

Лабораторная работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА ОТ ДВУХ ЩЕЛЕЙ

Цель работы:

Изучить явление интерференции световых пучков, претерпевших дифракцию на двух одинаковых параллельных щелях, оценить спектральную ширину полосы пропускания фильтра, а также оценить по сдвигу наблюдаемой дифракционной картины непараллельность поверхностей стеклянной пластинки.

Общие положения

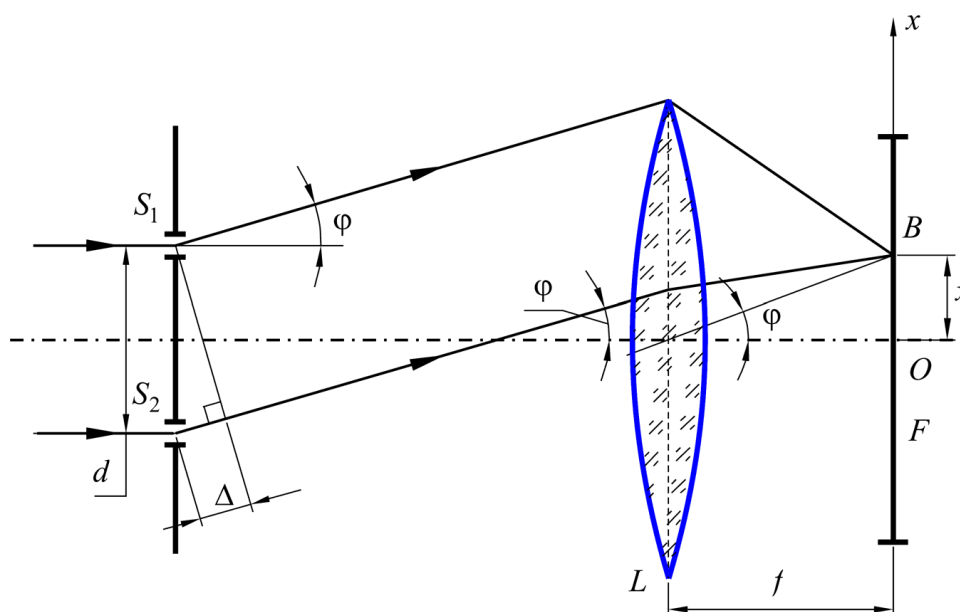
Работа содержит два независимых задания и выполняется с помощью интерференционного рефрактометра ЛИР-2. Перед выполнением работы необходимо ознакомиться с руководством к предыдущей работе в данном выпуске, а также с оптической схемой и принципом действия прибора ЛИР-2 по методическому руководству “Оптика. Выпуск 2. Рефрактометрия”.

В приборе ЛИР-2 используется стандартная схема наблюдения картин дифракции света в фокальной плоскости линзы, представленная на рис.1.

Как видно из рис.1, излучение от двух щелей можно разложить на систему параллельных лучей с переменным углом дифракции φ , сходящихся в фокальной плоскости линзы L . Положение точки схождения B любой пары параллельных лучей относительно центра дифракционной картины O вычисляется по формуле

$$x = f \operatorname{tg} \varphi \quad (1)$$

и зависит от угла дифракции φ . От угла φ зависит также и оптическая разность хода Δ между лучами от щелей S_1 и S_2 . При некотором угле дифракции φ в точке B фокальной плоскости будет наблюдаться максимум интенсивности, обусловленный интерференцией лучей от двух щелей, если разность хода для этих пучков составит целое число длин волн λ ($\Delta = m\lambda$, $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$). Если разность хода между интерферирующими лучами от щелей составит полуцелое число длин волн ($\Delta = (2m + 1)\lambda/2$), то в точке B будет минимум.



**Рис.1. Ход лучей, дифрагирующих по углом φ на щелях S_1, S_2 :
 d - расстояние между щелями; Δ - оптическая разность хода между соответственными лучами от двух щелей S_1 и S_2 ; L - собирающая линза; f - фокусное расстояние линзы; F - фокальная плоскость линзы**

Таким образом, в фокальной плоскости F образуется дифракционная картина от совместного действия волн от двух щелей, представляющая собой чередование светлых (максимумов) и темных (минимумов) интерференционных полос. При этом, чем дальше от главного фокуса располагается точка B , тем большей разностью хода обладают лучи, приходящие в эту точку, и тем больший порядок дифракции m наблюдается в этой точке.

