозначается c . По современным представлениям, скорость света в вакууме – предельная скорость движения частиц и распространения взаимодействий. В среде, обладающей показателем преломления n , отличным от единицы, скорость распространения электромагнитных волн c_m выражается следующим образом:

$$c_m = \frac{c}{n}. \quad (1)$$

Таким образом, измерив время, которое свет затрачивает на прохождение известного расстояния в веществе, можно определить неизвестный показатель преломления этой среды.

В современных дальномерах для измерения расстояний используется периодически модулированный лазерный луч. Поскольку частота модуляции известна, определив сдвиг фаз между испущенным и отраженным лазерным лучом, можно измерить время, которое луч затрачивает на прохождение до препятствия и обратно. Поэтому в лазерном дальномере результатом прямого измерения является время, а не расстояние, пройденное лучом. Расстояние рассчитывается исходя из известной скорости света в воздухе. В предлагаемой работе лазерный сенсор перемещений используется, в основном, именно для измерения времени прохода лазерного луча до препятствия и обратно.

Порядок выполнения работы:

Упражнение 1. Сборка и юстировка установки.

Собрать установку, схема которой приведена на рис. 1.

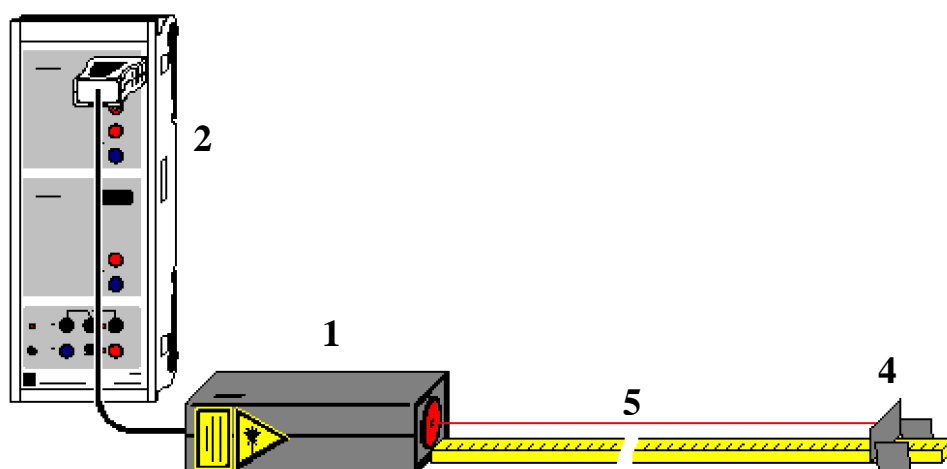


Рис. 1. Схема установки для измерения скорости света.

Внимание! При работе с лазерным сенсором перемещений нужно соблюдать меры предосторожности:

Не допускать попадания прямого или отраженного лазерного луча в глаза – не заглядывать внутрь сенсора.

Положить лазерный сенсор перемещений S (1) на стол широкой стороной корпуса вниз. С помощью соединительного кабеля подключить сенсор S к входу сенсора Cassy 2 (2). Cassy 2 с помощью кабеля USB подключить к компьютеру. Вплотную к лазерному сенсору на стол положить металлическую линейку (5), как показано на рисунке (отсчет значений начинается от сенсора). Перемещая концевой буфер (4) с наклеенной на нем специальной светоотражающей бумагой вдоль оптического пути, убедиться в том, что лазерное пятно полностью попадает в область светоотражающей полосы бумаги вплоть до расстояний порядка 70 см от передней стенки лазерного сенсора. Если это не так, перевернуть сенсор S и положить его на другую широкую сторону.

Установить концевой буфер перпендикулярно лучу лазера над линейкой на расстоянии 30 см от передней стенки лазерного сенсора (расстояния измеряются по металлической линейке) таким образом, чтобы лазерный луч попадал в центр светоотражающей полосы. Перед проведением непосредственно измерений необходимо дать лазерному сенсору прогреться в течение примерно 5 минут.

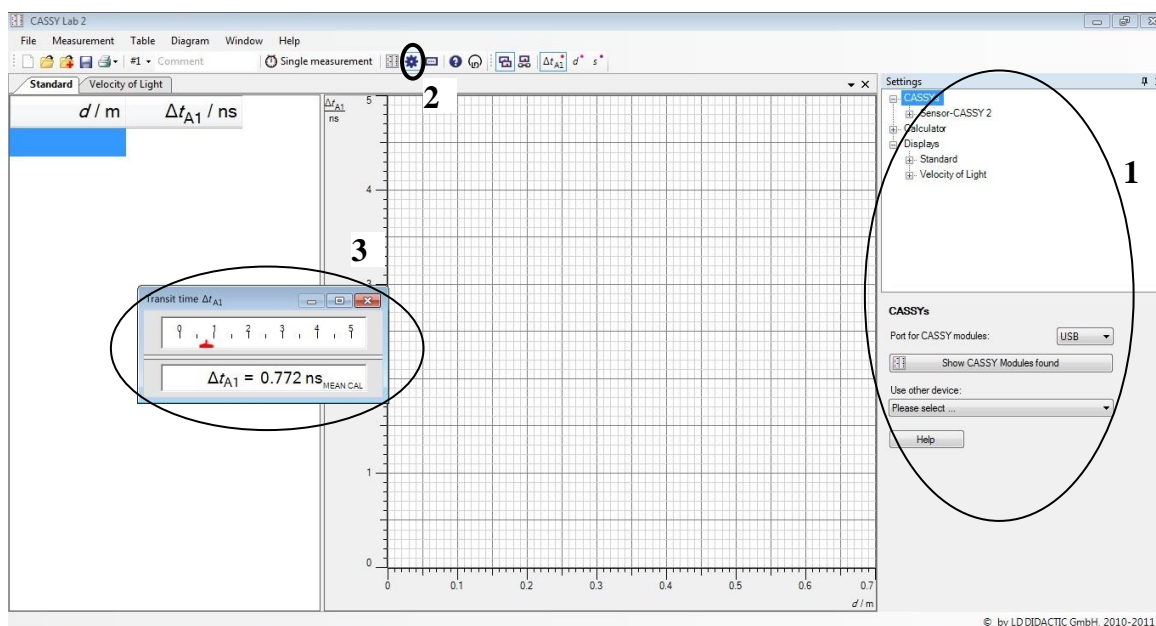


Рис. 2. Внешний вид окна программы Cassy Lab 2 после загрузки настроек «Velocityс». 1 – область настроек программы, 2 – кнопка «Show Settings», 3 – малое окно измерений.

