

преломляющего угла бипризмы при фиксированных положениях осветителя, бипризмы и окуляр-микрометра?

11. Как зависит ширина интерференционной полосы от длины световой волны при фиксированных положениях осветителя, бипризмы и окуляр-микрометра?

12. Как используется линза в данной лабораторной работе? Какая величина измеряется в опыте с линзой?

504.-1. ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВЫХ ВОЛН ПРИ ПОМОЩИ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

504.1. Цель работы

Наблюдение колец Ньютона, определение радиуса кривизны линзы и длин волн света видимого диапазона.

504.2. Разделы теории

Интерференция света в тонких пленках [1. Гл.22, §174]; [2. Гл.XVII, §122]; [3. Гл.4, 4.3].

504.3. Приборы и принадлежности

Поляризационный микроскоп LABOVAL ро1, микрометр, исследуемая линза, светофильтр.

504.4. Вывод расчетной формулы

Перераспределение интенсивности излучения в пространстве в результате наложения когерентных волн называют интерференцией.

Рассмотрим систему стекло–воздух–стекло. Пусть из стекла с показателем преломления n_1 распространяется плоская волна I (рис. 504.1). Вследствие отражения от верхней поверхности воздушного слоя, а также преломления и последующего отра-

жения световой волны от нижней поверхности воздушного слоя образуются две волны I' и $2'$. Толщина воздушного слоя $AB = d_k$, а показатель преломления $n = 1$.

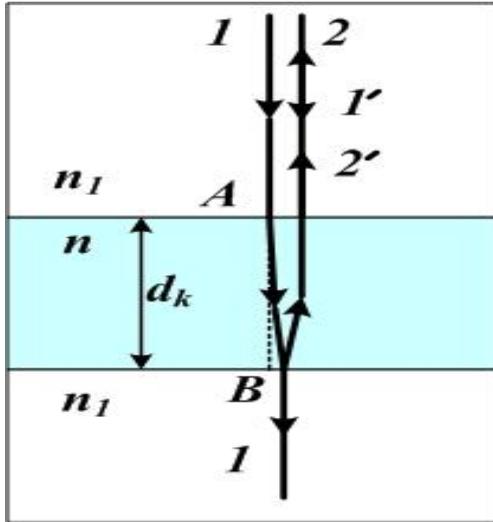


Рис. 504.1

Для определения положения светлых полос необходимо найти оптическую разность хода лучей I' и $2'$. Интерференционный максимум наблюдается, если разность хода между лучами равна

$$\Delta = k\lambda, \quad (504.1)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$

В точке B происходит отражение света от подложки, имеющей показатель преломления $n_1 > n$, поэтому при вычислении оптической разности Δ хода учтем дополнительную разность фаз π , добавляя $\lambda/2$ или вычитая $\lambda/2$.

Вычислим разность хода лучей I' и $2'$:

$$\Delta = 2|AB| \pm \frac{\lambda}{2}.$$

$$\Delta = k\lambda = 2d_k \pm \frac{\lambda}{2}. \quad (504.2)$$

Наблюдение колец Ньютона возможно с помощью установки, представленной на рис.504.2.

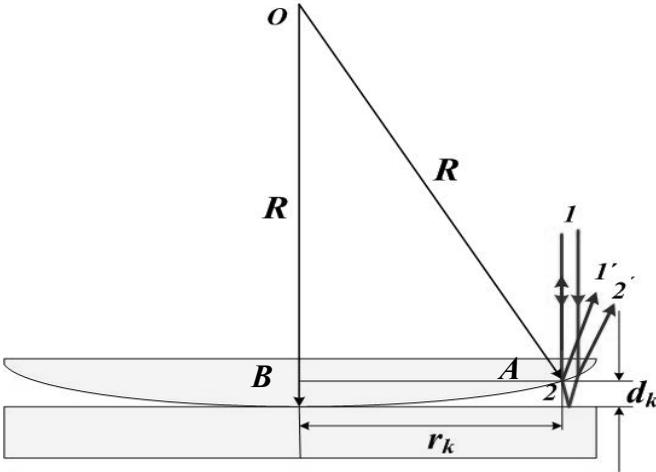


Рис. 504.2

Кольца Ньютона наблюдается, если на плоскую зеркальную поверхность положить плосковыпуклую линзу выпуклой стороной вниз и направить на ее плоскую поверхность падающий нормально параллельный пучок лучей. Лучи $1'$ и $2'$ являются когерентными и при сложении будут усиливать или ослаблять друг друга в зависимости от разности хода Δ , которая определяется толщиной воздушного зазора d_k . Воздушный зазор можно считать тонкой пленкой между стеклянной линзой и стеклянной подложкой аналогично системе на рис.504.1. При нормальном падении лучей условие усиления принимает вид

$$\Delta = k\lambda = 2d_k + \frac{\lambda}{2}, \quad (504.3)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$,

а условие ослабления

$$\Delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} = 2d_k + \frac{\lambda}{2}, \quad (504.4)$$

где $k = 0, 1, 2, \dots$.