Приведенные рассуждения справедливы для монохроматического излучения с длиной волны λ . Если излучение не является монохроматическим, а лежит в спектральном интервале $\Delta\lambda$, то возможно перекрывание в точке B , например, светлых полос соседних порядков m и $m+1$ для двух различных длин волн λ' и λ , лежащих в интервале $\Delta\lambda$, если

$$\Delta = m\lambda' = (m+1)\lambda. \quad (2)$$

В результате в области больших порядков m дифракционная картина теряет контрастность. Тем не менее даже при освещении видимым белым светом с достаточно большим $\Delta\lambda$ несколько интерференционных полос, соответствующих низким порядкам интерференции, можно наблюдать непосредственно глазом.

Приборы и принадлежности

Так как используемый в работе прибор ЛИР-2 предназначен для определения показателя преломления жидких сред и имеет ненужную для данной работы термокамеру, то последняя из прибора удалена.

Используются следующие принадлежности, выдаваемые лаборантом:

- окно-держатель, помещаемый в корпус прибора и служащий для крепления на нем оптических элементов, вводимых в дифрагирующие пучки света;
- поляридная пленка в кадровой рамке;

- поляроидная пара, представляющая собой две поляроидные пленки в разных половинах кадра со скрещенной ориентацией оптических осей;
- окулярный светофильтр;
- исследуемая стеклянная пластинка.

ВНИМАНИЕ !!!

НЕ ПРИКАСАЙТЕСЬ К ЗЕРКАЛЬНЫМ ЩЕЛЯМ ПРИБОРА ЛИР-2 !

Задание 1. Наблюдение картины дифракции света на двух щелях

1.1. Включите прибор в сеть ~ 220 В.

1.2. Включите осветительную лампу прибора тумблером, расположенным в нижней части прибора. Убедитесь, что корпус прибора пуст. При этом в окуляр должны наблюдаться верхняя и нижняя дифракционные картины, причем нижняя картина должна состоять в своей центральной части из четких темных и светлых вертикальных интерференционных полос.

1.3. Совместите верхние подвижные интерференционные полосы с нижними неподвижными полосами вращением микрометрического винта компенсатора. При этом показание по грубой шкале на измерительном винте будет вблизи начала шкалы прибора.

1.4. Перекройте путь лучам от одной из щелей с помощью экрана или просто листочком бумаги. Интерференционные полосы исчезнут, освещенность наблюдаемого в окуляр поля уменьшится. Откройте путь лучам от первой щели и перекройте лучи от второй щели. Сравните наблюдаемую картину с предыдущей. Объясните эти наблюдения.

1.5. Аккуратно навесьте на держатель рамку с поляроидом, пользуясь вырезами, и установите его в прибор на пути пучков от щелей. Убедитесь, что интерференционные полосы, хотя и несколько искажены из-за несовершенства поляроидной пленки, достаточно отчетливо наблюдаются. Замените поляроид на поляроидную пару. Сравните наблюдаемую картину с предыдущей, а также с той, которая получалась при выполнении пункта 1.4. Объясните эти результаты наблюдения.

1.6. Освободите корпус прибора. Сосчитайте число полос m_0 , видимых справа или слева от центральной полосы первого порядка, а затем посмотрите на ту же картину через светофильтр, поместив его между глазом и окуляром. Понемногу сдвигая поворотом винта компенсатора верхнюю картину, убедитесь, что число видимых через светофильтр полос увеличилось. Запомните это число m_1 .

Из всего непрерывного спектра белого излучения глаз, в соответствии со спектральной кривой чувствительности, регистрирует излучение хотя и в относительно широком, но конечном интервале длин волн $\Delta\lambda$ (см. рис. 2). Можно считать, что глазом фильтруется излучение в эффективной полосе длин волн $\Delta\lambda \cong 100$ нм на уровне относительной чувствительности 50% в окрестности длины волны $\lambda \cong 550$ нм. Такое излучение обладает хотя и малой, но конечной длиной когерентности.