Запустить на компьютере программу Cassy Lab 2. В появившемся окне с изображением сенсора Cassy 2 нажать кнопку «Close». Загрузить настройки для выполнения работы. Для этого зайти «File – Open» и выбрать место D:/Experiment/. В открывшемся окне выбрать для отображения все файлы – «All Files». Открыть файл «Velocityс.labs». Повторно закрыть окно с изображением сенсора Cassy 2. В случае, если настройки программы (область 1 на рис. 2) не отображаются, нажать кнопку «Show Settings» (2 на рис. 2). Далее в окне настроек программы раскрыть последовательно вкладки Sensor-Cassy2 - Input A₁ (Laser motion sensor S) - Transit time Δt_{A1}. В нижней части области 1 должно появиться окно настроек для измерения времени прохождения лазерного импульса. Измеряемой величиной должно быть выбрано время Δt_{A1}. Его значения непрерывно отображаются в малом окне измерений (область 3 на рис. 2). Занулить время прохождения лазерного луча до положения буфера 30 см путем нажатия кнопки “→0←” в нижней части окна настроек Δt_{A1}. Теперь значения Δt_{A1} в окне измерений должны быть в районе 0. Отодвинуть концевой буфер от лазерного сенсора еще на 10 см (значение по линейке – 40 см). Записать измеренное значение времени прохождения лазерного пучка в нс (стоит помнить, что сенсор измеряет полное время прохождения до препятствия и обратно). Повторить измерения с интервалом в 10 см до положения буфера 70 см по линейке (занулять значение времени больше не нужно).

Результаты записать в таблицу

Расстояние, S (м)	Время, 2t (нс)
0	0

Построить график зависимости длины оптического пути S от времени прохождения t . Аппроксимировать график прямой линией. По углу наклона полученной прямой вычислить скорость света в воздухе. Сравнить с табличным значением.

Упражнение 2. Определение показателей преломления воды и акрилового стекла с помощью лазерного дальномера.

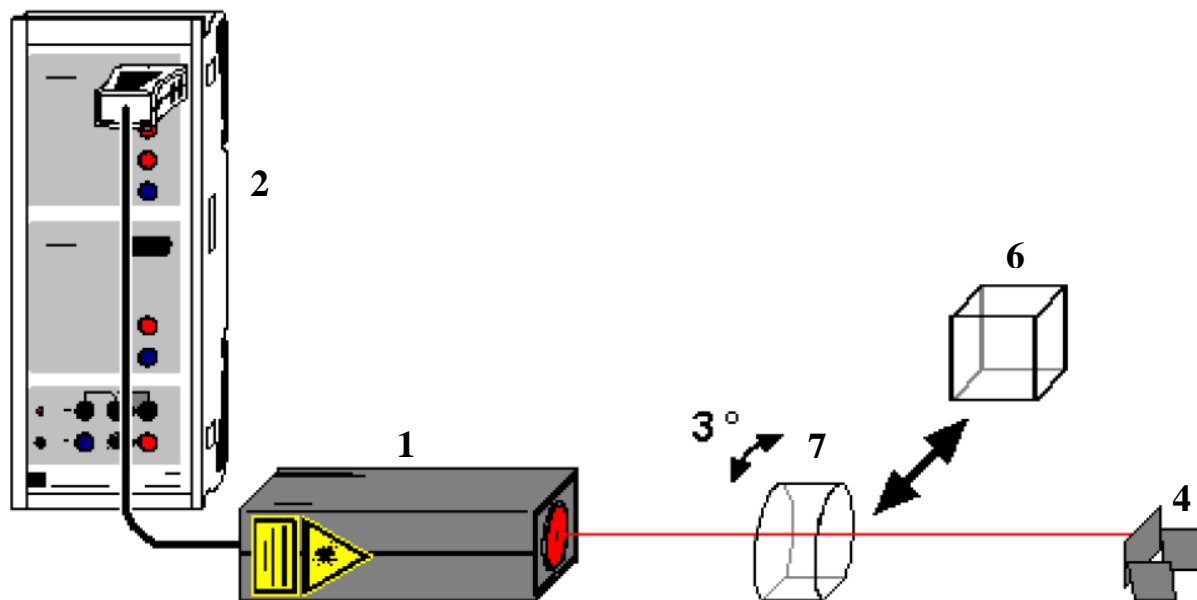


Рис. 3. Схема установки для определения показателей преломления воды и акрилового стекла.

Для выполнения этого упражнения нужно установить на стол концевой буфер перпендикулярно лазерному пучку на расстоянии ~ 50 см от передней стенки лазерного сенсора. После этого металлическую линейку можно убрать со стола. В программе Cassy Lab 2 занулить значение времени прохождения пучка до концевого буфера (см. упр. 1). Затем на пути пучка следует установить акриловый брусок (7) таким образом, чтобы отраженный от передней грани бруска луч не вернулся в ту точку, из которой был испущен. Для этого акриловый брусок необходимо слегка повернуть приблизительно на 3° . Записать измеренное время Δt_1 , которое, по сути, является разницей между временем прохода лазерного луча без бруска и с бруском. Измерив с помощью линейки длину акрилового бруска d , определить показатель преломления вещества бруска по формуле:

$$n = 1 + \frac{c}{2d} \Delta t. \quad (2)$$

Убрать с оптического пути акриловый брусок. Вместо него установить на пути лазерного луча сухую стеклянную ячейку 6, так же повернув ее на угол приблизительно в 3° . Увеличение оптического пути за счет такого поворота составляет меньше 1%, и им можно пренебречь. Занулить значение времени прохождения в программе Cassy Lab 2. Затем аккуратно, не сдвигая с места, заполнить стеклянную ячейку водой и записать измеренное время Δt_2 . Зная

длину ребра стеклянной ячейки, определить показатель преломления воды по формуле 2. Сравнить с табличным значением.