Так как измерить толщину воздушного зазора трудно, то ее обычно исключают, выражая через радиусы колец. Для этого рассмотрим треугольник OAB (рис. 504.2):

$$R^2 = r_k^2 + (R - d_k)^2.$$

Учитывая, что толщина d_k очень мала по сравнению с радиусом кривизны линзы R , пренебрегаем d_k^2 и находим

$$d_k = \frac{r_k^2}{2R}.$$

Подставляя d_k в формулы (504.3) и (504.4), находим выражения для радиусов светлых колец

$$r_k = \sqrt{R(2k-1) \frac{\lambda}{2}}, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (504.5)$$

и темных колец

$$r_k = \sqrt{R k \lambda}, \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

если наблюдения производятся в отраженном свете.

Формула (504.5) является расчетной при выполнении данной работы. Если измерить радиус светлого кольца r_k , то при заданной длине волны из выражения (504.5) можно вычислить радиус линзы R и, наоборот, при заданном R , можно определить длину волны.

На практике невозможно добиться идеального соприкосновения сферической линзы и плоской пластинки в одной точке, поэтому более правильный результат получится, если вычислить R по разности радиусов двух колец. Обычно измеряют радиусы двух светлых колец r_m и r_k , для которых из формулы (504.5) можно записать выражение

$$r_m^2 - r_k^2 = R\lambda(m - k).$$

Отсюда получаем расчетные формулы:

$$R = \frac{r_m^2 - r_k^2}{(m - k)\lambda}; \quad (504.6)$$

$$\lambda = \frac{r_m^2 - r_k^2}{(m - k)R}. \quad (504.7)$$

504.5. Описание установки и методики измерения

Наблюдение и измерения колец Ньютона в отраженном свете выполняются с помощью микроскопа LABOVAL pol (рис. 504.3).

На предметный столик 1 помещается держатель с полированной пластинкой из черного стекла. К пластинке при помощи трех винтов и пружинного кольца прижимается исследуемая линза 2. Между окуляром и объективом микроскопа в оптической трубе 4 расположен opak-иллюминатор – специальное устройство для освещения объекта при работе в отраженном свете. Внутри opak-иллюминатора находится полупрозрачная стеклянная пластина P , наклоненная под углом 45^0 к оптической оси микроскопа. Свет от источника 3, пройдя светофильтр 6, частично отражается от пластины P , проходит через объектив микроскопа и попадает на исследуемый объект. Лучи, отраженные от линзы 2 и пластинки, наблюдаются через окуляр-микрометр 7, установленный на оптической трубе 4. В фокальной плоскости окуляр-микрометра расположены неподвижная шкала с делениями от 0 до 8 мм (цена деления 1 мм) и подвижное перекрестие и отсчетный индекс в виде двойной риски (рис. 504.4). Перекрестие и двойная риска перемещаются в поле зрения окуляра относительно неподвижной шкалы путем вращения микрометрического винта окуляр-микрометра. Шаг винта равен 1 мм, т.е. при совершении одного полного оборота барабана двойная риска и перекрестие переместятся на одно деление неподвижной шкалы. Перекрестие служит для наведения на объект, а двойная риска – для отсчета целых миллиметров (полных оборотов барабана микрометрического винта). Шкала барабана разделена на 100 частей; поворот барабана на одно деление соответствует перемещению перекрестия на 0,01 мм.

