

Задача 135

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЯВЛЕНИЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАЙКЕЛЬСОНА

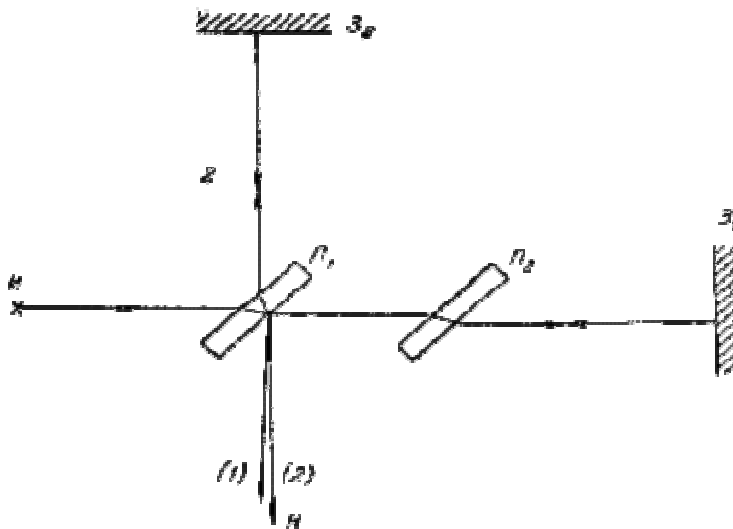
Цель работы

В настоящей задаче прибор применяется для качественного и количественного изучения некоторых основных интерференционных явлений: так называемых полос равной толщины, полос (колец) равного наклона, для измерения длин световых волн и показателей преломления различных оптических материалов.

Принципиальная схема интерферометра

Принципиальная схема интерферометра изображена на рис. 1. Пучок света от источника света I падает на полупрозрачную посеребренную светоразделительную пластинку $П_1$, где он расщепляется на два луча 1 и 2. Луч 1, продолжая и после прохождения через пластинку $П_1$ распространяться в прежнем направлении, падает на зеркало $З_1$. После отражения от этого зеркала и вторичного отражения от светоразделительной пластинки $П_1$ он распространяется по направлению наблюдения H . Луч 2 после выхода из светоразделительной пластинки достигает зеркала $З_2$, отражается от него назад и через светоразделительную пластинку $П_1$ идет также по направлению наблюдения H . (Роль пластинки $П_2$ будет разъяснена ниже.)

Легко видеть, что световые волны в лучах 1 и 2, распространяющиеся по направлению наблюдения H , будут иметь между собой разность фаз, при условии, что оптические длины плеч интерферометра не равны друг другу. Плечами интерферометра принято называть расстояния от светоразделительной пластинки до зеркал прибора.



Широкое пространственное разделение, плеч интерферометра Майкельсона делает его особенно удобным для создания разности фаз между лучами за счет введения в плечи прибора сред с различными показателями преломления.

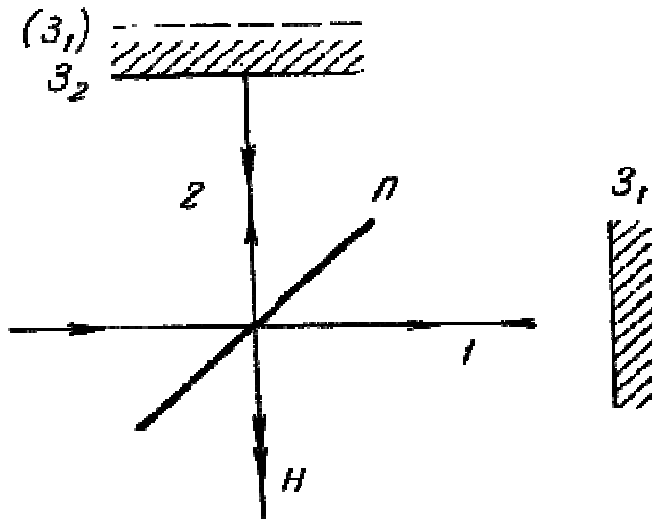
Наличие двух когерентных лучей 1 и 2 определяет возможность получения интерференционной картины в приборе Майкельсона. Эту картину можно сфотографировать (или наблюдать глазом), если поместить объектив аппарата (глаз) на пути лучей, распространяющихся по направлению H .

Заметим, что светоразделительная пластинка $П_1$, имеющая конечную толщину, сама вносит некоторую разность хода для световых волн в лучах 1 и 2, Луч 1, прежде чем пойти по направлению наблюдения, пересекает светоразделительную пластинку один раз, а луч 2 - три раза. Для компенсации этой разности хода на пути луча 1 вставлена компенсационная пластинка $П_2$, через которую этот луч пройдет два раза (рис. 1).

Существенной особенностью конструкции рассматриваемого интерферометра является возможность поступательно перемещать зеркало $З_2$, тем самым изменяя длину плеча, соответствующего этому зеркалу.

Перемещения зеркала Z_2 изменяют разность хода интерферирующих лучей. С измерениями перемещений зеркала связаны все возможности применения интерферометра как оптического измерительного прибора. Этот интерферометр дает возможность производить прямые измерения длин световых волн по сдвигу подвижного зеркала. Поэтому механизм перемещения этого зеркала представляет собой главную механическую деталь всей конструкции прибора. Этот механизм должен обеспечивать такое перемещение зеркала, при котором отражающая поверхность зеркала остается все время параллельной самой себе.