Упражнение 3. Определение показателей преломления стеклянной призмы.

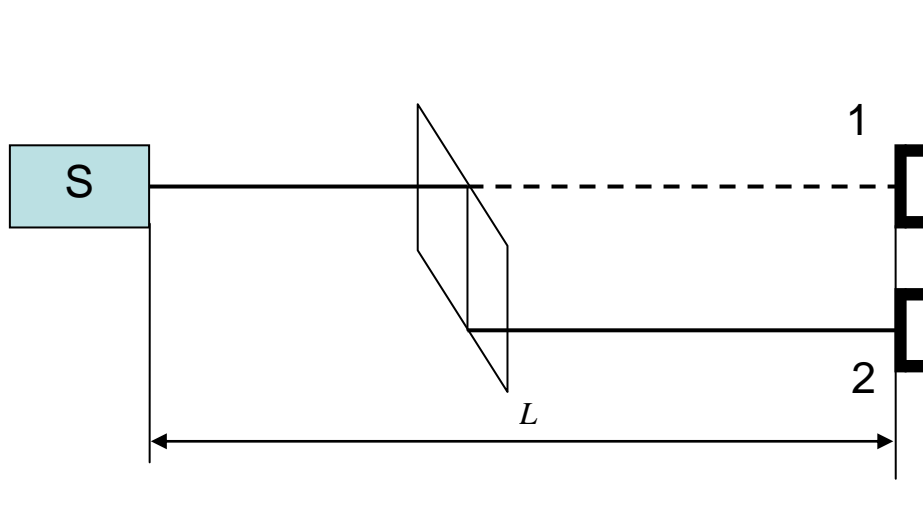


Рис. 4. Схема установки для определения показателей преломления стеклянной призмы с углом при основании 45° . Здесь S – лазерный сенсор, 1 и 2 – положения концевого буфера.

В этом упражнении необходимо сохранять постоянным расстояние между лазерным сенсором и плоскостью, в которой находится передняя поверхность концевого буфера со светотражающей полоской (расстояние L на рис. 4). Используется та же схема установки, что и в упражнении 2. Первоначально призмы на оптическом пути нет, буфер находится на расстоянии ~ 50 см от передней стенки лазерного сенсора (положение 1 на рис. 4). Для сохранения расстояния между лазерным сенсором и плоскостью буфера можно воспользоваться линейкой, положив ее на стол вплотную к задней части буфера. Занулить значение времени прохождения лазерного луча в программе Cassy Lab 2. Поместить на путь лазерного пучка призму с углом при основании 45° , как показано на рис. 4. При этом передняя грань призмы должна быть почти перпендикулярна лучу лазера (с учетом того, что луч, отраженный от передней грани призмы, не должен попадать в отверстие лазерного сенсора). Аккуратно вдоль линейки передвинуть концевой буфер таким образом, чтобы лазерный луч по-прежнему попадал в центр светотражающей полоски (положение 2 на рис. 3). Записать измеренное значение времени Δt . Зная линейные размеры призмы, определить показатель преломления вещества призмы.

Вопросы к обсуждению с преподавателем.

1. Что такое оптический путь? Когда он меняется в эксперименте?
2. Вывести формулу (2).
3. Почему в данной работе лазерный дальномер используется для определения времени, а не расстояния?
4. Получить формулу для определения показателя преломления призмы в упражнении 3. Объяснить ход луча в призме.

Литература

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т. IV. Оптика. — 3-е изд., стереот. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 792 с. §§ 1-7.
2. Ландсберг Г. С. Оптика. Учеб. пособие: Для вузов. — 6-е. изд., стереот. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 848 с. §§ 44, 45-48, 52, 53. §§ 69,70.

Изучение вращения плоскости поляризации на поляриметре.

Некоторые вещества, называемые ***оптически активными***, обладают способностью вызывать вращение плоскости поляризации проходящего через них линейно поляризованного света.

К их числу относятся кристаллические тела (кварц, киноварь), чистые жидкости (скипидар, никотин) и растворы оптически активных веществ в неактивных растворителях (водные растворы сахара, винной кислоты и т.д.).

Различают ***правое*** вращение, когда вещество поворачивает плоскость поляризации по часовой стрелке (для наблюдателя, смотрящего навстречу световому лучу), и ***левое*** - при вращении плоскости поляризации в обратном направлении.

В случае химически чистого вещества угол поворота плоскости поляризации пропорционален толщине слоя l :

$$\varphi = \alpha \cdot l$$

Коэффициент пропорциональности α называется постоянной вращения или вращательной способностью. Он характеризует природу вещества, зависит от длины волны света и температуры.

Для растворов угол поворота плоскости поляризации пропорционален толщине слоя раствора и молярной концентрации c оптически активного вещества:

$$\varphi = [\alpha] \cdot l \cdot c \quad (\text{закон Био}),$$

где $[\alpha]$ - постоянная вращения (удельное вращение). Постоянная вращения примерно обратно пропорциональна длине волны ($[\alpha] \sim 1/\lambda^2$).

Теория вращения плоскости поляризации была развита Френелем. Он показал, что явление вращения плоскости поляризации сводится к особому виду двойного лучепреломления. Линейно поляризованная волна может рассматриваться как суперпозиция двух циркулярно поляризованных волн E_1 и E_2 с противоположными направлениями вращения электрического вектора. В оптически активном веществе они распространяются с различными скоростями. На выходе из вещества между колебаниями векторов E_1 и E_2 возникает постоянная разность фаз, которая обуславливает поворот плоскости поляризации. Поворот происходит в направлении вращения того луча, который проходит в веществе с большей скоростью.

Особенностью оптически активных веществ является то, что их молекулы не имеют центра и плоскости симметрии. Молекулы таких веществ могут существовать в виде двух зеркально симметричных изомерных форм - ***оптических изомеров***. Один из оптических изомеров вращает плоскость поляризации вправо, другой - влево. Вещество в целом будет вращать плоскость поляризации света, в том случае, если концентрации оптических изомеров различны.