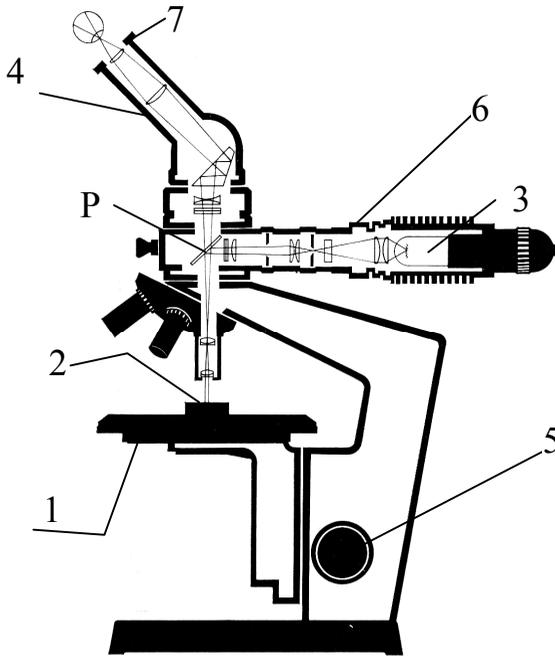


Рис. 504.3

Полный отсчет по шкалам окулярного микрометра складывается из отсчета по неподвижной шкале и отсчета по барабану винта. Отсчет по неподвижной шкале в поле зрения окуляра определяется положением двойной риски, т.е. числом полных делений, на которые переместилась двойная риска, считая от нулевого деления шкалы. Отсчет по барабану микрометрического винта определяется делением шкалы барабана, находящимся против индекса-штриха, нанесенного на неподвижном цилиндре.

На рис. 504.4 показан отсчет по шкалам микрометра 4,25 мм (двойная риска расположена между 4 и 5 делениями неподвижной шкалы, а индекс-штрих находится против деления 25 шкалы барабана).

В поле зрения микрометра в монохроматическом свете

видны чередующиеся светлые и темные кольца. Наведение на резкость изображения колец производится винтом 5 (рис. 504.4).

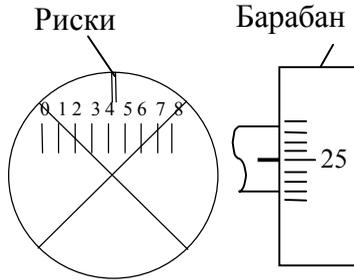


Рис. 504.4

Для определения радиуса кривизны линзы измеряют несколько пар радиусов светлых (темных) колец (r_m , r_k). Длина волны λ считается известной и берется из таблицы длин волн. Затем по формуле (504.6) вычисляется радиус кривизны линзы R .

Используя кольца Ньютона, можно на практике определить длину волны падающего излучения, если взять линзу с известным радиусом кривизны. Измерения длины световой волны аналогичны измерению радиуса кривизны линзы.

Освещая ту же систему монохроматическим светом с другим значением λ_2 , измеряют радиусы тех же светлых колец r_m и r_k и вычисляют длину волны λ_2 , используя формулу (504.7).

504.6. Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1. Включить блок питания GPR-0830 HD (или SPS1230) кнопкой POWER. Поворачивая ручку VOLTAGE COARSE, выставить рабочий режим лампы микроскопа $I=2,4$ А; $U=7,5$ В.
2. Вращая барабан микрометра, установить риски подвиж-

ной сетки окуляр-микрометра на центр шкалы (цифра 4).

3. Найти систему колец Ньютона невооруженным глазом. Темное пятно в точке соприкосновения линзы и пластины хорошо заметно. Размер темного пятна зависит от усилия, с которым линза прижата к пластине. Если оно велико, следует аккуратно ослабить прижимные винты держателя. Расположить на предметном столике микроскопа держатель с исследуемой линзой так, чтобы темное пятно точки соприкосновения находилось приблизительно в центре светлого пятна, рассматриваемого через объектив.

4. Наблюдая в окуляр, сфокусировать изображение колец Ньютона, вращая винт 5 микроскопа (см. указатель на штативе). Крест нитей окуляр-микрометра должен проходить через середину центрального темного пятна интерференционной картины – системы радужных колец. В случае отсутствия совпадения центров аккуратно изменить положение держателя с линзой на предметном столике.

5. Вставить светофильтр в щель 6 (см. рис. 504.3) и зафиксировать кольцом. В монохроматическом свете наблюдают светлые и темные кольца (рис. 504.5,а).

6. Вращая барабан микрометра против часовой стрелки, установить перекрестие на середину какого-либо достаточно удаленного от центра, но еще отчетливо видимого темного (светлого) кольца (рис. 504.5,б). Центральное темное пятно не учитывается при подсчете порядков (номера) наблюдаемых колец.

Для устранения ошибок, возникающих из-за люфта в микрометрическом винте, перекрестие нитей всегда должно подводиться с одной стороны (движение барабана по часовой стрелке).