Другое зеркало Z_1 не может совершать поступательных перемещений, но зато имеются возможности изменять его наклон по отношению к зеркалу Z_2 . В частности, зеркало Z_1 может быть ориентировано и строго перпендикулярно зеркалу Z_2 . Зеркало Z_1 мы будем условно называть неподвижным зеркалом.



Легко видеть, что описанные две возможности управления зеркалами прибора обеспечивают условия для получения в интерферометре всех нужных случаев интерференции.

В самом деле, перемещения зеркала Z_2 (при условии что это зеркало строго перпендикулярно зеркалу Z_1) изменяют разность хода лучей 1 и 2, не изменяя их направлений. Это значит, что между зеркалами Z_1 и Z_2 фактически реализуется плоскопараллельный воздушный слой, толщина которого задается разностью длин плеч

интерферометра. Этот слой удобно себе представить, построив изображение зеркала Z_1 в светоразделительной пластинке Π так, как это показано пунктиром (Z_1) на рис. 2. С помощью такого слоя можно получать локализованные в бесконечности интерференционные картины так называемых полос равного наклона. Очевидно, что в этом случае на зеркала должен падать расходящийся пучок лучей, обеспечивающий широкий набор различных пространственных направлений интерферирующих лучей. Наблюдения интерференционной картины осуществляются в этом случае с помощью зрительной трубы (на рисунке не показана), наведенной на бесконечность.

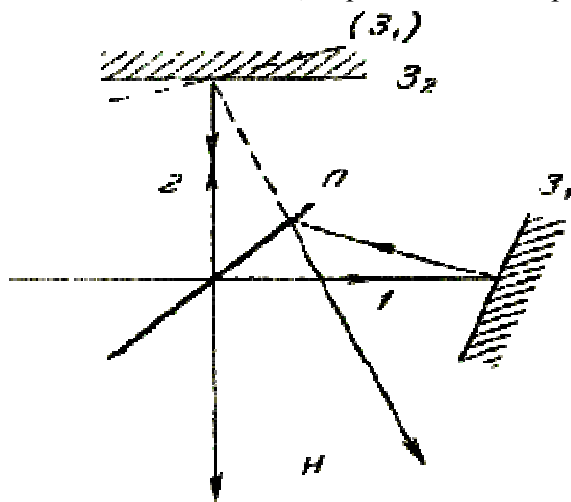
Заметим, что поступательные перемещения зеркала Z_2 позволяют использовать это зеркало и как компенсатор. Действительно, если в плечо зеркала Z_1 введен материал с показателем преломления, отличным от показателя преломления воздуха, то удлинением плеча зеркала Z_2 можно скомпенсировать возникшую разность хода интерферирующих лучей. В интерферометрах других конструкций (Жамена, Рождественского, Релея) компенсация возникшей разности хода осуществляется стеклянными пластинками.

Наконец, прямая связь разности хода световых пучков с геометрическими размерами прибора позволяет применить его и для решения обратной задачи: сравнения перемещений зеркала с длиной световой волны. Не входя здесь в подробности такой постановки вопроса, напомним, что эти соображения положены в основу создания стандартного метра, размер которого выражен через длину волны красной линии кадмия¹.

¹ В Международной системе единиц (СИ) эту линию в спектре Cd заменяют линией $\square = 6057,8021$ Angstrom спектра ${}_{36}\text{Kr}^{86}$.

В другом случае наклон зеркала Z_1 по отношению к зеркалу Z_2 создает между отражающими поверхностями этих зеркал двугранный угол. Другими словами, между зеркалами образуется воздушный клин, толщина которого определяется наклоном зеркал и разностью длин плеч интерферометра в данных условиях (упоминаемый клин легко себе представить с помощью рис. 3)². Клин позволяет реализовать условия, необходимые для наблюдения интерференционной картины полос равной толщины - в нашем случае полос, параллельных ребру клина. Эта картина локализуется на поверхности клина, т. е. на "поверхности зеркал" или вблизи них, в зависимости от толщины клина³. Для наблюдения полос равной толщины необходимо освещение его поверхностей пучком света, близким к параллельному. Наблюдение этой интерференционной картины осуществляется либо глазом, аккомодированным на поверхность клина, либо через оптическую систему, дающую слегка увеличенное изображение интерференционных полос.

Локальные (местные) искажения прямолинейной формы интерференционных полос от клина, очевидно, бывают связаны с дефектами поверхностей зеркал. Параллельные прямолинейные полосы могут быть получены только при достаточно плоских (до 1-20 длины световой волны) отражающих поверхностях зеркал.



В заключение сделанного общего обзора особенностей интерферометра Майкельсона сделаем еще краткое замечание относительно требований к источнику света, используемого в подобном приборе. В этом отношении рассматриваемый интерферометр не отличается от других интерференционных приборов. Как и в других случаях, интерференцию при большой разности хода можно наблюдать только с помощью источника монохроматического света, или, по крайней мере, с помощью источника света, имеющего линейчатый спектр с редкими и тонкими спектральными

линиями. Источник белого света допускает лишь наблюдение нескольких интерференционных полос низкого порядка. Источник белого света, используемый со светофильтром, допускает наблюдение несколько большего числа интерференционных полос.

² Ребро воздушного клина, образуемого плоскостями зеркала Z_2 и изображением в пластинке $П$ зеркала (Z_1), может и не совпадать с центром зеркала Z_2 и даже вообще находиться за пределами поверхности зеркала Z_2 . Но для того чтобы наблюдать интерференцию в белом свете, когда необходима малая разность хода между интерферирующими лучами, ребро воздушного клина должно непременно находиться в пределах поверхности зеркала Z_2 .