Оптически активные кристаллы также существуют в виде двух модификаций: право- и левовращающей. Обе модификации отличаются друг от друга внешней формой и внутренней кристаллической структурой. Обе

модификации не конгруэнтны, т.е. правая не может быть наложена на левую и наоборот.

Наблюдать вращение плоскости поляризации можно, поместив между скрещенными поляризатором и анализатором слой оптически активного вещества. При этом в монохроматическом свете поле зрения просветляется. Чтобы поле зрения вновь сделать темным, необходимо повернуть анализатор на некоторый угол φ . Этот угол равен углу поворота плоскости поляризации.

Однако такой метод определения φ недостаточно точен, так как затемнение поля зрения происходит постепенно, и зафиксировать момент полного исчезновения света трудно.

Для устранения этого недостатка применяют полутеневого метод. Этот метод используется в поляриметре с кварцевой пластинкой, в котором установка производится не на полную темноту, а на равномерное освещение двух и более частей поля зрения. В оптическую схему поляриметра, используемого в данной работе (рис.2), кроме поляризатора (4) и анализатора (7) вводят полуволновую кварцевую пластинку небольшой толщины (5), ориентированную по отношению к поляризатору так, что она поворачивает плоскость поляризации лучей, прошедших через поляризатор, на небольшой угол 2α . Кварцевая пластинка вырезана так, что она перекрывает лишь среднюю часть поля зрения, наблюдаемого в окуляр. Боковые же части поля зрения освещаются светом, прошедшим только через поляризатор. Таким образом, поле зрения делится на три части.

Если колебания векторов напряженности плоскополяризованного света, вышедшего из поляризатора (ОР) и кварцевой пластинки (ОС) расположены симметрично относительно оси анализатора (ОА), то поле зрения в соответствии с законом Малюса освещено равномерно (рис. 1,а).

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_0 \cos^2 \alpha$$

Такая картина наблюдается без оптически активного вещества в поляриметре и с этим положением связан ноль шкалы прибора.

При помещении в поляриметр правовращающего оптически активного вещества направления колебаний ОР и ОС поворачиваются на угол φ по часовой стрелке (положение ОР' и ОС', рис. 1, б). Теперь ОР' и ОС' составляют с ОА углы $(\alpha - \varphi)$ и $(\alpha + \varphi)$ соответственно. В этом случае поле зрения будет освещено различно:

$$I_1 = I_3 = I_0 \cos^2(\alpha - \varphi) \quad (\text{боковые части поля зрения})$$

$$I_2 = I_0 \cos^2(\alpha + \varphi) \quad (\text{центральная часть поля зрения}).$$

Соответствующая картина наблюдается при помещении в поляриметр левовращающего оптически активного вещества (рис 1, в). При малом значении угла φ даже небольшой поворот на угол α приводит к заметному нарушению равенства освещенностей обеих полей.

Вращение плоскости поляризации активным веществом может быть скомпенсировано поворотом анализатора на угол φ вокруг направления луча. Тогда ось анализатора ОА' будет расположена симметрично

относительно OP' и OC' (рис.1, б и в) и поле зрения вновь будет освещено равномерно. Угол φ , на который поворачивают анализатор, равен углу вращения плоскости поляризации оптически активным веществом.

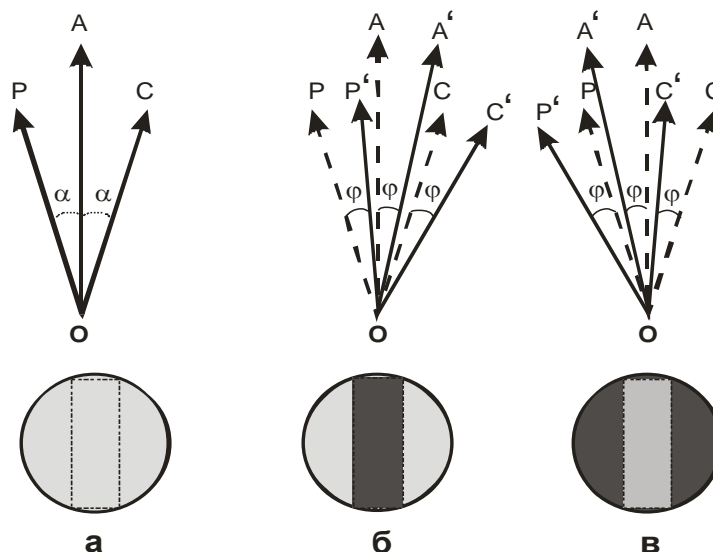


Рис. 1

Оптическая схема прибора приведена на рис.2. В качестве источника света используется натриевая лампа ($\lambda = 589,3$ нм, 20 Вт). Свет от лампы (1) проходит через собирающую линзу (2), светофильтр (3) и попадает на поляризатор (4). Далее плоскополяризованный свет проходит через кварцевую пластинку (5), трубку с раствором сахара (6), анализатор (7), объектив (8) и окуляр (9) зрительной трубки. Через окуляр наблюдается световое поле. АВ – узел поляризатора, CD – узел анализатора.

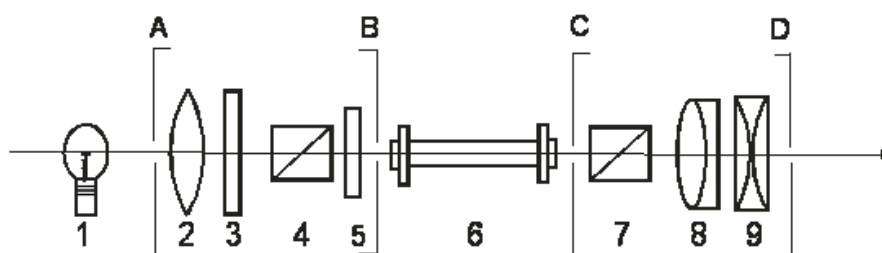


Рис. 2

Угол поворота анализатора отсчитывается по шкале лимба (рис. 3), которая поделена на 360° (с ценой деления 1°). Шкала лимба снабжена подвижным нониусом, при помощи которого отсчитываются доли градуса. Цена деления нониуса $0,05^{\circ}$.

