

Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана

Факультет «Фундаментальные науки»
Кафедра «Физика»

Т.М. Гладышева, В.О. Гладышев, Б.Г.Скуйбин, В.Л. Кауц

ИНТЕРФЕРОМЕТР МАЙКЕЛЬСОНА

Лабораторный практикум по курсу физики
Лабораторная работа О-75

Москва
2015

Гладышева Т.М., Гладышев В.О., Скуйбин Б.Г., Кауц В.Л.

Интерферометр Майкельсона М.: МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2015. 26 с.

Издание содержит материалы для изучения явления интерференции света, принципа работы интерферометра Майкельсона с лазерным источником. В методических указаниях изложена методика определения длины волны лазера и характеристик интерферометра по параметрам интерференционной картины.

Данные методические указания выполнены в соответствии с ФГОС третьего поколения.

Для студентов второго курса третьего семестра и факультетов АК, БМТ, ИУ, МТ, РЛ, РК, РКТ, ПСО, ОЭП, РТ, Э, СМ, ФН МГТУ имени Н. Э. Баумана, изучающих курс физики.

Гладышева Татьяна Михайловна

Гладышев Владимир Олегович

Скуйбин Борис Георгиевич

Кауц Владимир Леонидович

ИНТЕРФЕРОМЕТР МАЙКЕЛЬСОНА.

©2015 МГТУ имени Н. Э. Баумана

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Теоретическая часть	5
Экспериментальная часть	13
Контрольные вопросы.	28
Литература	28

1.1. Цель преподавания дисциплины состоит в содействии формированию следующих компетенций:

- способность на научной основе организовывать свой труд, оценивать с большой степенью самостоятельности результаты своей деятельности, владеть навыками самостоятельной работы;
 - способность к приобретению с большой степенью самостоятельности новых знаний с использованием современных образовательных и информационных технологий;
 - базовые методы исследовательской деятельности;
- что реализуется путем ознакомления студентов с основными законами физики, современными направлениями развития физической науки и возможностями их применения для решения современных инженерных и научных задач.

Кроме того, вне зависимости от направления подготовки, в цели преподавания курса физики входит формирование ряда профессиональных компетенций, перечень которых, а также связь их с дисциплинарными компетенциями, приведены в приложении А.

1.2. Задачами преподавания дисциплины являются

- ▶ освоение основных законов окружающего мира в их взаимосвязи;
 - ▶ освоение фундаментальных принципов и методов решения научно-технических задач;
 - ▶ формирование навыков по применению положений фундаментальной физики к грамотному научному анализу ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться при создании новой техники и новых технологий;
 - ▶ изучение основных физических теорий, позволяющих описать явления в микро- и макром мире, и пределов применимости этих теорий для решения современных и перспективных технологических задач;
 - ▶ выработка у студентов основ естественнонаучного мировоззрения;
 - ▶ ознакомление студентов с историей развития физики и основных её открытий.
- Кроме того, изучение физики содействует развитию полезных личностных качеств: ответственности, трудолюбие, желанию применять полученные знания на практике в научно инженерной деятельности.

1.3. Изучение дисциплины предполагает предварительное освоение следующих дисциплин учебного плана:

1. Физика (в объеме программы средней школы).
2. Математический анализ.
3. Аналитическая геометрия.

После освоения дисциплины студент должен приобрести следующие знания, умения и владения соответствующие компетенциям ООП (Приложение А).

2.1. Студент должен знать:

- основные физические явления и основные законы физики, включая границы их применимости, применение в важнейших практических приложениях;
- фундаментальные физические опыты и их роль в развитии науки; назначение и принципы действия важнейших физических приборов.

2.2. Студент должен уметь:

- применять методы физико-математического анализа к решению конкретных естественнонаучных и технических проблем;
- объяснить основные наблюдаемые природные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических взаимодействий; указать, какие законы описывают данное явление или эффект;
- работать с приборами и оборудованием современной физической лаборатории; использовать различные методики физических измерений и обработки экспериментальных данных.

2.3. Студент должен иметь навыки:

- навыками правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории, в том числе методиками обработки и интерпретирования результатов физического эксперимента;

После выполнения лабораторной работы студенты смогут:

- выполнять самостоятельно юстировку интерферометра Майкельсона;
- определять взаимное расположение изображений источника и экрана по виду интерференционной картины;
- самостоятельно проводить эксперименты с использованием интерферометра Майкельсона;
- проводить точные измерения малых смещений и наклонов зеркала интерферометра.

ВВЕДЕНИЕ

Интерференция – одно из ярких проявлений волновой природы света, наблюдаемое при определенных условиях в виде чередующихся светлых и темных полос, а при использовании белого света интерференционные полосы оказываются окрашенными в различные цвета спектра.

Исаак Ньютон в 1675 году первым наблюдал интерференционную картину, возникающую при отражении света в тонкой воздушной прослойке между плоской стеклянной пластиной и плосковыпуклой линзой в виде concentрических колец.

Первым интерференционным опытом (1802 г.), получившим объяснение на основе волновой теории света, явился опыт Карла Густава Юнга с двумя близко расположенными щелями. Юнг был первым, кто понял, что нельзя наблюдать интерференцию при сложении волн от двух независимых источников и угадал, что для получения интерференции света волну от источника нужно разделить на две волны и затем наблюдать на экране результат их сложения в виде чередующихся светлых и темных полос. Этот принцип используется во всех интерференционных схемах, включая интерферометр Майкельсона.

В данной лабораторной работе в теоретической части указаний рассмотрено явление интерференции света и принцип работы интерферометра Майкельсона с лазерным источником. Показана зависимость формы интерференционной картины от взаимного расположения изображений источника и плоскости ее наблюдения.

В экспериментальной части указаний предложена методика определения длины волны лазера, величины разности плеч и ее изменения для интерферометра и углового положения зеркала интерферометра по параметрам интерференционной картины.

ИНТЕРФЕРОМЕТР МАЙКЕЛЬСОНА

Лабораторная работа О-75

Цель лабораторной работы:

Изучение волновых свойств света на примере явления интерференции в интерферометре Майкельсона. Определение длины волны света, испускаемого лазером. Определение параметров интерферометра Майкельсона по характерным размерам интерференционной картины.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Интерферометр Майкельсона

Интерферометр - оптический прибор, принцип действия которого основан на разделении пучка света на два или несколько когерентных пучков, разность фаз которых постоянна во времени и проходящих различные оптические пути до момента, когда их снова сводят вместе. В областях пространства, где когерентные пучки перекрывают друг друга, суммарная световая картина не является равномерной, а происходит взаимное усиление или ослабление света, т.е. явление интерференции света. Однако закон сохранения энергии при этом не нарушается, а только происходит перераспределение энергии электромагнитных колебаний.

Если источником световых волн является лазер, то такое перераспределение устойчиво во времени, и в плоскостях локализации можно наблюдать стабильную интерференционную картину в виде темных и светлых полос или колец.