³ При указании локализации полос равной толщины в интерферометре Майкельсона иногда пишут, без всяких оговорок, что они расположены на поверхности зеркал. Такую формулировку нельзя понимать буквально уже потому, что на каждое зеркало падает по одному пучку света и этим пучкам до их воссоединения после вторичного прохождения через светоразделительную пластинку нет возможности встретиться и проинтерферировать. Смысл упоминаемой формулировки заключается лишь в том, что уже после вторичного прохождения через светоразделительную пластинку лучи 1 и 2 идут так, как будто бы они испытали отражение от поверхностей воздушного клина, изображенного линиями Z_2 и (Z_1) в верхней части рис. 3. Поэтому фокусировка интерференционной картины с помощью фотоаппарата или глаза действительно эквивалентна фокусировке поверхностей зеркал, которые сами, конечно, просто равномерно освещены раздельными световыми пучками.

Во всех перечисленных случаях наблюдение полос равной толщины осуществить практически гораздо легче, чем полос равного наклона, требующих строгой перпендикулярности зеркал прибора.

Наладка этого прибора (как и всех других интерферометров) начинается всегда с источником линейчатого спектра. Только убедившись в том, что достигнута хорошая видимость полос интерференции самых низших порядков, имеет смысл искать интерференционную картину в белом свете. Такой переход не труден только в том случае, если он может совершаться последовательно, путем постепенного увеличения ширины спектрального интервала, выделяемого из сплошного спектра специальным монохроматором, устанавливаемым на входе прибора. Интерференционная картина должна доводиться до самых низких порядков (при максимальной контрастности) для каждого нового значения расширяемого рабочего интервала длин волн. Тогда можно планомерно найти нулевой порядок интерференции и, переключившись на весь сплошной спектр, увидеть соответствующую ему интерференционную картину. Бессистемные поиски картины в белом свете бывают всегда совершенно бесплодны. Последнее замечание имеет силу для всех видов интерферометров.

Точно так же и переход от наблюдения полос равной толщины к наблюдению полос равного наклона (колец) можно также совершить только путем планомерных действий.

Сразу заметим, что как подготовка к наблюдению полос равного наклона, так и сами наблюдения колец, выполняемые неизбежно при значительной разности хода, осуществляются только в свете ртутной лампы.

Получив четкую картину прямолинейных полос равной толщины, надо изменением наклона зеркала Z_1 предельно расширять эти полосы, что будет соответствовать уменьшению угла клина и приближению зеркал к перпендикулярности (см. рис. 2). Только в том случае, когда все поле зрения заполнится одноцветной широкой интерференционной полосой, имеет смысл переходить к поискам полос равного наклона. Для этого надо заменить осветительную входную щель прибора матовым стеклом и перейти на наблюдения в зрительную трубу (о том, как это делается в данном приборе, сказано ниже).

Видимые в телескоп кольца могут быть расположены часто или редко, в зависимости от того, насколько толст воздушный плоскопараллельный слой, образованный зеркалами (см. рис. 2).

Очевидно, что для изменения диаметров колец надо поступательно перемещать зеркало Z_2 . При уменьшении толщины воздушного слоя диаметр каждого кольца будет уменьшаться. При увеличении толщины этого слоя - кольца будут расширяться. Изменение диаметров колец, без их деформации, возможно только при строго поступательных перемещениях подвижного зеркала. В противном случае кольца будут деформироваться в систему параллельных полос. Тогда после каждого существенного перемещения зеркала Z_2 надо корректировать форму интерференционных колец легким изменением наклона зеркала⁴.

Конструкция прибора

Используемый в практикуме интерферометр представляет собой современный учебно-демонстрационный прибор. Элементы его конструкции столь близко соответствуют принципиальной схеме прибора, что нет надобности описывать его подробно, тем более, что прибор легко обозрим через окна в его корпусе. Остановимся только на некоторых его деталях и на механизмах управления прибором.

Интерферометр работает в практикуме с двумя источниками света: ртутной лампой и лампой накаливания. Обе лампы смонтированы на ползунке, могущей скользить вдоль

⁴ Во избежание недоразумений заметим, что в других интерферометрах полосы равного наклона могут быть получены и от клиновидного слоя (см., например, описание задачи 134).

отрезка оптической скамьи, установленной вблизи прибора. Ртутная лампа включается через специальное пусковое устройство. Это же устройство имеет понижающий трансформатор для питания лампочки накаливания. перед лампами расположен на отдельной стойке первый конденсор.