Целые значения градусов считывается по шкале лимба, между которыми остановился ноль нониуса. Сотые доли градуса определяются так. Находится деление нониуса, которое совпадает с делением лимба. Число, стоящее против этого деления нониуса, умножается на 0,05. Например, отсчет на рис. 3 равен 1,20.

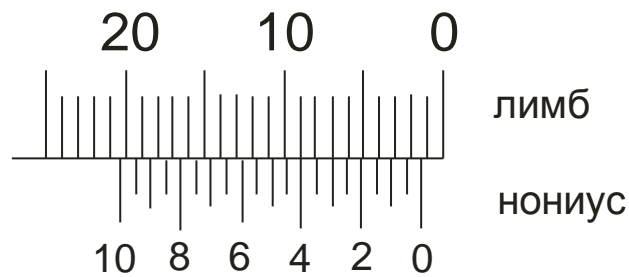


Рис. 3

Общий вид прибора приведен на рис. 4. Здесь 1 – источник света, 2 – камера для кювет (трубок) с оптически активным веществом, Поворот

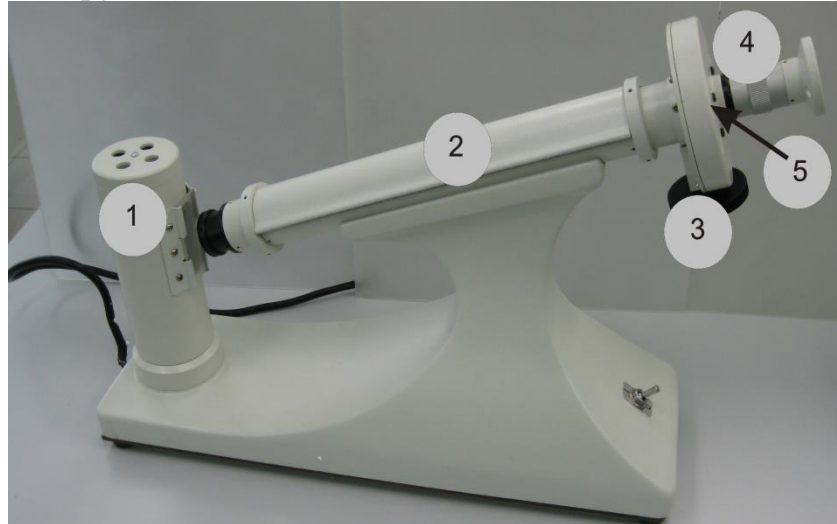


Рис. 4. Общий вид прибора

анализатора производится поворотом винта (3). Вращением муфты (4) производится фокусировка зрительной трубки, 5 – шкала прибора.

Порядок выполнения работы:

1. Включить поляриметр.
2. Вынуть кювету (трубку) из камеры для образцов (2) и привести анализатор в нулевое положение, при котором поле зрения имеет равномерную освещенность (рис. 1 , а). Произвести отсчет φ_0 по лимбу и нониусу.
3. Поместить трубку с раствором известной концентрации в камеру для образцов. Освещенность поля зрения становится такой как на рис. 1 (б или в).
4. Повернуть анализатор винтом (3) настолько, чтобы вновь получить равномерную освещенность поля зрения. Определить по шкале (5) значение угла φ' и вычислить угол поворота плоскости поляризации как разность: $\varphi = |\varphi' - \varphi_0|$.
5. Повторить пункты 3-4 для трубок другой длины с раствором такой же концентрации, как в первой трубке.
6. Построить график зависимости $\varphi(l)$, где l – длина трубки.

Контрольные вопросы :

1. Виды поляризации света.

- 2 Закон Малюса.
3. Естественное вращение плоскости поляризации. Оптически активные вещества.
4. Феноменологическая теория вращения плоскости поляризации.
5. Полутеневого метод измерения вращения плоскости поляризации.
6. Эксперимент. Анализ результатов эксперимента.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. Главы XVI, XVII, XXX.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §§ 62, 94.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Книга 5. М., АСТ: Астрель, 2006. Глава 6.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §1.2, §2.9, §§4.1–4.4.
5. Годжаев Н.М. Оптика., М., Высшая школа, 1977. Глава IX, глава XII (§§5, 6)

Формулы Френеля

Цель работы: экспериментально доказать, что коэффициент отражения света от диэлектрика зависит от угла падения и поляризации падающего излучения.

Если на границу раздела двух прозрачных диэлектриков падает под углом, отличным от нуля, естественный свет, то отраженная и преломленная световая волна будут частично поляризованы.

На рис.1 изображены и обозначены соответствующими значками \perp и \parallel составляющие векторов напряженности электрического поля падающей, отраженной и преломленной волн (они обозначены индексами 0, 1 и 2, соответственно).

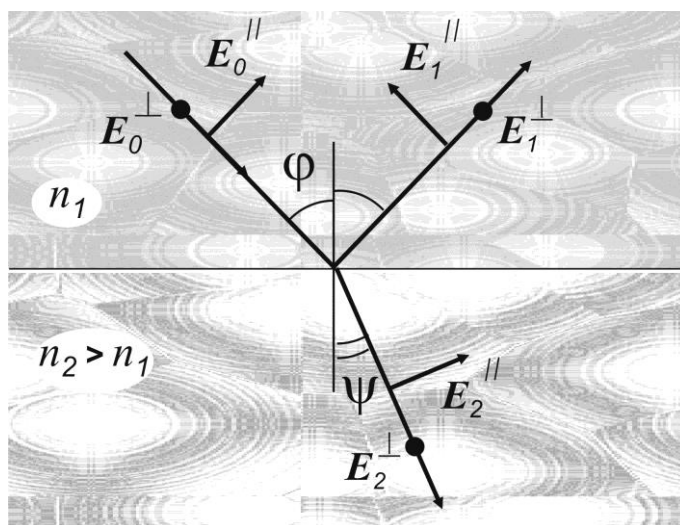


Рис.1. Перпендикулярные и параллельные составляющие вектора E в падающей (индекс 1), отраженной (индекс 2) и преломленной (индекс 3) волнах.