$$l_c = \lambda^2 / \Delta\lambda . \quad (3)$$

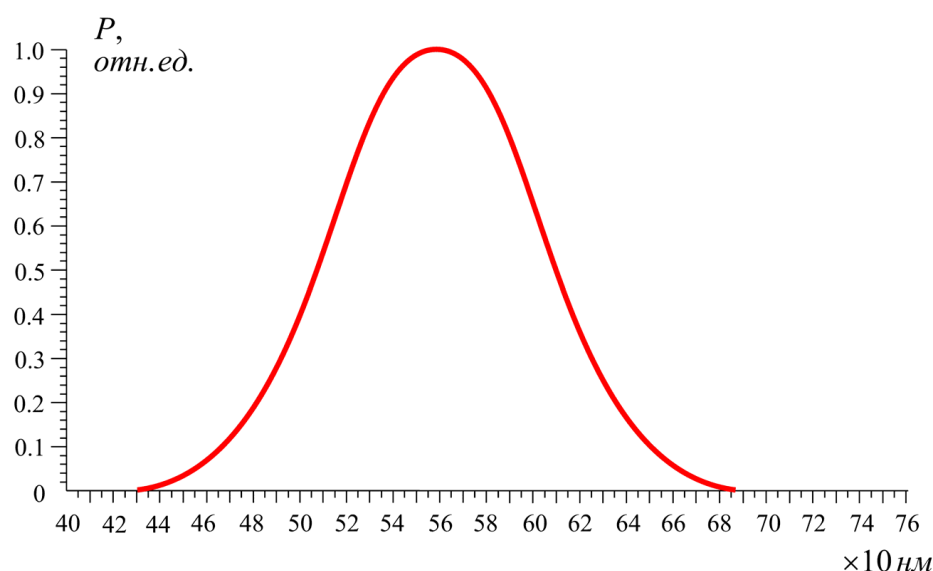


Рис.2. Примерный вид спектральной кривой чувствительности глаза

Как известно, интерференционные полосы возникают в тех областях, где оптическая разность хода между интерферирующими лучами не превышает длину когерентности. Так как при переходе от одной полосы к другой, соседней, разность хода изменяется на одну длину волны, то число полос в интерференционной картине, наблюдаемой в свете с конечной длиной когерентности, ограничено и примерно равно

$$m = \lambda / \Delta\lambda . \quad (3)$$

Оцените это число для белого света, воспринимаемого глазом, и сравните с тем, что вы наблюдали. Оцените ширину полосы $\Delta\lambda$ светофильтра, предварительно узнав среднюю длину волны пропускания светофильтра у преподавателя.

Задание 2. Оценка непараллельности поверхностей стеклянной пластинки

Метод измерения

Если в дифрагировавшие лучи помещена прозрачная пластинка, грани которой не вполне параллельны, она изменяет направление распространения света, в результате чего точка, в которую световые волны приходят с нулевой разностью хода $\Delta = 0$ и в которой образуется нулевой главный максимум, смещается от первоначального положения на главной оптической оси на некоторое расстояние δx (см. рис.3)

$$\delta x = f \operatorname{tg}(\beta - \alpha), \quad (4)$$

где f - фокусное расстояние линзы, β - угол преломления на выходе из пластинки, α - угол между поверхностями пластинки. Очевидно, и вся интерференционная картина смещена относительно картины без пластинки на то же расстояние.

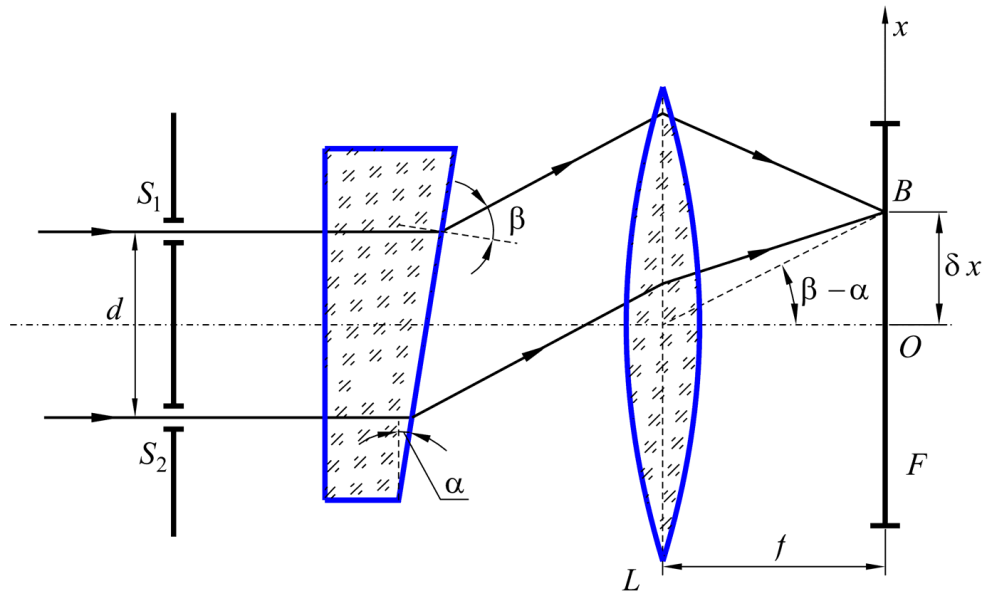


Рис.3. Сдвиг дифракционной картины прозрачной неплоскопараллельной пластинкой

Когда пластинка перекрывает только верхнюю часть светового потока от щелей, нижняя его часть образует дифракционную картину с главным нулевым максимумом на главной оптической оси (рис.1). Разность хода между нижними лучами, попадающими в данную точку фокальной плоскости на расстоянии δx от главной оси при $\varphi = \beta - \alpha$ будет равна