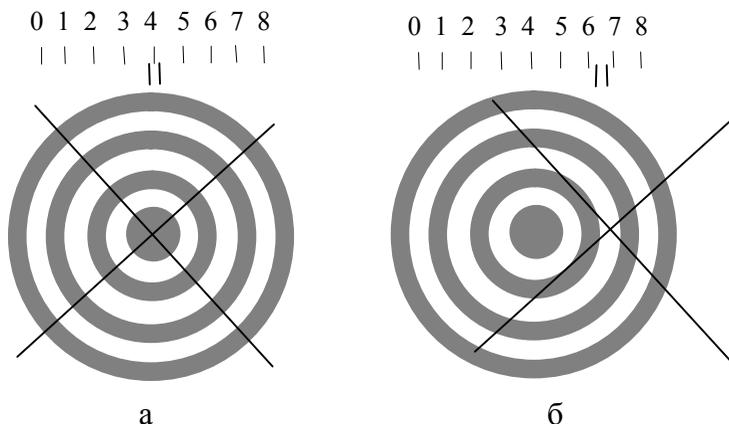


Рис. 504.5

7. Перемещая перекрестие с помощью барабана микрометра влево, последовательно устанавливая крест нитей на середины темных (светлых) колец и снимая соответствующие показания со шкал микрометра.

После прохождения через центральное черное пятно продолжить измерения, записывая возрастающие номера колец и соответствующие показания микрометра. Измерения проводить до того же порядка кольца, с которого начинали справа. Полученные результаты занести в таблицу.

8. Понизить напряжение на блоке питания GPR-0830 HD (или SPS 1230) до нуля и выключить блок питания.

9. По данным таблицы произвести расчеты радиуса линзы (R).

Радиусы близких к центру 2–3 колец рекомендуется не использовать при расчетах, так как эти радиусы дают самую большую относительную погрешность измерения.

По разности показаний микрометра определить диаметры колец. В поле зрения окуляра микроскопа наблюдается увеличенное изображение интерференционной картины. Истинное значение диаметра кольца получаем умножением полученного результата измерений на цену деления окулярной шкалы (цена деления указана на микроскопе, определяется при измерениях

на объект-микрометре).

Рассчитать радиус линзы R по формуле (504.6) для нескольких пар колец. Следует выбирать r_m и r_k таким образом, чтобы числа m и k были возможно дальше друг от друга (например, 4 и 7, 5 и 8). Из полученных значений R_i рассчитать среднее арифметическое значение R .

10. Построить график зависимости r_m^2 от номера m кольца. Наклон прямой определяется радиусом кривизны R и длиной волны света (измерения выполняются в монохроматическом красном свете $\lambda = 700$ нм).

11. Проанализировать полученные результаты измерения радиуса линзы, оценить погрешности измерений.

12. По формуле (504.7) определить длины волн других цветов в интерференционной картине (по указанию преподавателя). Для этого провести дополнительные измерения по пп. 5–7, считая известным радиус кривизны линзы R . Проанализировать полученные результаты, вычислить погрешность $\Delta\lambda$.

Контрольные вопросы

1. Чем отличаются интерференционные картины при наблюдении колец Ньютона в отраженном и проходящем свете?

2. Почему при удалении от центра линзы расстояние между кольцами Ньютона становится меньше?

3. Когда и почему кольца Ньютона оказываются окрашенными?

4. Какие источники волн называют когерентными? Какие волны называются когерентными?

5. Как изменится интерференционная картина, если воздушную прослойку заполнить жидкостью с показателем преломления стекла ($n > n_{ст}$)?

6. В каком случае и почему учитывается изменение разности хода двух лучей от когерентных источников на $\lambda/2$?

7. При каких разностях фаз две когерентные волны при наложении дадут максимум, при каких – минимум?

504.-2. НАБЛЮДЕНИЕ КОЛЕЦ НЬЮТОНА С ПОМОЩЬЮ ВИДЕООКУЛЯРА DCM-310

Цель работы

Измерение радиусов колец с использованием программы «ScopePhoto».

Приборы и принадлежности

Поляризационный микроскоп LABOVAL pol, видеоокуляр DCM 310, ПК, объект-микромметр, держатель с исследуемой линзой, светофильтр.

Объект-микромметр представляет собой металлическую пластинку с отверстием в центре. В отверстие помещена стеклянная вставка с измерительной шкалой длиной 1 мм, разделенной на 100 частей, т.е. **цена деления шкалы объект-микромметра – 0,01 мм.**

Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

*Определение увеличения оптической системы
«Объектив–видеокамера».*

1. Включить блок питания GPR–0830 HD кнопкой POWER. Поворачивая ручку VOLTAGE COARSE, выставить рабочий режим лампы микроскопа $U=6$ В.