Относительные значения этих величин следуют из граничных условий, налагаемых на электрическое и магнитное поле световой волны. Формулы, связывающие компоненты векторов E , были впервые получены О.Френелем и носят название **формулы Френеля**:

$$E_1^\perp = -E_0^\perp \frac{\sin(\varphi - \psi)}{\sin(\varphi + \psi)} \quad (1), \quad E_1^\parallel = E_0^\parallel \frac{\operatorname{tg}(\varphi - \psi)}{\operatorname{tg}(\varphi + \psi)} \quad (2)$$

$$E_2^\perp = E_0^\perp \frac{2 \operatorname{Cos} \varphi \operatorname{Sin} \psi}{\sin(\varphi + \psi)} \quad (3), \quad E_2^\parallel = E_0^\parallel \frac{2 \operatorname{Cos} \varphi \operatorname{Sin} \psi}{\sin(\varphi + \psi) \operatorname{Cos}(\varphi - \psi)} \quad (4)$$

Так как интенсивность (I) пропорциональна квадрату амплитуды электромагнитной волны, то для коэффициентов отражения параллельной (R_\parallel) и перпендикулярной составляющих (R_\perp) можно записать:

$$R_\perp = \left(\frac{E_1^\perp}{E_0^\perp} \right)^2 = \frac{\sin^2(\varphi - \psi)}{\sin^2(\varphi + \psi)}, \quad (5) \quad R_\parallel = \left(\frac{E_1^\parallel}{E_0^\parallel} \right)^2 = \frac{\operatorname{tg}^2(\varphi - \psi)}{\operatorname{tg}^2(\varphi + \psi)}. \quad (6)$$

Из соотношения (6) следует, что при выполнении условия $\varphi + \psi = \pi/2$ коэффициент $R_\parallel = 0$. Этот угол называется углом Брюстера. Используя закон преломления, можно связать этот угол с показателями преломления диэлектриков:

$$\operatorname{tg} \varphi_B = \frac{n_2}{n_1} . \quad (7)$$

Если пропустить частично поляризованный свет через поляризатор, то при его вращении вокруг направления луча интенсивность прошедшего света будет изменяться в пределах от I_{\max} до I_{\min} , причем переход от одного из этих значений к другому будет совершаться при повороте на угол, равный $\pi/2$.

Выражение

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (8)$$

называется *степенью поляризации*.

Для плоскополяризованного света $I_{\min}=0$ и $P=1$; для естественного света $I_{\max}=I_{\min}$ и $P=0$.

Решаемые задачи:

- приобрести навыки юстировки оптической схемы для изучения зависимости коэффициента отражения от угла падения и поляризации падающего излучения;
- получить экспериментальные зависимости коэффициента отражения от угла падения и поляризации падающего света;
- определить угол Брюстера и показатель преломления для пластинки из диэлектрика;
- определить степень поляризации отраженного света при различных углах падения.

Оптические элементы и аппаратура (рис.2):

- ✓ осветитель с лампой накаливания (1);
- ✓ ирисовая диафрагма (2);
- ✓ линза с фокусным расстоянием $f = +200$ мм (3);
- ✓ поляризатор со шкалой (4);
- ✓ держатель стеклянной пластинки (5);
- ✓ стеклянная пластинка (6);
- ✓ линза с фокусным расстоянием $f = +150$ мм (7);
- ✓ кремниевый фотоэлемент (8);
- ✓ мультиметр (9);
- ✓ транспортер (10);
- ✓ подвижные штативы (11).



Рис.2 Внешний вид экспериментальной установки.

Свет от лампы накаливания 1 проходит сквозь ирисовую диафрагму 2 и падает на линзу 3. Параллельный пучок света, сформированный этой линзой, проходит через поляризатор 4 и падает на стеклянную пластинку 6. Отраженный от нее свет падает на собирающую линзу 7 и фокусируется на светочувствительную площадку кремниевого фотоэлемента 8. Интенсивность света в относительных единицах регистрируется мультиметром 9.

Порядок выполнения работы:

Упражнение 1. Сборка и юстировка оптической схемы для изучения зависимости коэффициента отражения от угла падения и поляризации падающего излучения.

Фотография экспериментальной установки приведена на рис.1.

1. На левой направляющей рейке, на отметке 15 см, установите осветитель 1 (все расстояния отсчитываются от левых краев держателей). Подсоедините осветитель к крайним клеммам источника питания (12 В).

2. На отметке 32 см установите ирисовую диафрагму (2). Вращая желтую ручку, сделайте диаметр диафрагмы 8-10 мм. Середина диафрагмы и середина линзы осветителя должна быть на одной высоте.

3. Включите осветитель и направьте луч света параллельно направляющей 5. Для этого возьмите лист белой бумаги и, наблюдая на ней яркое пятно, удалите лист от осветителя вдоль направляющей и следите за центром пучка. Он должен оставаться на одной высоте. При необходимости, можно повернуть или изменить его наклон, аккуратно ослабив соответствующие винты. Не забудьте затем крепко их затянуть.

4. На отметке примерно 49 см установите линзу 3 с фокусным расстоянием 200 мм. Перемещая линзу вверх-вниз, вновь направьте пучок параллельно направляющей. А перемещая линзу вдоль направляющей, добейтесь, чтобы пучок вновь был близок к параллельному.

5. Установите угол между направляющими 100° , перемещая треугольные основания 11. Угол отсчитывается по транспортиру 10. Установите нулевое деление транспортира напротив правой стороны направляющей.

6. Установите на столике с транспортом 10 стеклянную пластинку 6. Пластинка должна стоять вертикально, чтобы отраженный от нее пучок распространялся параллельно правой направляющей. Поворачивать пластинку вместе со столиком можно *только за вертикальный стержень 5*. Направьте отраженный свет вдоль правой направляющей и следите, чтобы середина светового пучка оставалась на той же высоте от направляющей. Поднимать и опускать луч можно наклоном пластинки.

7. На правой направляющей, на отметке ~ 49 см, установите фотоэлемент 8. Поворачивая столик со стеклянной пластинкой, направьте световой пучок на фотоэлемент.

8. На отметке ~ 37 см установите собирающую линзу 7 с фокусным расстоянием 150 мм. Перемещая линзу вверх-вниз и вдоль направляющей, соберите пучок на светочувствительной поверхности фотоэлемента в круг, диаметром примерно 8 – 10 мм.