Интерферометр Майкельсона (рис.1) - это двухлучевой интерферометр, предназначенный для измерения расстояний или изменений показателя преломления среды. В таком устройстве

интерferируют два когерентных пучка, один из которых является опорным, а другой - измерительным. В лазерном интерферометре Майкельсона, где в качестве источника используется лазер, происходит сравнение изменения оптического пути для измерительного пучка с длиной волны лазера (в видимой области - доли мкм). Этим определяется высокая точность измерений. Оптические пути в различных средах отличаются от своих геометрических длин, что позволяет оценивать показатели преломления этих сред относительно вакуума в интерферометре, помещая разные среды на пути двух световых пучков. В интерферометре Майкельсона световой пучок от источника расщепляется на два с помощью светоделительной пластины, разность оптического хода создается с помощью двух зеркал (рис.1). Последовательным перемещением одного из зеркал по изменению интерференционной картины можно находить длину волны падающего излучения лазера.

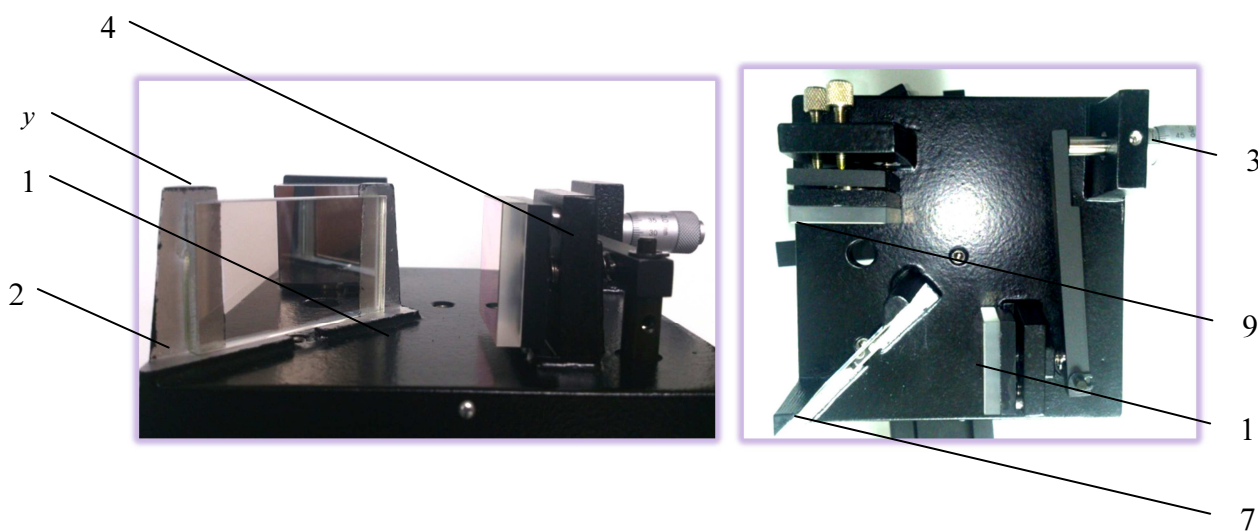


Рис.1. Интерферометр Майкельсона без источника: 1. Светоделитель. 2. Зеркало с поступательным перемещением. 3. Зеркало с малым угловым движением. 4. Микрометрический винт зеркала 2.

Интерференция света

Рассмотрим условия, при которых возникает интерференция двух световых волн. Для монохроматических волн условие когерентности равносильно равенству частот этих волн $\omega_1 = \omega_2 = \omega$. Предположим, что волны являются когерентными, одинаково линейно-поляризованными, а начальные фазы равны нулю. Пусть в некоторую точку экрана приходят две плоские гармонические электромагнитные волны, напряженности электрических полей которых в этой точке изменяются по законам:

$$\vec{E}_1 = \vec{A}_1 \cos(\omega t - kl_1), \quad \vec{E}_2 = \vec{A}_2 \cos(\omega t - kl_2),$$

где A_1 и A_2 амплитуды волн, $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, а l_1 и l_2 – длины оптических путей складываемых волн.

В соответствии с принципом суперпозиции результирующая напряженность определяется векторной суммой напряженностей исходных волн

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2.$$

Результирующую амплитуду найдем с помощью векторной диаграммы (рис.2), применив теорему косинусов для амплитуд:

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos \Delta\varphi, \quad (1)$$

где $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = (\omega t - kl_2) - (\omega t - kl_1) = k(l_1 - l_2)$ – разность фаз интерферирующих волн.

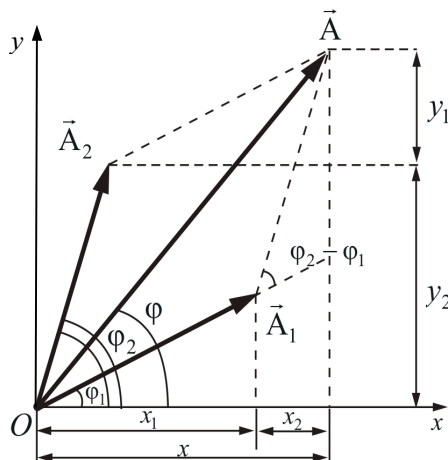


Рис.2 Векторная диаграмма. Вектора \vec{A}_1 и \vec{A}_2 и суммарный вектор \vec{A} вращаются с одинаковой угловой скоростью вокруг точки O в плоскости xOy . φ_1 и φ_2 – фазы интерферирующих волн, φ – фаза результирующей волны.

Приемники света не позволяют измерять мгновенное значение напряженности электрического поля \vec{E} , т.к. время разрешения самых быстродействующих приемников на несколько порядков превышает период колебаний световых волн ($\sim 10^{-15}$ с). Все приемники световых волн реагируют на усредненную по времени разрешения квадратичную по полю \vec{E} величину, которую называют интенсивностью света I . Так как интенсивность световых волн пропорциональна квадрату амплитуды $I \sim A^2$, то результирующая интенсивность определяется формулой

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\varphi. \quad (2)$$

Интерференционный член $2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\varphi$ в формуле (2) определяет усиление волн:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \quad \text{при } \Delta\varphi = 2\pi m, m=0, 1, 2, \dots$$

или ослабление:

$$I = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} \quad \text{при } \Delta\varphi = \pi(2m + 1), m=0, 1, 2, \dots$$

интенсивности в точке экрана, где сходятся пучки.

Условие интерференционных максимумов и минимумов интенсивности для разности оптических путей с учетом $\Delta\varphi = k\Delta l$ и $k=2\pi/\lambda$:

при $\Delta l = m\lambda, \quad m=0, 1, 2, \dots$ максимум интенсивности (светлое пятно),

при $\Delta l = (2m + 1)\lambda/2$, $m=0, 1, 2, \dots$ минимум интенсивности (темное пятно).

Из условий для минимумов и максимумов интенсивности следует, что для двух точечных источников одной длины волны, вокруг них в пространстве будет возникать интерференция, при этом фиксированному значению числа m будет соответствовать темный или светлый двухполостный гиперboloид вращения – поверхность равных фаз $\Delta l = \text{const}$, в фокусах которого находятся два изображения источника (рис.3).