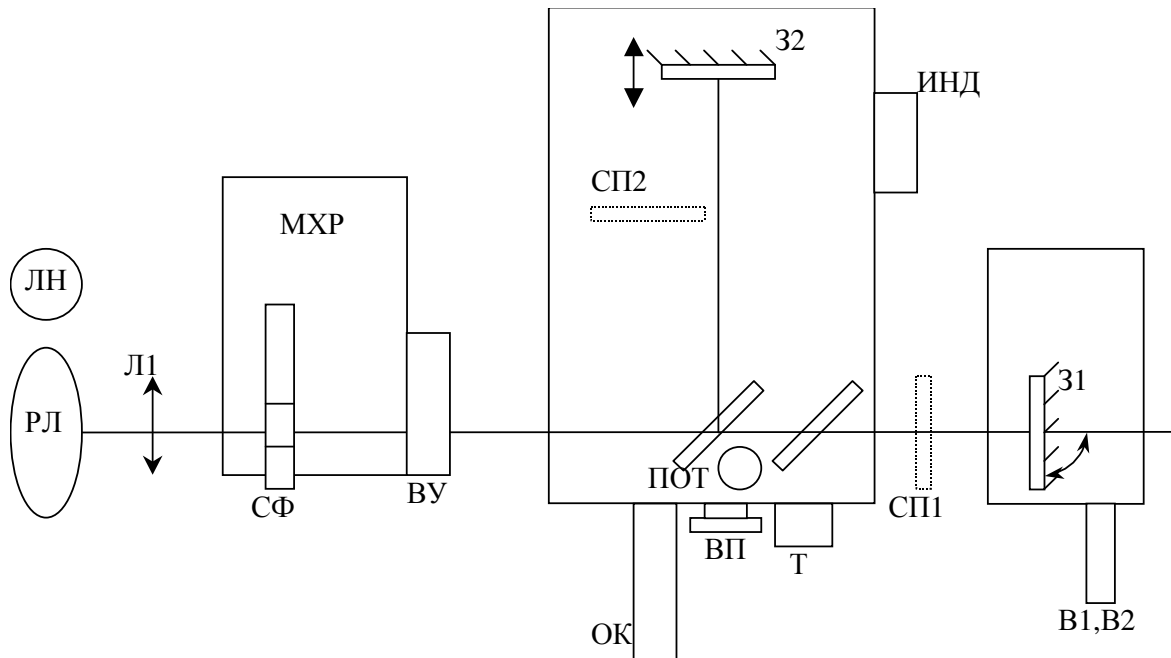


Рис. 1. Схема интерферометра Майкельсона.

РЛ – ртутная лампа; ЛН – лампа накаливания; Л1 – собирающая линза; СФ – оправа для светофильтров; ВУ – выходное устройство (щель-матовое стекло); МХР – монохроматор (в задаче не используется); 31 – неподвижное (поворотное) зеркало; 32 – подвижное зеркало; ВП – винт перемещения зеркала 31; В1, В2 – винты наклона зеркала 31; ОК – окуляр для наблюдения полос равной толщины; Т – телескоп для наблюдения полос равного наклона; ПОТ – переключатель окуляр-телескоп; СП1, СП2 – стеклянные пластины для измерения показателя преломления.

Перед входом света в систему прибора имеется подъемная стойка, на которой установлена поворотная призма. С помощью этой призмы можно, в случае необходимости, повернуть световой пучок на 90° и направить его в небольшой монохроматор, установленный на станине прибора. Если световой лучок не направляется призмой в монохроматор, то он поступает в конденсорную систему, снабженную вращающейся обоймой со светофильтрами. Смена фильтров осуществляется поворотом от руки края обоймы, через небольшое окошечко в кожухе конденсорной системы. Каждый светофильтр снабжен номером (белая цифра на обойме), поясненным на специальной табличке, расположенной около прибора.

Участок обоймы, не имеющий белой цифры номера фильтра, соответствует полному выключению фильтров и пропусканию через конденсорную систему всего светового потока от используемой в данный момент лампы. На выходе конденсорной системы имеется устройство, позволяющее установить перед входом в прибор либо раздвижную щель (для получения полос равной толщины), либо матовое стекло для получения полос равного наклона (колеи). Матовое стекло обеспечивает набор различных углов падения света на зеркала в первичном световом пучке. Замена щели на матовое стекло осуществляется поворотом от руки всей головки со щелью, как целого, на 90° .

Передвижение салазок, на которых установлено подвижное зеркало, может осуществляться двумя винтами. Один винт с крупным шагом (его видно через крышку прибора) осуществляет грубое перемещение зеркала, необходимое при существенных изменениях соотношения длин плеч интерферометра. Для измерительных целей эта винтовая подача практически не используется, и ручка вращения этого винта наружу прибора не выведена.

Другая, тонкая подача салазок осуществляется в небольшом измерительном диапазоне винтом с малым шагом. Шестерня и червячная передача для плавного вращения этого винта вынесены наружу в центральной части станины прибора.

Измерения перемещения зеркала осуществляются с помощью особого индикатора часового типа, расположенного непосредственно на салазках зеркала. Этот индикатор дает точность отсчета 0,002 мм. Он виден через окно, расположенное в правой хвостовой части прибора. Отсчет по индикатору, соответствующий возможности наблюдать интерференцию в белом свете, указан вблизи индикатора.

Ориентация зеркала Z_1 интерферометра (по отношению к подвижному зеркалу Z_2) регулируется двумя микрометрами, выступающими наружу через стенку кожуха этого зеркала. Отсчеты на этих микрометрах, соответствующие удобному наблюдению полос равной толщины, указаны на приборе.

Между центральной частью прибора, содержащей светоразделительную и компенсационную пластинки, и неподвижным зеркалом имеется столик. На этот столик помещаются подлежащие исследованию прозрачные объекты, вводимые в 1й луч интерферометра. В нашем приборе на этом столике находится стеклянный диск в металлической оправе. Этот диск поворотом за ручку, выведенную за пределы защитного прозрачного кожуха, вокруг горизонтальной оси может либо вводиться в световой пучок, падающий на неподвижное зеркало, либо выводиться из него. Второй стеклянный диск установлен на поперечной ползунке в другом плече интерферометра. Назначение обоих стеклянных дисков разъясняется в описании упражнения 5.