9. Подсоедините к фотоэлементу мультиметр и включите его, нажав клавишу «on/off». Показания мультиметра пропорциональны интенсивности падающего света.

10. На левой направляющей, на отметке 53 см, установите поляризатор 4. Вращая поляризатор, наблюдайте, что показания мультиметра меняются. При положении поляризатора 0° плоскость поляризации будет вертикальной. Поскольку плоскость падения луча на пластинку горизонтальна, то в падающей волне будет присутствовать только перпендикулярная составляющая вектора \mathbf{E} падающей волны \mathbf{E}_0^{\perp} . При положении поляризатора 90° , в падающей волне, соответственно, будет присутствовать только параллельная составляющая \mathbf{E}_0^{\parallel} .

Упражнение 2. Исследование зависимости коэффициента отражения от угла падения и поляризации падающего света.

1. Установите угол между направляющими $2\varphi = 30^{\circ}$. Если теперь поворотом пластинки добиться, чтобы отраженный от пластинки луч попал на фотоэлемент, то угол падения света на пластинку будет равен φ , т.е. половине угла между направляющими, т.е. равен φ). Установите поляризатор под углом 0° . Поворачивая столик с пластинкой, направьте отраженный луч на фотоэлемент. При этом показания фотоэлемента будут максимальными. Занесите эту величину в таблицу (I_1^{\parallel}). Поверните поляризатор на 90° . Запишите показания мультиметра (I_1^{\perp}). Верните поляризатор в положение 0° . Выполните измерения, последовательно увеличивая угол между

направляющими на 10 градусов (при этом угол φ будет меняться с шагом 5°).
Результаты занесите в таблицу:

$\varphi / \text{град}$	I_1^{\parallel}	I_1^{\perp}
15		
20		
25		
...		
75		

2. Поскольку падающий свет неполяризован, то интенсивности

$$I_0^{\parallel} = I_0^{\perp} = \text{const}.$$

Так как коэффициенты отражения равны:

$$R_{\parallel} = \frac{I_1^{\parallel}}{I_0^{\parallel}}, \text{ а } R_{\perp} = \frac{I_1^{\perp}}{I_0^{\perp}},$$

то величины R_{\parallel} и R_{\perp} будут с одинаковыми коэффициентами пропорциональны интенсивностям I_0^{\parallel} и I_0^{\perp} , соответственно. Поэтому зависимости I_0^{\parallel} и I_0^{\perp} от φ с точностью до выбора масштаба совпадают с зависимостями соответствующих коэффициентов отражения от угла падения.

3. Постройте зависимости I_0^{\parallel} и I_0^{\perp} от угла падения φ на одной координатной сетке.

4. Объясните полученные результаты.

Упражнение 3. Определение показателя преломления пластинки.

1. Из зависимости I_1^{\parallel} от угла падения φ определите угол Брюстера.
2. Определите показатель преломления пластинки по углу Брюстера.
3. Оцените возможный разброс значений.

Упражнение 4. Определение степени поляризации естественного света, отраженного от стеклянной пластинки.

1. Снимите поляризатор с левой направляющей и установите его перед собирающей линзой 7 на правой направляющей

2. Установите угол между направляющими $2\varphi = 60^\circ$ и направьте отраженный свет на фотоэлемент.

3. Вращая поляризатор на 180° , определите максимальное и минимальное значение интенсивности.

4. По формуле (8) определите степень поляризации отраженного света для трех углов падения: 30° , 60° и 70° . Результаты представьте в виде таблицы:

$\varphi / \text{град}$	I_{\max}	I_{\min}	$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$
30			

60			
70			

5. Объясните полученные данные.

Вопросы к обсуждению с преподавателем.

1. Отражение и преломление света на границе двух прозрачных диэлектриков. Формулы Френеля.
2. Объяснить необходимость и функции всех оптических элементов экспериментальной установки.
3. Объяснить порядок юстировки оптической схемы.
4. Объяснить полученные экспериментальные результаты, сравнить их с теоретическими данными.
5. Указать возможные источники экспериментальных ошибок.

Рекомендуемая литература

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. §§135, 136.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §65.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. Изд.10, М., Физматлит, 2008. §§134,135.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §3.1, §3.2
5. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. Изд.2., М., МГУ, 2004. Лекция 20.

Основы фотометрии.

Фотометрия – раздел оптики, связанный с измерением энергии, переносимой световой волной, или с измерением величин, связанных с энергией электромагнитных волн оптического диапазона.

Все приемники оптического излучения можно разделить на два основных класса:

а) широкополосные или неселективные, в основе работы которых лежит тепловое действие света (термоэлементы, болометры). Для них разработана система **энергетических** характеристик светового потока.

б) селективные, работа которых основана на фотоэлектрическом и фотохимическом действии света (глаз человека, фотоэлементы, фотоумножители) для которых вводится система **световых** величин и единиц. Энергетические и световые величины взаимосвязаны.

В данной работе используется селективный приемник излучения – фотоэлемент, поэтому для характеристики оптического излучения применяются световые величины и единицы.

1. **Сила света J** . Основная фотометрическая величина в системе СИ – сила света источника, измеренная в канделах (кд). В качестве эталонного источника принято излучение абсолютно черного тела при температуре затвердевания чистой платины (2042 К). Кандела – это сила света, испускаемого с $1/60 \text{ см}^2$ поверхности эталонного источника в направлении нормали.

2. **Световой поток**. Определяется как произведение силы света источника на величину телесного угла, в котором распространяется излучение:

$$d\Phi = Jd\Omega$$

За единицу светового потока принимают *люмен* (лм) – световой поток от точечного источника силой света 1 кд, распространяющийся в пределах телесного угла 1 ср.

3. **Освещенность**. Физическая величина, равная световому потоку, приходящему на единицу площади освещаемой поверхности:

$$E = \frac{d\Phi}{d\sigma}$$

Освещенность измеряется в *люксах* (лк): $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$.