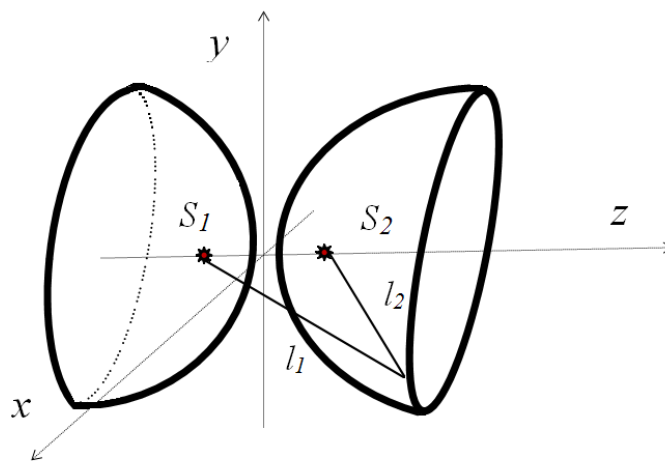


Рис.3 Двухполостный гиперboloид вращения – поверхность равных фаз: $\Delta l = \text{const}$. S_1 и S_2 - точечные источники, l_1 и l_2 – длины оптических путей двух пучков, которые пересекаются в некоторой точке на гиперboloиде.

На экранах – в плоскостях локализации интерференционной картины, в зависимости от взаимного расположения источников и плоскостей экранов можно наблюдать либо кольца, либо полосы (рис.4). При различных значениях числа m на экранах, перпендикулярных линии, на которой располагаются источники S_1 и S_2 , получаются интерференционные полосы в виде concentрических колец с центром в

точке пересечения экрана и линии источников. На экранах, параллельных
линии источников, получаются интерференционные полосы в виде
гипербол, и только в центральной части этого экрана можно наблюдать
равноотстоящие почти параллельные темные и светлые полосы. Т.к.
вершины гиперболоидов располагаются между источниками, то число
колец или полос (с учетом центрального пятна или полосы) определяется
числом полуволн, которые укладываются между этими источниками.

Чтобы с помощью интерферометра Майкельсона увидеть в центре
экрана интерференционные кольца или полосы, необходимо регулировкой
положения зеркал получать изображения источника, на перпендикуляре к
плоскости экрана или параллельно этой плоскости, соответственно.
Перемещая одно из зеркал вдоль оси системы, изображения источника от
двух зеркал интерферометра будут смещаться относительно друг друга
вдоль оси, а на экране появится интерференционная картина в виде
концентрических колец. Поворачивая одно из зеркал относительно оси
системы, два изображения источника сместятся относительно оси вправо и
влево. Если длины плеч интерферометра будут одинаковы, то изображения
источника будут ориентированы параллельно плоскости экрана, где будет
наблюдаться интерференционные полосы.

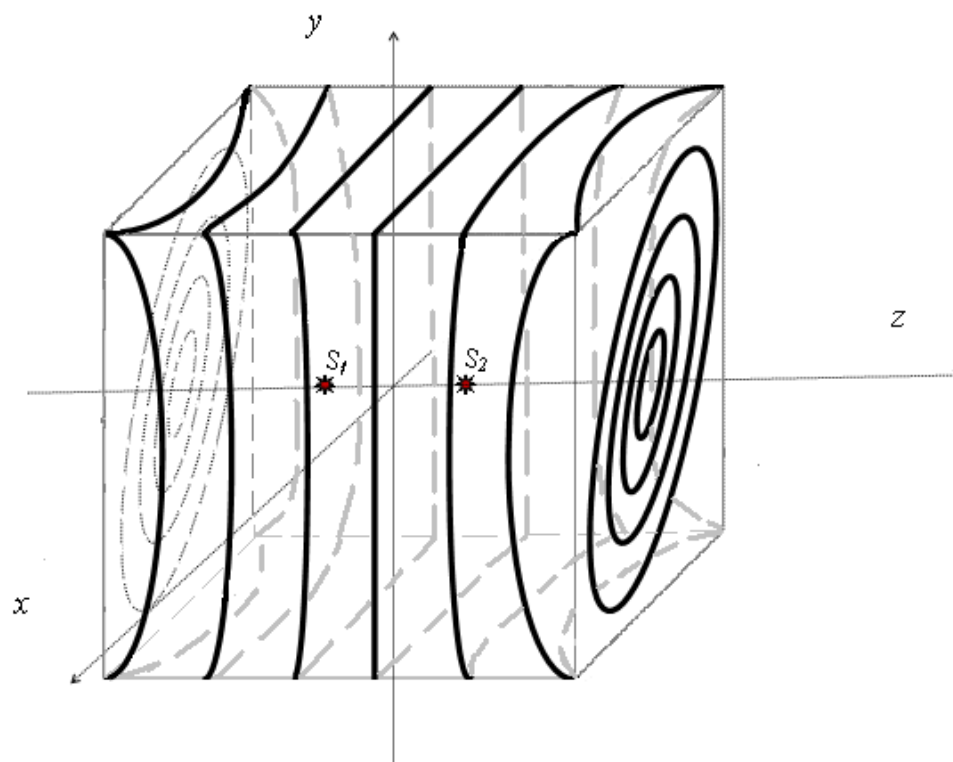


Рис. 4 Интерференционные картины в плоскостях локализации – сечения семейства двухполостных гиперболоидов в плоскостях параллельных и перпендикулярных линии расположения источников S_1 и S_2 .

Количество и порядок, форма, размеры интерференционных колец и полос связаны с расстоянием между источниками и их расположением относительно плоскостей наблюдения, а также с характеристиками излучения источников, что позволяет создавать измерительные процедуры на основе параметров интерференционной картины.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В интерферометре Майкельсона интерференция создается при помощи двух зеркал. Длина волны определяется по смещению одного из зеркал, при этом смещение регулируется и определяется микрометрическим винтом с делениями.

Экспериментальная установка интерферометра Майкельсона представлена на рис.5.