2. Положить на предметный столик микроскопа **объект-микромметр** так, чтобы надпись цены деления была сверху, а его стеклянная вставка находилась в центре светлого пятна рассматриваемого через объектив.

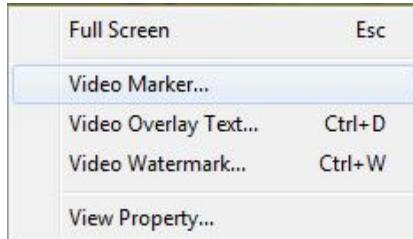
3. Запустить программу «ScopePhoto», используя ярлык «ScopePhoto» на рабочем столе ПК. В открывшемся окне нажать ссылку «ScopeTek DCM310» – камера включена, окно с видеоизображением открыто.

4. На панели инструментов выбрать масштаб видеоизображения 50 %.

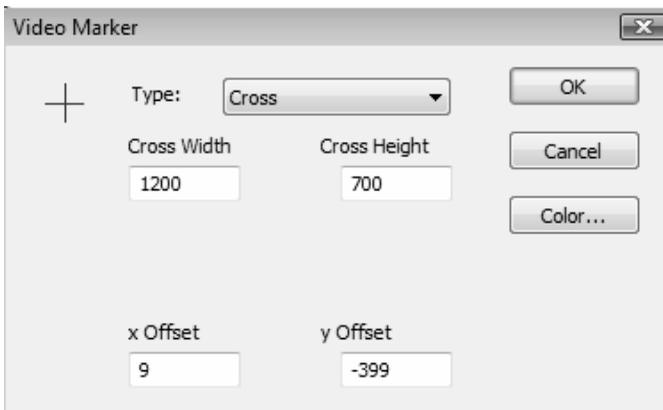


5. Фокусируя микроскоп винтом 5 (см. метку-указатель на штативе, рис. 504.4 лаб. раб. №504.-1), получить четкое изображение шкалы объект-микрометра. Аккуратно перемещая объект-микрометр по предметному столику микроскопа, добиться расположения изображения шкалы в центре окна.

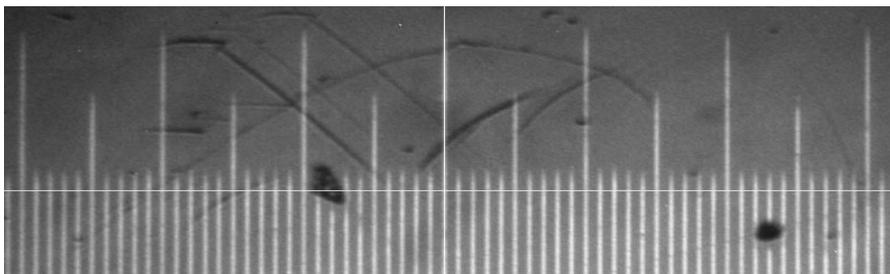
6. Выбрать масштаб видеоизображения 100 %, навести курсор на видеоизображение. Нажать правую клавишу мыши. В появившемся меню выбрать пункт “Video Marker”



В открывшемся окне выбрать тип маркера “Cross” (“Перекрестие”) и установить указанные ниже параметры: размер и координаты центра перекрестия:



Поворотами предметного столика или изменением положения объект-микрометра на предметном столике расположить шкалу так, чтобы один из её штрихов совмещался с вертикальной линией перекрестия. Перекрестие можно переместить, изменив координаты его центра в “Video Marker” (программа принимает только нечетные значения координат).

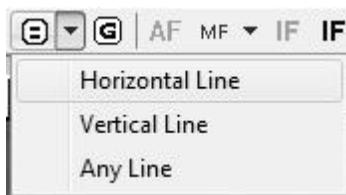


7. Определение линейного увеличения оптической системы «Объектив/видеокамера».

7.1. Измерив на видеоизображении расстояние между делениями шкалы в пикселях, а также зная истинное расстояние между ними в миллиметрах и увеличение объектива, определим увеличение системы. Масштаб видеоизображения 100 %.