Освещенность площадки $d\sigma$, создаваемую точечным источником (т.е. таким источником, размеры которого малы по сравнению с расстоянием до точки наблюдения), можно представить следующим образом (рис. 1):

$$E = \frac{d\Phi}{d\sigma} = \frac{Jd\Omega}{d\sigma} = \frac{J \cos i}{R^2}$$

Цель работы: ознакомление с основными понятиями фотометрии (энергетическими и световыми величинами и единицами светового потока и связи между ними) и проверка основных законов фотометрии.

Решаемые задачи:

- изучить изменения освещенности в зависимости от расстояния между источником и приемником оптического излучения;
- проверить справедливость закона фотометрии для точечного источника света;

Оптические элементы и аппаратура:

- ✓ оптическая скамья (1);
- ✓ источник света (лампа накаливания в корпусе) (2) и блок питания (3);
- ✓ датчик освещенности (фотоэлемент) (4);
- ✓ люксметр Mobil CASSY (5);
- ✓ универсальные зажимы (6);

Для регистрации оптического излучения используется универсальный сенсор Mobil CASSY, проградуированный в единицах освещенности – люксах.

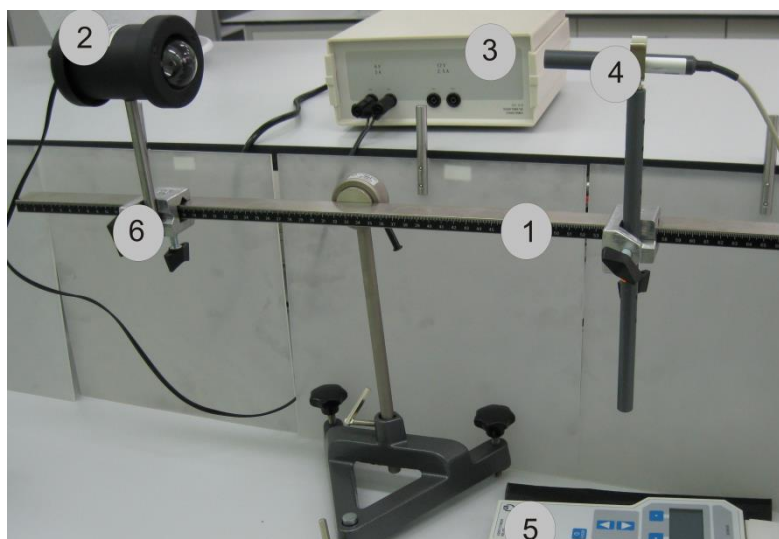


Рис. 1. Общий вид установки.

Порядок выполнения работы:

1. Установите датчик освещенности на одном уровне с нитью лампы накаливания (для этого переместите датчик вплотную к лампе, закрепите его на оптической скамье и отрегулируйте лампу и датчик по высоте). *Внимание! Регулировка производится при выключенной лампе!*

2. Переместите лампу и датчик на противоположные концы оптической скамьи на максимальное расстояние друг от друга.

3. Включите сенсор Mobil CASSY, нажав клавишу 1 (рис. 4) Прибор при выключенной лампе показывает фоновую освещенность, обусловленную внешним освещением. При дальнейших измерениях освещенности это значение следует вычитать из всех полученных величин освещенности.

4. Включите лампу и, перемещая датчик освещенности вдоль рельса с шагом 5 см, зарегистрируйте зависимость показаний люксметра Mobil

CASSY (E) от расстояния (R) между лампой и датчиком. Постройте график функции $E=f(1/R^2)$.

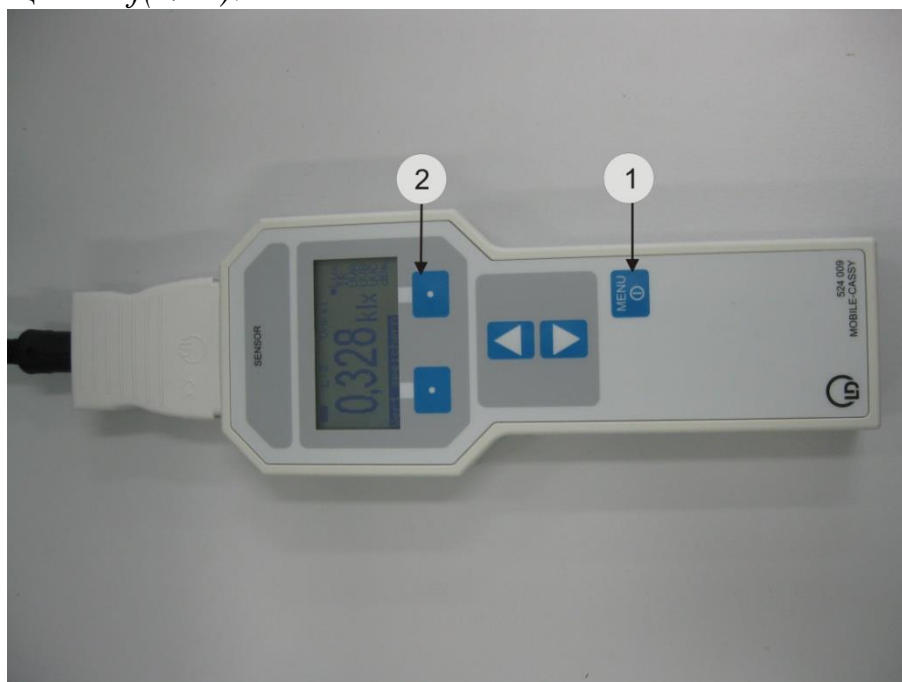


Рис 4. Сенсор Mobil CASSY

Замечание. Сенсор Mobil CASSY выключается последовательным нажатием двух клавиш – 1 и 2 (рис 4).

Контрольные вопросы :

1. Неселективные и селективные приемники оптического излучения.
2. Энергетические характеристики излучения оптического диапазона.
3. Кривая видности. Световые характеристики излучения, единицы их измерений. Соотношения между энергетическими и световыми характеристиками излучения.
4. Связь между энергетическими и световыми характеристиками светового потока.
5. Объясните полученную экспериментальную зависимость $E=f(1/R^2)$.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. Глава III.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §22.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Книга 5. М., АСТ: Астрель, 2006. §§3.4, 3.5..
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §1.10.
5. Годжаев Н.М. Оптика., М., Высшая школа, 1977. Глава I.