$$\Delta_0 = d \sin(\beta - \alpha). \quad (5)$$

Следовательно, сдвиг интерференционной картины пластинкой происходит на число полос, определяемое из условия $\Delta_0 = m\lambda$. Так как углы α и β малы, то можно перейти от значений синуса к значениям его аргумента, выраженного в радианах. Тогда преломление на выходе из пластинки можно описать соотношением $\beta = n\alpha$, где n - показатель преломления стекла. Следовательно, соотношение (5) принимает форму

$$\Delta_0 = d(\beta - \alpha) = d(n\alpha - \alpha) = d(n-1)\alpha. \quad (6)$$

Отсюда число полос, на которое сдвигается картина, равно

$$m = \frac{d(n-1)\alpha}{\lambda}. \quad (7)$$

Очевидно, сосчитав число полос, на которое сдвигается интерференционная картина, можно оценить искомый угол α по формуле, вытекающей из предыдущей:

$$\alpha = \frac{m\lambda}{d(n-1)}. \quad (8)$$

Весьма важным для описанного способа измерения угла α оказывается то, что значение оптической разности хода Δ_0 остается постоянным в первом порядке малости при небольшом наклоне передней поверхности пластинки относительно плоскости, перпендикулярной к главной оси. Как видно из рис. 4, полный угол отклонения луча δ пластинкой складывается из угла отклонения передней гранью ($i - \psi$) и угла

отклонения задней гранью ($\eta - \theta$), где i, θ - углы падения, ψ, η - углы преломления на первой и второй гранях, соответственно. Нетрудно проверить, что $\psi + \theta = \alpha$, так что $\delta = i + \eta - \alpha$. Но по закону преломления при падении под малыми углами $\psi = ni$, $\theta = m\eta$, откуда $\delta = i + \eta - \alpha = ni + m\eta - \alpha = (n-1)\alpha$ **независимо от угла наклона i пластинки** в первом порядке малости. Следовательно, величина δx сдвига дифракционной картины пластинкой при поворотах пластинки на углы $i \cong 0.1 \text{ rad} \cong 5 \text{ grad}$ не меняется с точностью до $i^2 \cong 0.01 \cong 1\%$.