В передней части прибора расположена наблюдательная система интерферометра. Путем перемещения простой системы зеркал можно вести наблюдение интерференционных картин либо через телескоп (полосы равного наклона), либо через слабый окуляр (полосы равной толщины). На крышке прибора расположены надписи, указывающие, как пользоваться той или иной оптической системой. Переключение световых пучков из одной системы в другую осуществляется вращением одного зеркала, поворотная ручка которого выведена над крышкой прибора. (Некоторые неудачные детали переключения зеркал в наблюдательной части прибора в практикуме были устранены. Соответственно две излишние ручки на крышке прибора не используются.)

Порядок выполнения

Упражнение 1

Подготовка установки к измерениям, нахождение нулевого порядка интерференции в белом свете лампы накаливания

Так как в данном упражнении в качестве источника света используется лампа накаливания ЛН, то интерференционная картина может наблюдаться только при условии, что длины плеч интерферометра практически одинаковы (видны нулевой и ближайшие к нему порядки интерференции). Ширина интерференционных полос регулируется наклоном неподвижного зеркала Z_1 . Наблюдение ведется в окуляр ОК.

Для подготовки прибора к первым наблюдениям необходимо выполнить следующее.

1) Включить лампу накаливания ЛН и установить ее на оптической оси системы напротив собирающей линзы Л1. Обойму со светофильтрами СФ повернуть в положение, соответствующее отсутствию светофильтра. Поворотом выходного устройства ВУ на выходе конденсорной системы установить матовое стекло.

Изменяя положение лампы ЛН (влево-вправо) и линзы Л1 (влево-вправо и вверх-вниз) добиться уверенного прохождения светового пучка через конденсорную систему до входа интерферометра. В этом случае на матовом стекле будет наблюдаться четкое световое пятно диаметром 1-2 сантиметра.

После выполнения данного условия переключить устройство ВУ с матовой пластинки на раздвижную щель.

2) Вращая винт перемещения ВП, установить подвижное зеркало З2 в положение, соответствующее равенству плеч. Примерное значение по шкале индикатора ИНД, при котором данное условие выполнено, указано на установке.

3) Наблюдая в центральный окуляр ОК и перемещая зеркало З2 в небольшом диапазоне, попытаться найти интерференционную картину в белом свете. Она представляет собой центральную темную полосу и несколько симметрично расположенных радужных полос.

Вследствие того, что наклон зеркала З1 неизвестен, то возможна ситуация, когда обнаружить интерференционные полосы в белом свете не удастся. В этом случае следует установить зеленый светофильтр, что позволит расширить область интерференции.

Если обнаружить интерференционную картину и в этом случае не удастся, обратиться к преподавателю или дежурному лаборанту.

4) Наблюдаемая интерференционная картина может иметь вид полос произвольной ширины и ориентации. Регулировка параметров полос осуществляется с помощью микрометров В1 и В2, управляющих наклонами неподвижного зеркала З1. Поворачивая ручки микрометров на небольшие углы, проследить за изменением картины. В результате следует получить картину в виде вертикально расположенных полос с шириной, удобной для наблюдения и подсчетов.

5) Если регулировка осуществлялась при зеленом светофильтре, то убрать его и найти нулевой порядок в белом свете. Вращая винт перемещения ВП, установить темную ахроматическую полосу напротив вертикальной измерительной нити в окуляре.

Записать показания x_0 индикатора ИНД, соответствующие нулевому порядку интерференции.

В результате выполнения упражнения найдено положение зеркала З2, соответствующее нулевому порядку интерференции, получена интерференционная картина в виде полос равной толщины.

Упражнение 2 (в старом описании упражнение 4)

Измерение ширины полосы пропускания светофильтра интерференционным методом.

Первоначально в белом свете лампы накаливания ЛН наблюдается интерференционная картина в виде вертикальной ахроматической темной полосы нулевого порядка и нескольких радужных полос.

1) Обойму со светофильтрами СФ повернуть в положение, соответствующее одному из светофильтров. Вследствие сужения спектрального интервала излучения число видимых интерференционных полос возрастает.

2) Вращая винт ВП в произвольном направлении, проследить за смещением интерференционных полос и постепенным ухудшением качества картины. Вращение продолжать до тех пор, пока полосы не станут практически не различимы. Записать текущее значение x_1 индикатора ИНД.

3) Далее вращая винт в противоположном направлении, подсчитать количество N видимых интерференционных полос до их практически полного пропадания. Записать новое значение x_2 индикатора ИНД.

4) Вычислить длину волны центра полосы пропускания светофильтра. Перемещение зеркала 32 равно $\Delta x = x_2 - x_1$, при этом разность хода между пучками, отраженными от зеркал, изменится на величину, в 2 раза большую. В то же время порядок интерференции изменится на N (от $-N/2$ до $+N/2$). Следовательно, длина волны центра полосы пропускания может быть рассчитана по формуле:

$$\lambda_{cp} = \frac{2\Delta x}{N}.$$

5) Вычислить диапазон $\Delta\lambda$ пропускания светофильтра. Так как порядок, в котором пропадает интерференционная картина, равен $N/2$, то из формулы

$$\frac{\lambda_{cp}}{\Delta\lambda} = N/2$$

следует:

$$\Delta\lambda = \frac{2\lambda_{cp}}{N} = \frac{4\Delta x}{N^2}.$$

6) Аналогичные измерения и вычисления провести еще для одного-двух светофильтров (по указанию преподавателя).