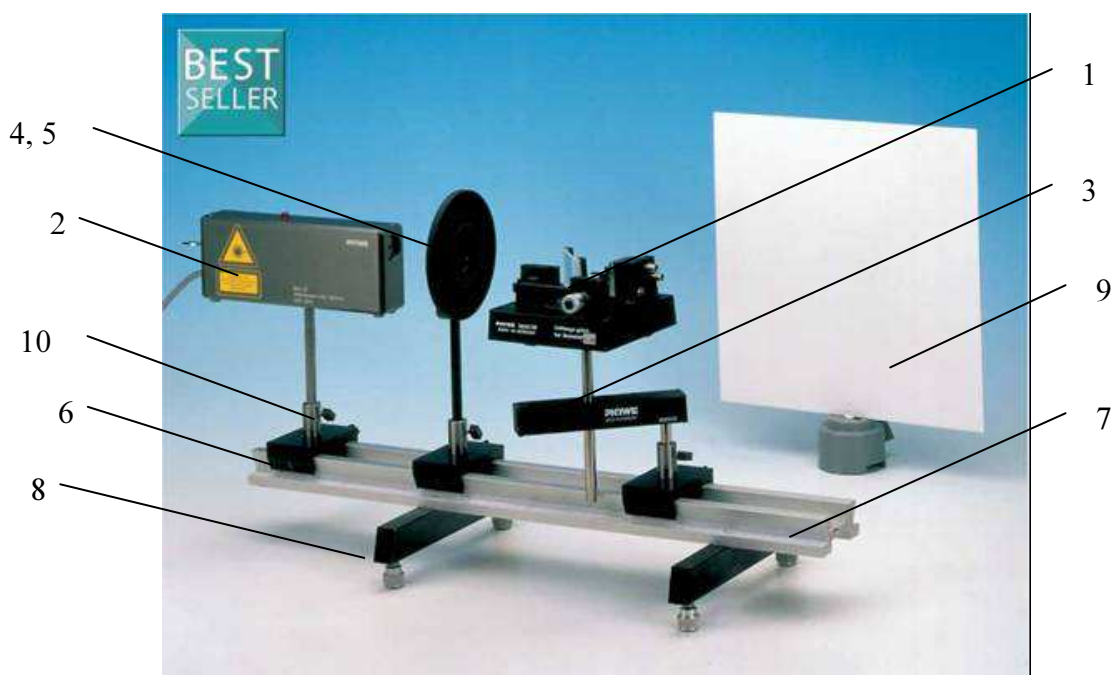


Рис.5. Экспериментальная установка для измерения длин волн с помощью интерферометра Майкельсона. Номера деталей установки соответствуют позициям используемого оборудования.

Используемое оборудование

1. Интерферометр Майкельсона.
2. Лазер, He-Ne 1.0 мВт, 220В~.
3. Поворотный кронштейн.
4. Линза в оправе, $f=+20$ мм.
5. Держатель для линз.
6. Бегунок для оптической скамьи, $h=30$ мм.
7. Оптическая скамья, $l=600$ мм.
8. База для оптической скамьи.

9. Металлический экран, 300×300 мм.
10. Цилиндрическая опора.

Настройка интерферометра

Для получения максимально возможного числа интерференционных колец на экране в интерферометре Майкельсона необходимо сначала настроить два зеркала интерферометра. Настройка зеркал производится без линзы. Пучок от лазера падает на полупрозрачную посеребренную светоделительную пластину (СДП) под углом 45° и делится им на два пучка, которые затем отражаются от зеркал и направляются на экран интерферометра. Пятна от световых пучков на экране совмещаются с помощью двух регулировочных винтов, установленных на одном из зеркал. Поместив линзу на пути луча от лазера, на экране можно наблюдать интерференцию в виде колец (полос). Точной настройкой можно добиться появления концентрических интерференционных колец.

Для измерения длины волны излучения лазера микрометрический винт плавно поворачивают до получения темного пятна в центре. Далее, поворачивая винт в том же направлении, на экране можно наблюдать периодическую смену тона центрального пятна с темного на светлое (рис.6).

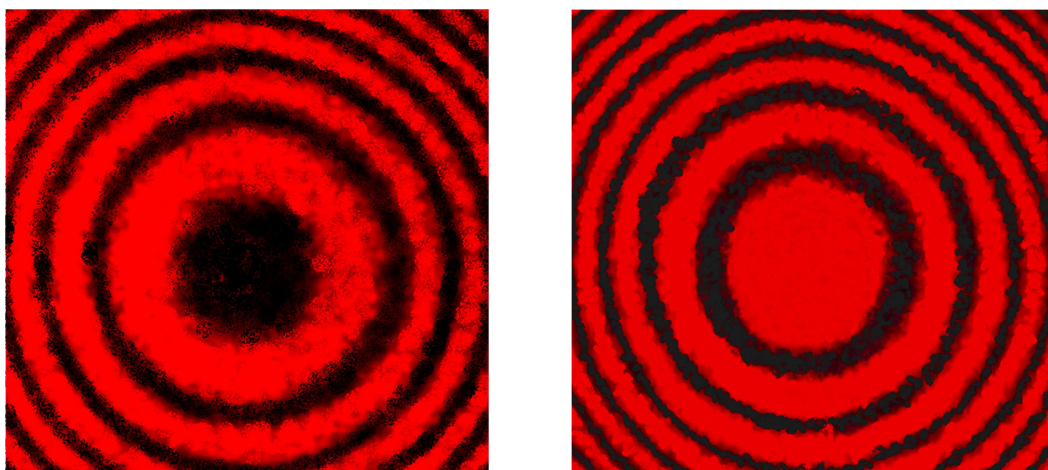


Рис. 6. Интерференционные картины в виде темных и светлых концентрических колец: с темным центральным пятном слева и светлым справа.

Число этих периодов необходимо сосчитать. Расстояние, на которое сместится зеркало, определяется по отметкам на винте с учетом 1:10. При сдвиге центра колец за пределы светового пятна необходимо дополнительно настроить установку.

Внимание: Не направляйте лазерный луч непосредственно на глаза.

В интерферометре Майкельсона (рис.5) световой пучок от лазерного источника L делится на два пучка полупрозрачной посеребренной светоделительной пластиной ($СДП$) (деление волны по амплитуде). Далее пучки распространяются в направлениях перпендикулярных плоским зеркалам M_1 и M_2 . Отраженные от зеркал волны возвращаются к $СДП$, вновь делятся полупрозрачным зеркалом по амплитуде, так что в выходной ветви интерферометра складываются две волны, создавая явление интерференции. Результат интерференции этих волн можно наблюдать на экране $Э$. Прошедшие и отраженные от $СДП$ пучки, которые не попадут на экран, показаны штриховыми лучами.

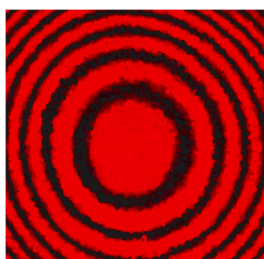
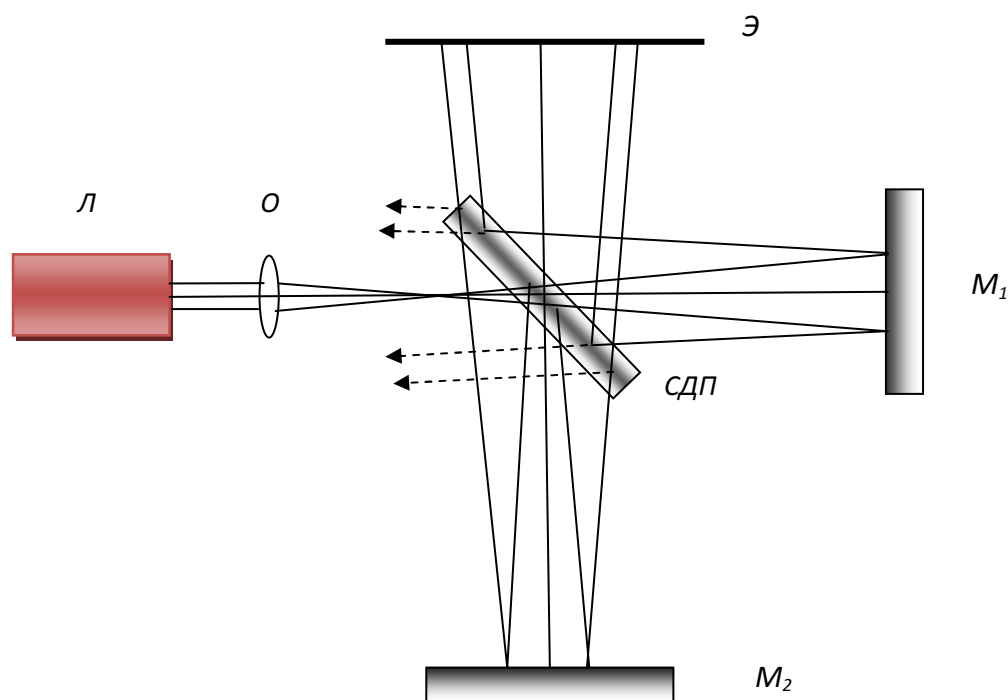