Измерение на видеоизображении расстояния между делениями шкалы:

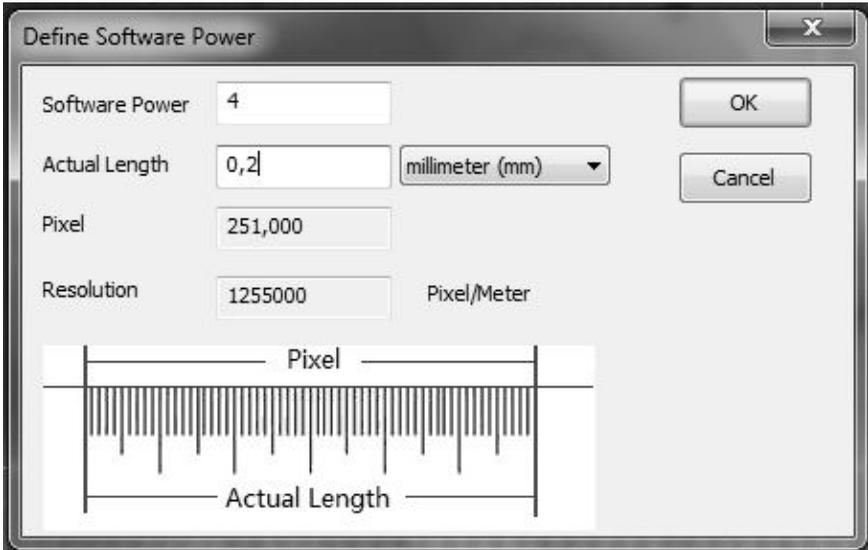
7.2. Выбрать пункт меню “Horizontal Line”:



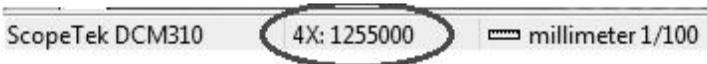
7.3. Совместить курсор с одним из длинных делений шкалы, нажать левую кнопку мыши (начальная точка измерения), переместить курсор на любое другое выбранное длинное деление шкалы (конечная точка измерения), нажать левую кнопку мыши.

Вычисление линейного увеличения оптической системы:

7.4. В окно “Define Software Power” ввести увеличение объектива (“Software Power”) равное 4. Вычислить, зная цену деления шкалы – 0,01 мм, истинную длину измеренного отрезка – расстояние между выбранными делениями шкалы, ввести его в строку “Actual Length”. “Resolution” – полученное значение линейного увеличения. Десятичные дроби вводить с использованием запятой. Нажать кнопку «OK».



7.5. Полученное увеличение системы будет отражено в нижней строке окна программы и использовано для последующих измерений.



7.6. Проверить правильность полученного значения линейного увеличения. Произвести измерение длины шкалы объект-микрометра.

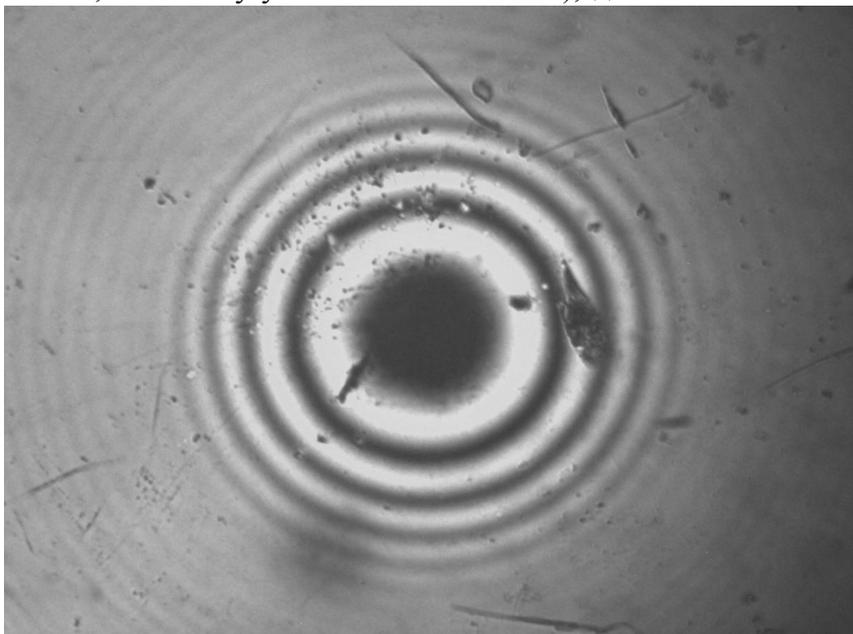
7.9. Убрать объект-микрометр с предметного столика микроскопа.

Измерение радиусов колец Ньютона

1. Найти систему колец Ньютона невооруженным глазом. Темное пятно в точке соприкосновения линзы и пластины хорошо заметно. Размер темного пятна зависит от усилия, с которым линза прижата к пластине. Если оно велико, следует аккуратно ослабить прижимные винты держателя. Расположить на предметном столике микроскопа держатель с исследуемой линзой так, чтобы темное пятно точки соприкосновения находилось приблизительно в центре светлого пятна, рассматриваемого через объектив.