Упражнение 3 (в старом описании упражнение 2)

Измерение длин волн в спектре ртути по сдвигу интерференционных полос равной толщины

1) Выключить лампу накаливания ЛН и включить ртутную лампу РЛ. Установить ее на оптической оси системы напротив собирающей линзы Л1 и провести настройку способом, предложенным в п.1) упражнения 1.

2) Ввести в пучок зеленый светофильтр, выделяющий соответствующую линию в спектре ртути. Так как ширина этой линии существенно меньше полосы пропускания светофильтра, то интерференционные полосы будут отчетливо видны даже при значительном перемещении зеркала 32.

3) Вращая винт ВП в произвольном направлении, найти величину $\Delta x_{зел}$ смещения 32, соответствующее прохождению через поле зрения окуляра ста интерференционных полос. Найти длину волны зеленой ртути $\lambda_{зел}$, пользуясь соотношением

$$\lambda_{зел} = \frac{2\Delta x_{зел}}{N},$$

где $\Delta x_{зел}$ - перемещение зеркала 32, соответствующее сдвигу картины на N полос.

4) Произвести те же измерения и расчеты для сине-фиолетовой линии ртутного спектра.

Упражнение 4 (в старом описании упражнение 3).

Измерение разности длин волн двух близких линий ртутного спектра

Интерференционная картина, полученная от двух с близких по длине волны спектральных линий, отличается следующей особенностью. Интерференционные полосы в такой картине по мере изменения разности хода между интерферирующими лучами становятся то более, то менее четкими.

Эта картина периодических пространственных "биений" есть результат суперпозиции двух интерференционных картин, с несколько различными

пространственными периодами. По измерениям периода «биений» можно получить оценку разности длин волн, создающих интерференционную картину изменяющейся четкости.

1) Установить на пути пучка света, идущего от ртутной лампы РЛ, желтый светофильтр. Установить зеркало 32 в положение, соответствующее нулевому порядку интерференции (соответствующее показание индикатора ИНД было найдено в упражнении 1). Убедиться, что при этом наблюдается четкая интерференционная картина.

2) Вращая винт ВП, найти положение зеркала 32, при котором происходит полное «смазывание» картины. Записать соответствующее показание x_1 индикатора ИНД.

Внимание! Вращение следует осуществлять в направлении, соответствующему удалению зеркала 32 от светоделительной пластины (показания на индикаторе должны возрастать)! Данное требование необходимо для выполнения последующих упражнений.

3) Продолжая вращение в том же направлении, найти положение x_2 зеркала 32, соответствующее 11-му «смазыванию» интерференционной картины. В этом случае смещение 32, отвечающее одному «смазыванию», будет равно

$$\Delta L = \frac{x_2 - x_1}{10}.$$

4) Рассчитать разность длин волн $\delta\lambda$ двух желтых линий спектра ртути, пользуясь соотношением

$$\delta\lambda = \frac{\lambda_{cp}^2}{2\Delta L},$$

где $\lambda_{cp} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} = 5780$ Ангстрем. Приведенное соотношение для расчета $\delta\lambda$ при условии $\delta\lambda \ll \lambda_{cp}$ легко получить из следующих соображений.

Первое «смазывание» интерференционной картины в случае источника, излучающего две близкие длины волны, будет наблюдаться при разности хода Δs_1 такой, что максимум для одной длины волны придется точно на минимум для другой:

$$\Delta s_1 = m_1 \lambda_1 = \left(m_1 - \frac{1}{2}\right) \lambda_2,$$

где m_1 - порядок интерференции для длины волны λ_1 .

Следующее «смазывание» произойдет при условии

$$\Delta s_1 = m_2 \lambda_1 = \left(m_2 - \frac{3}{2}\right) \lambda_2,$$

где m_2 - порядок интерференции для длины волны λ_1 .

Вычитая из 2-го уравнения первое, получим:

$$\Delta s_2 - \Delta s_1 = (m_2 - m_1) \lambda_1 = (m_2 - m_1) \lambda_2 - \lambda_2;$$

$$\delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{\lambda_2}{m_2 - m_1} = \frac{\lambda_2 \cdot \lambda_1}{\Delta s_2 - \Delta s_1} \approx \frac{\lambda_{cp}^2}{\Delta s_2 - \Delta s_1}.$$

Т.к. $\Delta s_2 - \Delta s_1 = 2\Delta L$, то получаем формулу для нахождения разности длин волн:

$$\delta\lambda = \frac{\lambda_{cp}^2}{2\Delta L}.$$

Аналогичные рассуждения можно провести и для случая наблюдения наиболее четкой интерференционной картины, когда совпадают местоположения светлых полос для обеих длин волн источника (естественно, при этом совпадают и темные полосы). Нетрудно показать, что результат будет идентичным.

Упражнение 5 (в старом описании упражнение 6).

Наблюдение интерференционных полос равного наклона (колец) и измерение по ним длины световой волны

По окончании предыдущего упражнения между плечами интерферометра имеется довольно значительная разность, что позволяет получить интерференционную картину в виде полос (колец) равного наклона.

1) Заменить в обойме СФ желтый светофильтр на зеленый. В этом случае будут наблюдаться четкие интерференционные полосы.

2) Медленно и плавно изменяя винтами В1 и В2 наклон неподвижного зеркала З1, расширить интерференционные полосы настолько, чтобы все поле зрения было занято какой-либо одной интерференционной полосой. Это будет означать, что воздушный клин между зеркалами превратился практически в плоскопараллельный воздушный слой.