Рис.7: Схема интерферометра Майкельсона. L - лазерный источник, O - линза, $СДП$ - светоделительная пластина, M_1 и M_2 - плоские зеркала, \mathcal{E} – экран, $ИК$ – интерференционная картина на экране.



Затем линзу помещают между источником света L и $СДП$, чтобы создать точечный источник (в фокусе линзы) и увеличить интерференционную картину, чтобы кольца на экране были различимы.

Для того чтобы использовать полученные на экране с помощью интерферометра Майкельсона интерференционные картины в измерениях, необходимо применить условия интерференционных максимумов или минимумов интенсивности. Образование интерференционных колец с помощью светоделительной пластины $СДП$ и зеркал M_1 и M_2 проще представить как формирование колец с заменой зеркала M_1 его мнимым изображением M_1' , тогда разность оптических путей от источников L_1 и L_2 до точки P просто определяется геометрически (рис. 6).

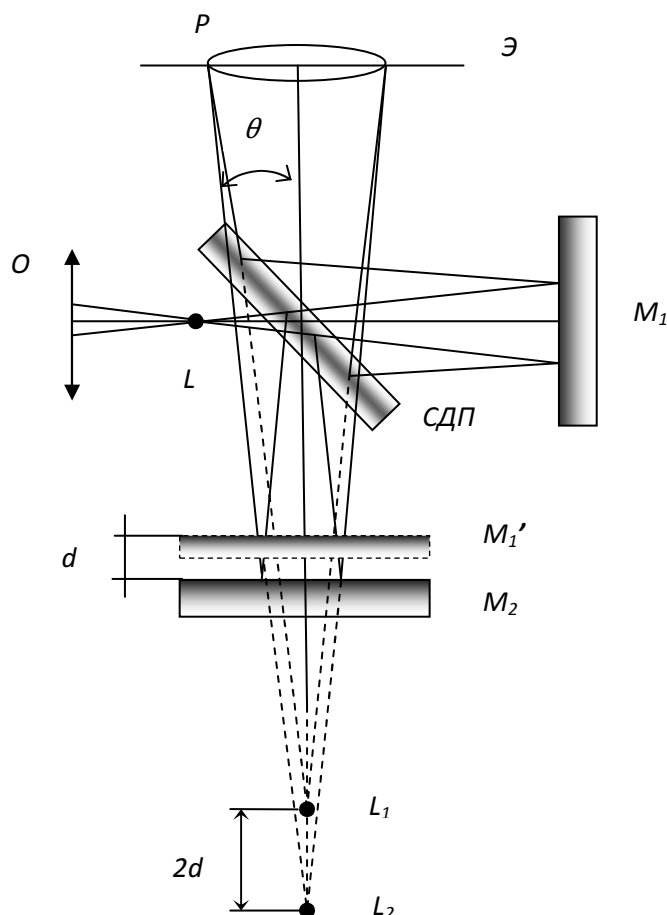


Рис.8. Образование колец при интерференции. L_1 и L_2 , - изображения источника L от зеркал M_1 и M_2 , соответственно. M_1' - мнимое изображение зеркала M_1 , O - линза, $СДП$ - светоделительная пластина., θ – угол между оптической осью и направлением от изображения источника L_2 (или L_1) к точке P на кольце, d – разность длин плеч интерферометра (расстояний между зеркалами и светоделителем).

Зависимость между разностью фаз и оптической разностью хода для обозначений на рис.6 будет иметь вид

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} 2d \cos \theta, \quad (3)$$

где λ - длина волны света, используемого в эксперименте, d - разность длин плеч интерферометра (расстояний между зеркалами и

светоделителем) или половина расстояния между изображениями источника L_1 и L_2 рис. 6.

Распределение интенсивности пропорционально квадрату амплитуды $I \sim A^2$ и при $A_1 = A_2$, согласно формуле (1)

$$A^2 = 4A_1^2 \cos^2 \frac{\Delta\varphi}{2},$$

суммарная интенсивность будет определяться выражением

$$I = 4I_1 \cos^2 \frac{\Delta\varphi}{2}. \quad (4)$$

Максимальное значение интенсивности достигается при δ кратном 2π из уравнения (3)

$$2d \cos \theta = m\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots, \quad (5)$$

минимальное значение интенсивности достигается при δ кратном π из уравнения (3)

$$2d \cos \theta = (2m + 1)\lambda/2, \quad m = 0, 1, 2, \dots, \quad (6)$$

т.е. кольца получаются для конкретных значений m и d , так как θ остается постоянным (рис.6).

Если положение подвижного зеркала M_1 изменить так, что d уменьшится, то, согласно (4), диаметр кольца также уменьшится при том же значении m . Одно кольцо, таким образом, исчезает каждый раз, как только d уменьшается на $\lambda/2$. Все кольца исчезнут при $d=0$. Если M_1 и M_2 не параллельны, то мы наблюдаем искривленные полосы, которые выпрямляются при $d=0$.

При измерении длины волны света λ было насчитано 500 периодических изменений цвета колец при смещении зеркала на 158 мкм, что соответствовало длине волны $\lambda=632$ нм с учетом условия для центрального пятна $\theta = 0$.

При смещении подвижного зеркала M_1 на Δd при известном числе периодов смен цвета Δm для центрального пятна $\theta = 0$, после дифференцирования выражения 5 или 6, получим формулу для определения длины волны лазерного источника

$$\lambda = 2\Delta d / \Delta m. \quad (7)$$

Рассмотрим условие для разности оптического хода от зеркальных изображений источников для темных колец при $\theta \neq 0$, которое определяется геометрически (рис.7) по формуле

$$2d \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\rho}{z_2}\right)^2}} = (2m + 1)\lambda/2, \quad m = 0, 1, 2, \dots, \quad (8)$$

или приближенной

$$2d \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\rho}{z_2}\right)^2\right) \cong (2m + 1)\lambda/2, \quad m = 0, 1, 2, \dots, \quad (9)$$

где ρ – радиус темного кольца, z_2 - координата положения плоскости локализации системы колец относительно источника L_2 , который расположен дальше от этой плоскости.