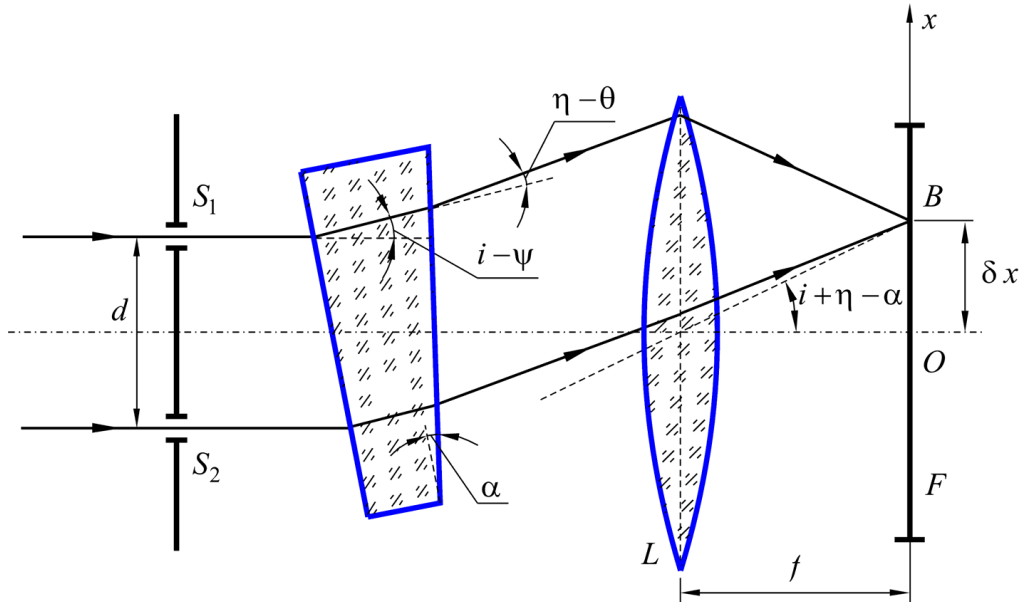


Рис.4. Сдвиг дифракционной картины слегка наклоненной прозрачной пластинкой

За сдвигом интерференционной картины можно проследить не только по изменению направления распространения дифрагировавших пучков. Можно также рассмотреть изменение номера интерференционной полосы, образованной интерферирующими пучками с одним и тем же фиксированным направлением распространения. (Напомним, что нулевой полосой или полосой нулевого порядка считается та полоса, которая образуется при нулевой разности хода между интерферирующими пучками). Прозрачная пластина на пути двух дифрагировавших пучков от двух щелей вносит оптическую разность хода между этими пучками, равную $\delta l(n-1)$, где δl - геометрическая разность толщин пластинки в точках, отделенных друг от друга расстоянием d между пучками. Если угол между гранями пластинки в сечении, перпендикулярном к щелям, равен α , то $\delta l = \alpha d$. Таким образом, с учетом разности хода, обусловленной дифракцией на углы φ , полная разность хода между пучками от двух щелей равна

$$\Delta' = d \sin \varphi + \alpha d (n-1). \quad (10)$$

Следовательно, на месте нулевой полосы исходной интерференционной картины без пластинки, то есть в направлении $\varphi = 0$, в присутствии пластинки оказывается полоса с номером

$$m = \Delta' / \lambda = \frac{\alpha d (n-1)}{\lambda}. \quad (11)$$

Эта формула в точности соответствует выведенной ранее формуле (7).

Порядок измерений

1. Включите прибор в сеть ~ 220 В.
2. Включите лампочку прибора тумблером, расположенным в нижней части прибора. Убедитесь, что корпус прибора пуст. При этом в окуляр должны наблюдаться верхняя и нижняя дифракционные картины, причем нижняя картина должна состоять в своей центральной части из четких темных и светлых вертикальных интерференционных полос.
3. Установите вращением микрометрического винта компенсатора хорошо запоминаемую картину. Например, можно крайнюю правую полосу верхней подвижной части совместить с центральной полосой нижней. Сделайте отсчет N_1 , по шкалам на стебле и барабане микрометра.
4. Закрепите исследуемую стеклянную пластинку на держателе с помощью имеющихся на нем зажимов так, чтобы стекло перекрывало только верхнюю половину окна держателя. Установите держатель с пластинкой в прибор и отрегулируйте положение пластинки, сдвигая ее вверх и вниз так, чтобы нижняя картина формировалась лучами, проходящими под пластинкой, а верхняя лучами через нее. Верхняя картина окажется сдвинутой по сравнению с установленной без пластинки.
5. Восстановите вращением винта компенсатора то характерное расположение полос, которое вы установили в отсутствие пластинки в пункте 3, затем снимите отсчет N_2 .
6. Оцените величину угла между гранями пластинки α по формуле (8). Расстояние d между щелями равно 14 мм. Число полос m , на которое смещает картину пластинка, определяется соотношением

$$m = |N_1 - N_2|k, \quad (9)$$

где k имеет смысл числа полос, на которое смещается картина при повороте измерительного барабана на одно его деление. Это число приблизительно равно $1/30$, но будет лучше, если вы определите его самостоятельно. Заметим, что в общем случае число полос, на которое сдвигается интерференционная картина, не целое, а дробное.

Содержание отчета о работе

Протокол должен содержать оптические схемы из рис.1 и рис.3 и рабочие формулы.

Результатом выполнения задания 1 должны быть: краткие выводы из наблюдений по пунктам 1.4 и 1.5, оценка по наблюдаемым данным ширины спектральной полосы пропускания светофильтра, а также зарисовки наблюдаемых интерференционных картин и вида поля зрения в окуляре.

Результатом выполнения задания 2 должна быть оценка малого угла α между поверхностями прозрачной пластинки, выраженная в различных угловых единицах: радианах, градусах, минутах, секундах.

Контрольные вопросы

1. Как зависит положение максимума освещенности при дифракции света от щели в фокальную плоскость линзы от положения щели и от направления падающего пучка?
2. Почему при освещении щелей светом с взаимно ортогональной поляризацией интерференция отсутствует?
3. Чем ограничивается число наблюдаемых полос в двухлучевой интерференционной картине?
4. Чем вызываются смещения интерференционных полос?

Литература

1. Руководство к лабораторным работам по курсу общей физики. Оптика. Выпуск 2. Рефрактометрия. Изд. Саратов. ун-та, 1988.
2. Руководство к лабораторным работам по курсу общей физики. Оптика. Выпуск 4. Интерференция и дифракция света. Изд. Саратов. ун-та, 1988.
3. Лансберг Г. С. Оптика. - М.: Наука, 1976. с.191.
4. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. - М.: Наука, 1970. с.292.