3) Заменить на ВУ входную щель прибора матовым стеклом. Это можно сделать, повернув головку со щелью как целое вокруг горизонтальной оси.

4) Переключить с помощью ПОТ световой пучок в наблюдательной системе на телескоп Т для наблюдения полос равного наклона (колец). При правильной настройке в телескопе должна наблюдаться система интерференционных колец.

5) Смещая подвижное зеркало З2 в ту или иную сторону, наблюдать, как кольца в центре картины «схлопываются» или «разбегаются». Дать объяснение этому эффекту.

6) Зная по показаниям индикатора разность длин плеч интерферометра, найти порядок интерференции в центре картины. Объяснить, как изменяется порядок для колец по мере их удаления от центра.

Зарисовать интерференционную картину и рассчитать, зная разность плеч интерферометра, порядок интерференции для центрального кольца и двух ближайших к нему колец.

7) Провести измерение той или иной длины волны $\lambda_{рт}$ ртутного спектра по методике, аналогичной упражнению 3 (по указанию преподавателя).

8) Установить другой светофильтр, пронаблюдать изменение интерференционной картины и рассчитать порядок интерференции в центре. Рассчитать длину волны линии ртути (по указанию преподавателя).

Упражнение 6 (в старом описании упражнение 5).

Измерение зависимости показателя преломления стекла от длины волны интерференционным методом

Пусть в одно из двух равных плеч интерферометра дополнительно вводится стеклянная пластинка толщиной d . Очевидно, что тогда наблюдаемая в белом свете интерференционная картина исчезнет, так как между интерферирующими лучами возникнет разность хода, равная

$$\Delta s = 2d(n_{cm} - n_g) = 2d(n_{cm} - 1),$$

где n_{cm}, n_g - показатели преломления стекла и воздуха соответственно.

Для того чтобы восстановить интерференционную картину в поле зрения трубы (вновь привести к нити окуляра ахроматическую центральную интерференционную полосу), необходимо увеличить длину другого плеча интерферометра на величину

$$\Delta x = \frac{\Delta s}{2} = d(n_{cm} - 1).$$

Тогда показатель преломления стекла может быть найден по формуле:

$$n_{cm} = 1 + \frac{\Delta x}{d}.$$

Перечисленные операции и осуществляются в настоящем упражнении. Однако практическое выполнение изложенного метода нуждается в некотором искусственном приеме. Дело в том, что подвижное зеркало используемого в установке интерферометра может перемещаться не более, чем на три миллиметра. Учитывая, что $n_{cm} \approx 1.5$, легко получить, что толщина пластины d не должна превышать 1,5 мм. Однако изготовить плоскопараллельную пластинку такой толщины и диаметром в 50 мм с качеством поверхностей, пригодных для интерферометрических измерений, не представляется возможным из-за деформаций, возникающих в тонком слое стекла. С более же толстой стеклянной пластинкой нам не позволит работать наш интерферометр.

Поэтому поступают так: из стекла одного и того же сорта изготавливаются две толстые плоскопараллельные пластинки, но с разностью толщин около 1 мм. Затем, в процессе измерений, в одно плечо интерферометра вводится одна пластинка толщиной d_2 , а в другое - вторая пластинка толщиной d_1 , что эквивалентно введению в одно из плеч интерферометра пластинки толщиной $d = d_2 - d_1$. Сдвиг интерференционной картины, вызванный этим слоем стекла, уже может быть скомпенсирован удлинением второго плеча интерферометра за счет удаления подвижного зеркала. Именно так и делается в настоящем упражнении. Этим объясняется наличие в приборе двух подвижных стеклянных пластин СП1 и СП2 (на столике и на ползушке) в обоих плечах интерферометра. Толщина стеклянных пластин указана на установке.

Необходимо отметить, что при описанных интерференционных измерениях показателя преломления, выполняемых в белом свете, возникает еще следующее обстоятельство. Все сорта стекла обладают дисперсией, т.е. показатель преломления стекла зависит от длины волны света. Поэтому, передвигая подвижное зеркало З», невозможно полностью восстановить ту интерференционную картину, которая наблюдалась в белом свете, до введения в плечи интерферометра стеклянных пластинок. Вместо прежней картины в поле зрения прибора после надлежащего компенсационного сдвига подвижного зеркала будет видна целая серия близко расположенных друг к другу интерференционных картин разных цветов, соответствующих разным длинам волн, входящих в состав видимого спектра. Центральную полосу нулевого порядка для каждой такой квазимонохроматической интерференционной картины можно поочередно приводить к совпадению с нитью окуляра соответствующим перемещением подвижного зеркала З2. Измеряя по индикатору ИНД величину перемещения подвижного зеркала, можно находить значения показателя преломления для разных длин волн. Иначе говоря, интерферометр открывает возможность изучить дисперсию исследуемого стекла. Необходимо только указать каким образом определяются те длины волн, для которых производятся измерения показателя преломления.

При выполнении настоящего упражнения следует произвести следующие операции:

1) В предыдущем упражнении в телескоп Т наблюдалась система колец равного наклона, для этого плоскости зеркал З1 и З2 были установлены перпендикулярно друг другу. В настоящем упражнении следует вновь вернуться к наблюдению полос равной толщины.

Для этого необходимо переключить световой пучок с помощью ПОТ в наблюдательной системе с телескопа Т на окуляр ОК для наблюдения полос равной толщины. Используя винты В1 и В2, отрегулировать наклон неподвижного зеркала З1 так, чтобы получить четкую систему полос в свете ртутной лампы.