В отличие от интерференционных полос, где порядок интерференции m отсчитывается от центральной полосы, для картины интерференционных колец мы, как правило, порядка не знаем. Однако, по разности порядков мы можем определить разность длин плеч интерферометра d по формуле

$$d = \frac{\lambda z_2^2 (m_1 - m_2)}{\rho_2^2 - \rho_1^2}, \quad (10)$$

считаем, что $m_1 > m_2$ при $\rho_1 < \rho_2$, т.е. счет колец производится от дальнего кольца.

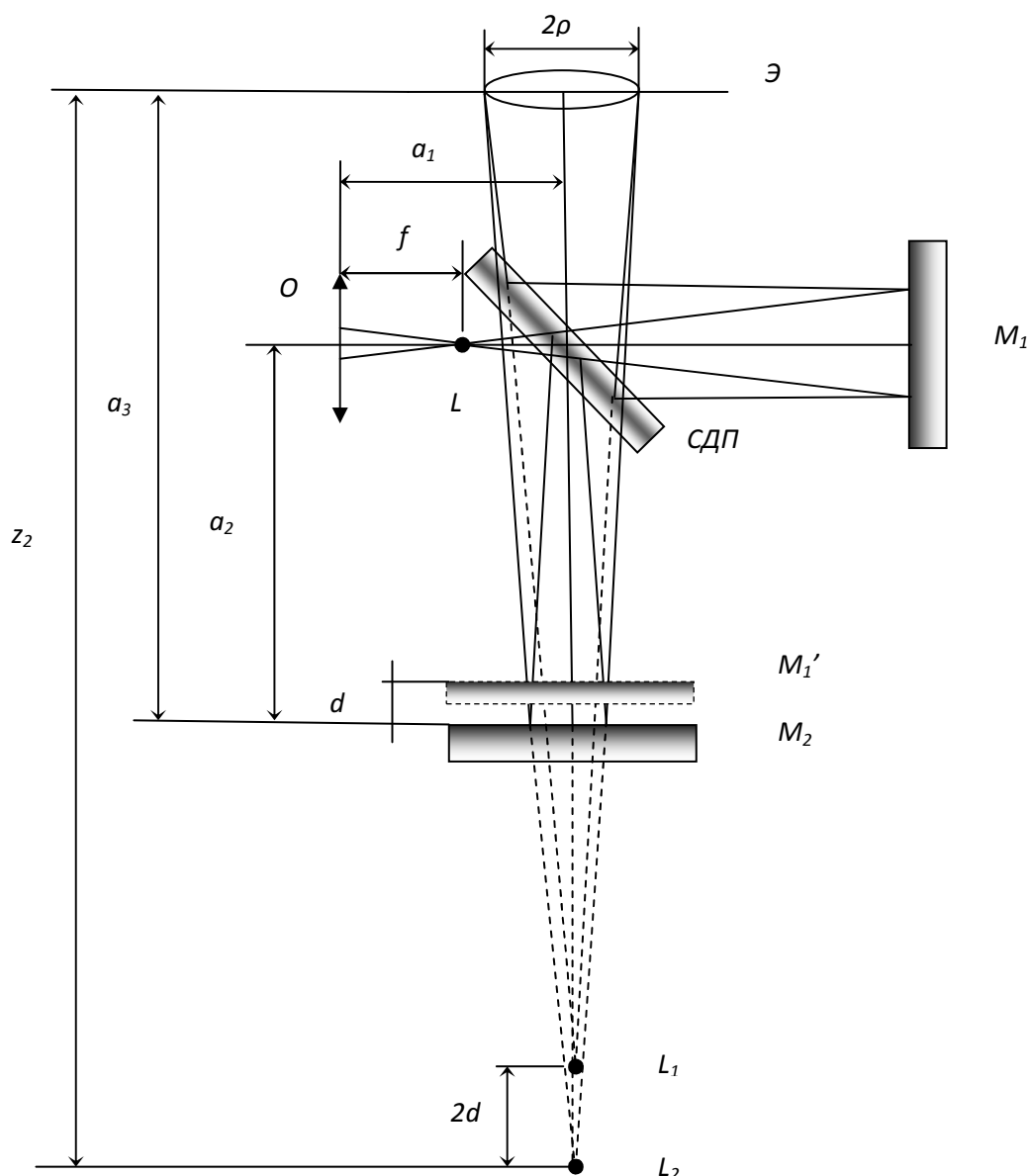


Рис.9.. Определение разности плеч d в интерферометре Майкельсона по измеренным диаметрам интерференционных колец (2ρ). Расстояние между изображением источника в зеркале M_2 и экраном (z_2) складывается из расстояний от линзы до светоделительной пластины (a_1), от светоделительной пластины до зеркала M_2 (a_2) и от зеркала M_2 до экрана (a_3) за вычетом фокусного расстояния линзы (f), т.е. $z_2 = a_1 + a_2 + a_3 - f$. L_1 и L_2 - изображения источника L от зеркал M_1 и M_2 , соответственно. M_1' - мнимое изображение зеркала M_1 , O - линза, СДП - светоделительная пластина.

Изменение этой величины Δd , зная радиусы двух колец для двух положений зеркал, можно определить по приближенной формуле

$$\Delta d \cong \lambda z_2^2 \Delta m \left(\frac{1}{\rho_{22}^2 - \rho_{12}^2} - \frac{1}{\rho_{21}^2 - \rho_{11}^2} \right), \quad (11)$$

где ρ_{11}, ρ_{21} и ρ_{12}, ρ_{22} - радиусы разных колец для первого и второго положений зеркал.

Интерференционная картина от двух когерентных точечных источников формируется в виде интерференционных колец или полос (рис. 4) в зависимости от взаимного расположения этих источников и плоскости локализации интерференционной картины (плоскости экрана). Если технически возможно создать два изображения источника света на линии параллельной плоскости экрана, то мы будем наблюдать интерференционные полосы. В интерферометре Майкельсона, представленном в данной работе, при условии равенства плеч, поворот зеркала M_1 на малый угол φ позволяет создать эту картину (рис.8).

Из геометрии хода осевого пучка на рисунке 8 ширина полосы b при условии малости расстояния между изображениями источника (d) по сравнению с расстоянием до экрана (z_2) определяется формулой:

$$b = \frac{\lambda z_2}{d},$$

где $d = 2\varphi z_1$, z_1 – расстояние от зеркала M_2 до линии изображений источников S_1'' и S_2'' . Тогда угол будет определяться выражением