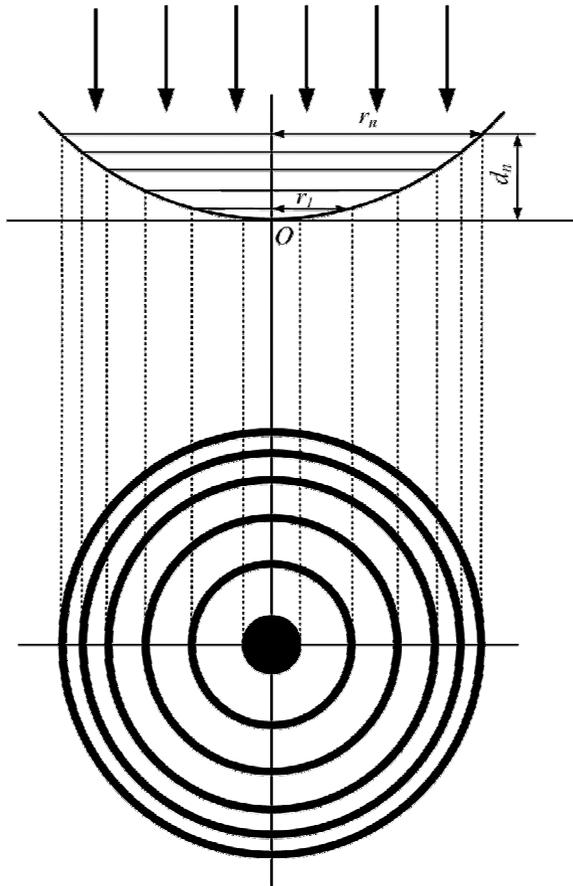
2. На панели инструментов выбрать масштаб видеоизображения 33 %.

Фокусируя микроскоп винтом 5 (рис. 504.4 лаб. раб. №504.-1, см. метку-указатель на штативе), добиться появления



четкого изображения колец Ньютона в центре поля видеоокна. При отсутствии картинки аккуратно переместить держатель с линзой по предметному столику.

3. Вставить светофильтр в щель для светофильтров 6 (см. рис. 504.3 лаб. раб. №504.-1) и зафиксировать кольцом. В монохроматическом свете наблюдают светлые и темные кольца.



4. Сделать фотографию изображения, выбрав пункт меню



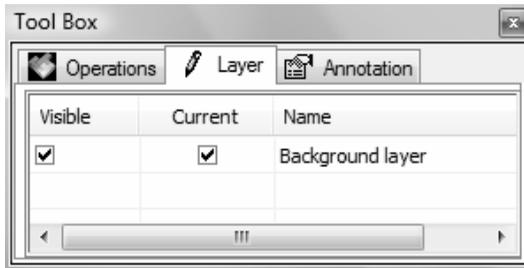
на панели инструментов. Изображение появится в новом

окне. Измерения радиусов колец будут проводиться на полученном снимке.

5. Закрыть окно с видеоизображением. Понизить напряжение питания лампы микроскопа. Выключить блок питания SPS-1230.

6. На панели инструментов выбрать масштаб видеоизображения, , удобный для измерений (достаточно крупный).

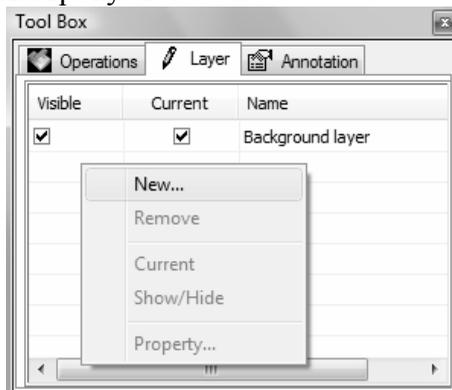
7. На панели инструментов нажать кнопку . В появившемся окне выбрать вкладку «Layer» («Слой»).



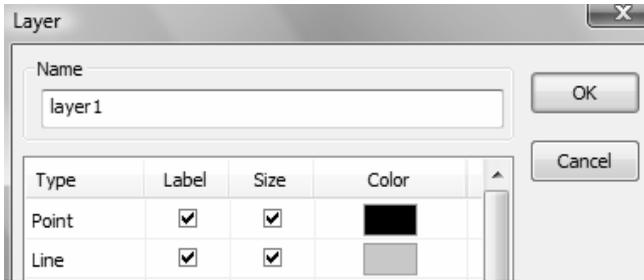
Программа работает со слоями изображения.