2) Выключить ртутную лампу РЛ и включить лампу накаливания ЛН. Установить ее на оптической оси системы напротив собирающей линзы Л1 и провести настройку способом, предложенным в п.1) упражнения 1. Так как разность плеч, установленная в

предыдущем упражнении, велика, никакой интерференционной картины в окуляр ОК не наблюдается.

3) Ввести в плечи интерферометра стеклянные пластины известных толщин (указаны на установке). В плечо неподвижного зеркала 31 пластина СП1 толщиной d_1 вводится поворотом на 90 градусов вокруг горизонтальной оси. В плечо подвижного зеркала 32 пластина СП2 толщиной d_2 вводится перемещением оправы вдоль горизонтальной направляющей. При этом по-прежнему никакой интерференционной картины в окуляр ОК не наблюдается.

4) Так как $d_1 > d_2$, то неподвижное зеркало 32 должно быть удалено от положения, соответствующего нулевому порядку в отсутствие пластин (было найдено в упражнении 1) на расстояние, равное $(d_1 - d_2) \cdot (n_{cm} - 1)$. Считая $n_{cm} \approx 1.5$, оценить примерное положение 32, при котором должен наблюдаться нулевой порядок интерференции уже в присутствии пластин. Вращая винт перемещения ВП зеркала 32, установить данное значение на индикаторе ИНД.

Так как точное значение показателя преломления стекла неизвестно, то, перемещая 32 вперед-назад относительно рассчитанного положения и ведя непрерывные наблюдения в окуляр ОК, найти интерференционную картину в белом свете лампы накаливания. Отметим, что в отличие от упражнения 1, когда в центре наблюдалась темная ахроматическая полоса, теперь в окуляр ОК будет видна система цветных полос (почему?).

5) Ввести в первичный световой пучок какой-либо из светофильтров, использованный ранее в упражнении 2. Наклоном зеркала 31 добиться четкой интерференционной картины в виде вертикальных полос ширины, удобной для наблюдения.

6) Для определения показателя преломления для длины волны пропускания используемого светофильтра (была найдена в упражнении 2) необходимо найти положение нулевого порядка интерференции. Для этого найти крайние положения зеркала 32, при котором картина смазывается (аналогично упражнению 2) и записать соответствующие показания на индикаторе ИНД. Координата нулевого порядка x_{0cm} будет соответствовать среднему арифметическому этих показаний.

7) Зная разность толщин пластин $(d_1 - d_2)$ и разность положений нулевого максимума $(x_{0cm} - x_0)$, рассчитать показатель преломления стекла для данной длины волны по формуле:

$$n_{cm}(\lambda) = 1 + \frac{x_{0cm} - x_0}{d_1 - d_2}.$$

8) Аналогичным образом найти показатели преломления стекла с использованием других светофильтров, примененных в упражнении 2.

В отчете по задаче представить:

- 1) длину волны λ_{cp} центра и ширину $\Delta\lambda$ полосы пропускания каждого из светофильтров (упражнение 2);
- 2) длины волн λ_{pm} спектра ртутной лампы (упражнения 3 и 5);
- 3) разность длин волн $\delta\lambda$ двух желтых линий в спектре ртутной лампы (упражнение 4);
- 4) показатели преломления n_{cm} стекла для длин волн пропускания светофильтров (упражнение 6)

Технические данные установки

В работе используется учебно-демонстрационный интерферометр Майкельсона марки ИЗК-452, выпускаемый нашей промышленностью. Однако в приборе произведены многочисленные переделки, необходимые для использования его в перечисленных выше упражнениях (сделан новый осветитель со сменными лампами накаливания и ртутной лампой, установлена поворотная призма, позволяющая включать в работу и выключать монохроматор, усилены пружины, управляющие обратным ходом каретки подвижного зеркала, заменен индикатор перемещений зеркала, изменена наблюдательная система прибора, установлена ползушка для введения стеклянного диска в плечо подвижного зеркала, металлические крышки футляра интерферометра, не допускавшие обзора его внутреннего устройства, заменены прозрачными и т. д). В работе используется ртутная лампа ПРК-2.

Литература

Г. С. Ландсберг, Оптика, изд. 4-е, Гостехизд1957.

Специальная литература

А. А. Майкельсон. Исследование по оптике, Госиздат, 1928.

А. А. Майкельсон. Световые волны и их применение, ОНТИ, 1934.

М. Ф. Романова, Интерференция света и ее применение, ОНТИ, 1937.

А. Н. Захарьевский, Интерферометры, Оборонгиз, 1952.

Р. Дитчберн, Физическая оптика, "Наука", 1965.

Схема использования оборудования при выполнении задачи №135

Номер упражнения	Источник света	Светофильтр	Выходное устройство	Наблюдение
1 (старое - 1)	Лампа накаливания	Нет	Матовое стекло (при настройке), затем щель	Окуляр
2 (старое - 4)	Лампа накаливания	Зеленый плюс два других	Щель	Окуляр
3 (старое - 2)	Ртутная лампа	Зеленый Сине-фиолетовый	Матовое стекло (при настройке), затем щель	Окуляр
4 (старое - 3)	Ртутная лампа	Желтый	Щель	Окуляр
5 (старое - 6)	Ртутная лампа	Зеленый плюс другой	Матовое стекло	Телескоп
6 (старое - 5)	Лампа накаливания	Как в упр.2	Щель	Окуляр