$$\varphi = \frac{\lambda z_2}{2bz_1}. \quad (12)$$

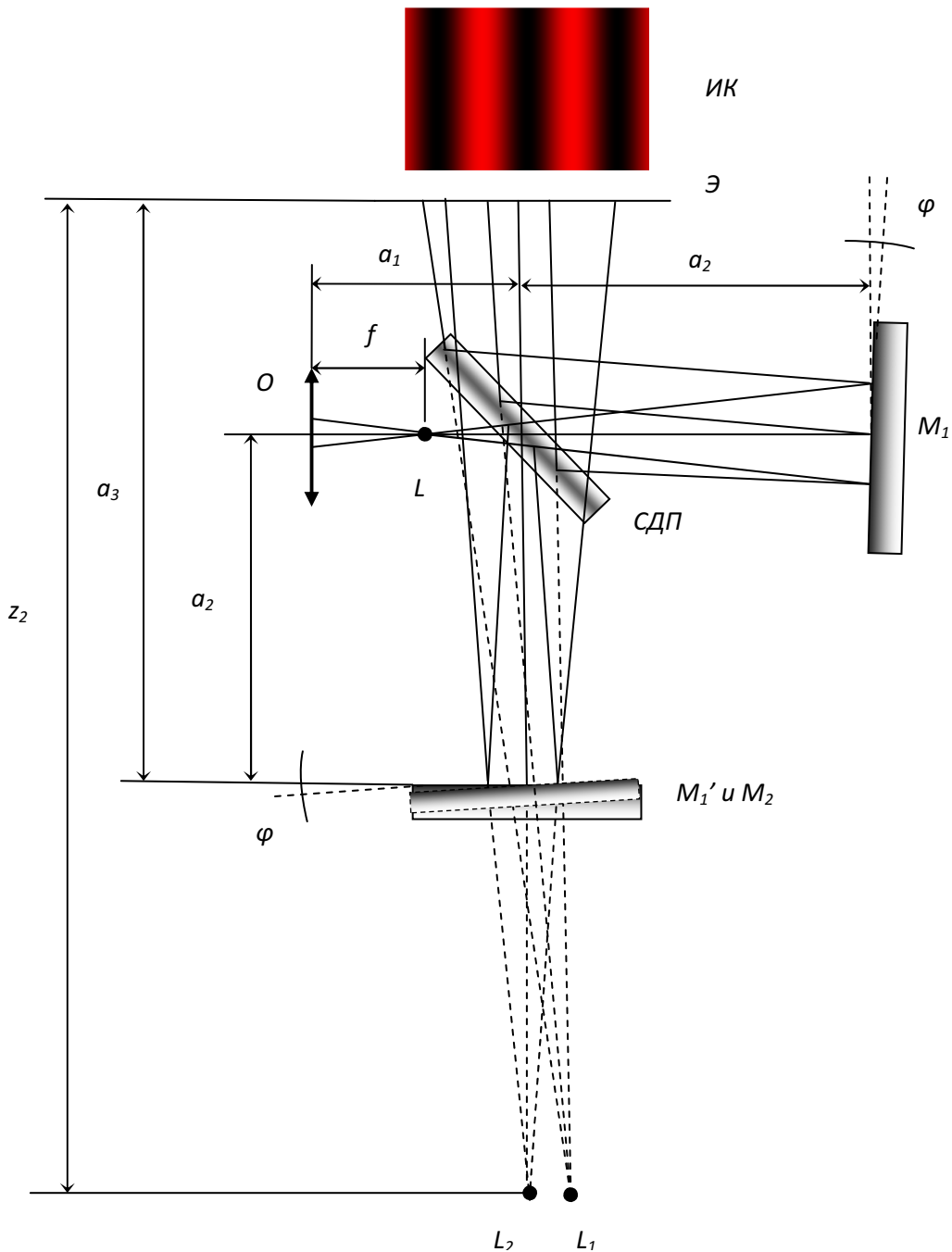


Рис.10. Определение угла наклона φ зеркала M_1 по ширине полосы интерференционной картины. Расстояние между изображением источника в зеркале M_2 и экраном (z_2) складывается из расстояний от линзы до светodelительной пластины (a_1), от светodelительной пластины до зеркала M_2 (a_2) и от зеркала M_2 до экрана (a_3) за вычетом фокусного расстояния линзы (f). L_1 и L_2 - изображения источника L от зеркал M_1 и M_2 , соответственно. M_1' - мнимое изображение зеркала M_1 , O - линза, СДП - светodelительная пластина.

Выполнение эксперимента

Задание 1. Юстировка интерферометра

Установить на оптической скамье лазер и интерферометр Майкельсона на поворотном кронштейне в цилиндрических опорах на бегунках как показано на рис. 5. Металлический экран расположить на расстоянии 40 - 50 см от блока интерферометра параллельно оптической скамье.

Подключить лазер к сети, а затем включить лазерный источник поворотом ключа. Направить пучок света от лазера приблизительно на середину светоделительной пластины, отрегулировав положение интерферометра по высоте. Более точной настройкой положения интерферометра добиться попадания изображения пучков от зеркал на экране напротив зеркала M_1 с микрометрическим винтом. Юстировкой второго зеркала M_2 с помощью двух регулировочных винтов для изменения его наклона свести пятна вместе.

Для того чтобы увидеть интерференционную картину, поместите линзу в оправе на цилиндрической опоре, установленной в бегунке, на оптической скамье между лазером и интерферометром, проверьте, чтобы луч от лазера проходил через центр линзы, а после линзы попадал приблизительно на середину светоделительной пластины.

Очень малыми поворотами регулировочных винтов второго зеркала, добейтесь четкой интерференционной картины в виде концентрических колец.

Задание 2. Определение длины волны света лазера по периодическому изменению интенсивности света в центре интерференционной картины при смещении зеркала M_1 .

После получения на экране четкой интерференционной картины в виде темных и светлых концентрических колец, в центре картины светлое

или темное пятно и по микрометрическому винту отметить соответствующее положение зеркала $M_I - Z_I$.

Далее, медленно вращая микрометрический винт, смещать зеркало M_I , считая количество изменений цвета центрального пятна. Смена цвета с темного на светлое будет соответствовать смещению зеркала M_I на $\lambda/4$. Тогда одному периоду будет соответствовать смещение на $\lambda/2$ между зеркалами и на λ между изображениями источника.

Замечание: одно деление регулировочного винта соответствует смещению зеркала M_I на 1 мм, одно деление дополнительного барабана регулировочного винта соответствует смещению зеркала на 0.1 мм.

Смещать зеркало так, чтобы в центре картины на экране сменилось последовательно 200 светлых или темных пятен, после чего отметить конечное положение микрометрического винта – Z_2 .

Вычислить длину волны лазерного источника, используя формулу (7), записать в таблицу 1.

Таблица 1 Определение длины волны света лазера

Z_1 (мм)	Z_2 (мм)	$\Delta d =$ $ Z_1 - Z_2 $	Δm	λ (нм)

Задание 3. Определение разности плеч d в интерферометре Майкельсона по измеренным диаметрам интерференционных колец.

Для выполнения этого задания используйте формулу 10. Длина волны лазера λ найдена в предыдущем эксперименте. Расстояние между изображением источника в зеркале M_2 и экраном (z_2) (рис. 7) складывается из расстояний от линзы до светоделительной пластины (a_1), от

светоделительной пластины до зеркала M_2 (a_2) и от зеркала M_2 до экрана (a_3) за вычетом фокусного расстояния линзы (f), т.е.

$$z_2 = a_1 + a_2 + a_3 - f.$$

С помощью регулировочного микровинта выставите зеркало M_2 так, чтобы плечо интерферометра, направленного к экрану было немного длиннее плеча, параллельного экрану. Положение равенства плеч указано на торце платформы с интерферометром. Отметьте показания регулировочного винта при равенстве плеч ξ_0 и смещенное относительное положение ξ_I зеркала M_2 в таблице 2.

$$d = \xi_I - \xi_0.$$

Затем, выделите на экране 2 соседних кольца ($\Delta m = 1$), измерив их диаметры, определите радиусы ρ_1, ρ_2 и по формуле 10 определите расстояние. Выполните то же самое для $\Delta m = 2$ и $\Delta m = 3$.

Сравните полученные значения разностей плеч интерферометра Майкельсона. Сделайте вывод.

Таблица 2 Определение разности плеч d в интерферометре Майкельсона по измеренным диаметрам интерференционных колец

Δm	ρ_2 (мм)	ρ_1 (мм)	$\rho_2^2 - \rho_1^2$	d (мм)
1				
2				
3				
$\xi_I =$	(мм)	$\xi_0 =$	(мм)	

Задание 4. Определение изменения величины разности плеч Δd в интерферометре Майкельсона по изменению параметров интерференционных колец.

Также как и в задании 3 выполните измерения, но для двух положений зеркала M_2 . Расположите зеркало M_2 так, чтобы плечо интерферометра, направленного к экрану было немного длиннее плеча, параллельного экрану. Отметьте показания регулировочного винта при равенстве плеч ξ_0 и смещенные относительные положения ξ_1 и ξ_2 зеркала M_2 , а также

$$\Delta \xi_{01} = \xi_1 - \xi_0 \quad \text{и} \quad \Delta \xi_{02} = \xi_2 - \xi_0$$

в таблице 3.

Для проверки результатов найдите изменение Δd с помощью регулировочного винта:

$$\Delta d = \Delta \xi_{02} - \Delta \xi_{01}.$$

Сравните полученные значения изменения разности плеч интерферометра Δd . Сделайте вывод.

Таблица 3 Определение изменения величины разности плеч Δd в интерферометре Майкельсона по изменению параметров интерференционных колец

	Первое положение зеркала M_2			Второе положение зеркала M_2			
Δm	ρ_{21}	ρ_{11}	$\rho_{21}^2 - \rho_{11}^2$	ρ_{22}	ρ_{12}	$\rho_{22}^2 - \rho_{12}^2$	Δd
1							
2							
$\Delta \xi_{01} = \xi_1 - \xi_0 =$ (мм)				$\Delta \xi_{02} = \xi_2 - \xi_0 =$ (мм)			

Задание 5. Определение угла наклона ϕ зеркала M_1 по ширине полосы интерференционной картины.

Установите равенство плеч интерферометра Майкельсона с помощью регулировочного микровинта на зеркале M_2 . Положение равенства плеч указано на торце платформы с интерферометром. С

помощью микровинта на зеркале M_1 отклоните на очень малый угол это зеркало, так чтобы пучки на экране перекрывали друг друга. На экране можно наблюдать интерференционную картину в виде полос. Ширину полосы b определите как отношение ширины нескольких полос (Δx) к числу полос (Δm), т.е.

$$b = \Delta x / \Delta m.$$

Расстояние z_2 определяется как в задании 3 по формуле

$$z_2 = a_1 + a_2 + a_3 - f.$$

Расстояние z_1 определяется по формуле

$$z_1 = a_1 + a_2 - f.$$

По формуле (12) определите угол φ (рад) отклонения зеркала M_1 для каждого Δm и переведите в градусные величины, для которых определите среднее арифметическое $\langle \varphi \rangle^\circ$.

Таблица 4 Определение угла наклона φ зеркала M_1 по ширине полосы интерференционной картины.

k	Δm	Δx	z_1	z_2	φ (рад)	φ°	$\langle \varphi \rangle^\circ$
1	3						
2	6						
3	9						

Оцените погрешность для угла наклона φ зеркала M_1 по формуле

$$\Delta \varphi = t_{p,k-1} \sqrt{\frac{\sum_1^k (\varphi_i - \langle \varphi \rangle)^2}{k(k-1)}}$$

Где $t_{p,k-1}$ – коэффициент Стьюдента для k опытов и доверительной вероятности $p=0.9$.

Ответ записать в виде $\varphi = \langle \varphi \rangle \pm \Delta \varphi$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

1. Дать определение явления интерференции света.
2. Какие источники считаются когерентными? Как их получить?
3. Объяснить принцип работы интерферометра Майкельсона.
4. Вывести формулы для условий образования интерференционных максимумов и минимумов интенсивности.
5. Объяснить механизм образования полос и колец. Где они локализованы?
6. Как выглядят поверхности равных фаз для двух точечных источников?
7. Где на практике используется интерференция электромагнитных волн радиодиапазона?

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ

1. Что нужно сделать, если кольца имеют неправильную форму.
2. Соответствует ли полученная длина цвету излучения источника?
Ответ пояснить.

Используемые термины

Волна – распространение колебаний физических величин (полей) внутри ограниченных областей пространства.

Электромагнитная волна — распространяющееся в пространстве изменение состояния электромагнитного поля, порождённого неравномерным движением электрических зарядов или возбужденным состоянием.

Свет (световая волна) - электромагнитное излучение, воспринимаемое человеческим глазом (электромагнитная волна в

интервале частот 385—790 ТГц, что соответствует длинам волн в вакууме 380—780 нм).

Монохроматическое излучение – излучение одной длины волны.

Спектр электромагнитного излучения - упорядоченная по длинам совокупность монохроматических волн, на которую разлагается свет или иное электромагнитное излучение.

Луч – линия вдоль которой распространяется световая волна.

Пучок в прозрачной среде представим в виде совокупности конечного или бесконечного числа световых лучей.

Фаза колебаний - аргумент периодически изменяющейся функции, описывающей колебательный процесс.

Фаза волны - аргумент периодически изменяющейся функции, описывающей волновой процесс.

Когерентные волны - волны, характеризующиеся одинаковой частотой и постоянством разности фаз в заданной точке пространства.

Оптическая длина пути света: $l = ns$, n - показатель преломления, s - геометрическая длина пути.

Интерференция света – устойчивое пространственное перераспределение энергии светового излучения при наложении двух или нескольких когерентных световых волн, частный случай общего явления интерференции волн.

Интерференционная картина - регулярное чередование областей повышения и понижения интенсивности света, получающееся в результате наложения когерентных световых пучков, в виде чередующихся колец или полос.

Ширина интерференционной полосы – это расстояние между соседними интерференционными максимумами или минимумами.

Поверхность локализации – поверхность, на которой можно наблюдать интерференционную картину, например, плоскость локализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Литвинов О.С., Горелик В.С. Электромагнитные волны и оптика: Учебное пособие. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006. – 448 с.: ил. (Физика в техническом университете/ Под ред. Л.К.Мартинсона, А.Н.Морозова)
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики, т. IV. Оптика. - М.: Физматлит, 2005. - 792 с.
3. Прикладная оптика: Учебное пособие для приборостроительных специальностей вузов/ Л.Г.Бибчук, Ю.В.Богачев, Н.П.Заказнов и др.; Под общей редакцией Н.П.Заказнова. – М.: Машиностроение, 1988. – 312 с.