8. Чтобы создать новый слой, необходимо:

8.1. Нажать правой кнопкой мыши на поле окна «Tool Box» и выбрать строку «New...»:



8.2. В появившемся окне в поле «Name» ввести имя слоя:

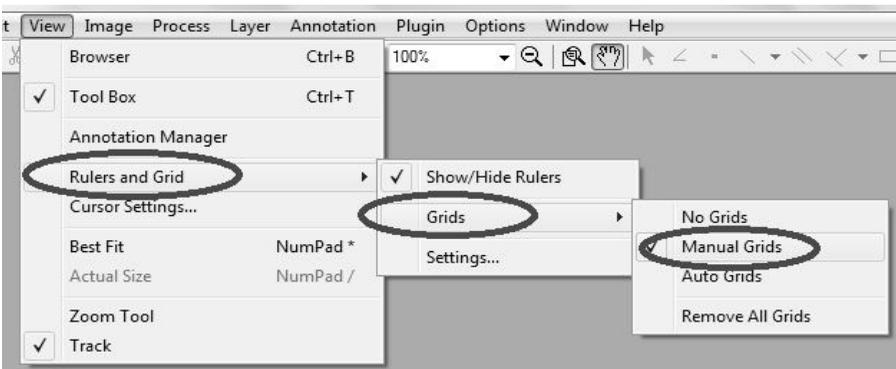


Созданный слой отобразится в окне «Tool Box».

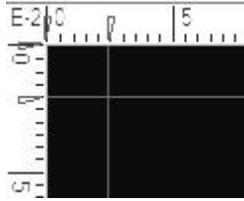
ПРИМЕРЫ ИЗМЕРЕНИЙ

А. Измерение диаметров колец с помощью линий.

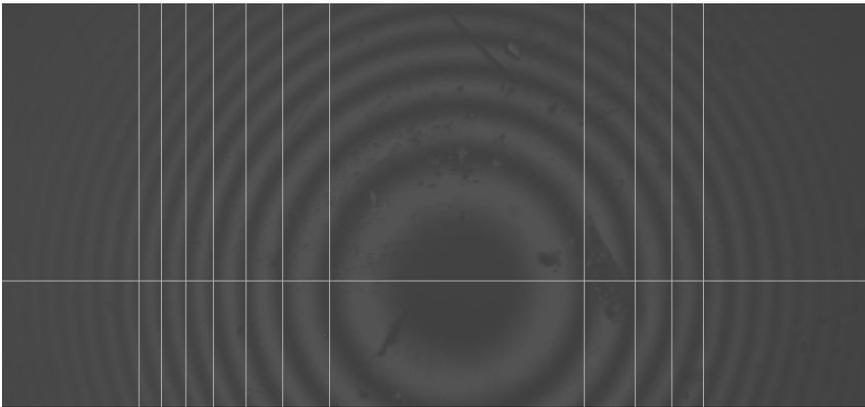
1. Создать слой (см. п. 8).
2. Выбрать в строке верхнего меню вкладку «View» и далее следующие пункты: «Rulers and Grid» – «Grids» – «Manual Grids»:



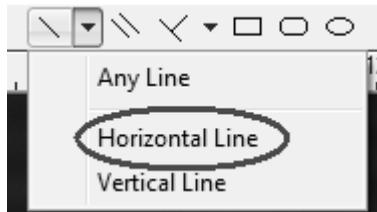
В левом верхнем углу появятся две красные метки, с помощью которых можно нанести вертикальные и горизонтальные линии на изображение. Для этого нужно навести курсор на метку и левой кнопкой мыши перенести метку на поле измерений.



3. Пометить вертикальными линиями середины темных (светлых) колец. Рассматривать максимально возможное число колец. Центральное темное пятно не учитывается при подсчете порядков (номеров) наблюдаемых колец.

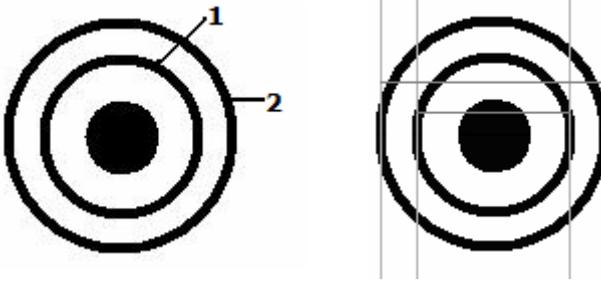


4. Выбрать на панели инструментов пункты меню «Измерение длины горизонтальной линии»:



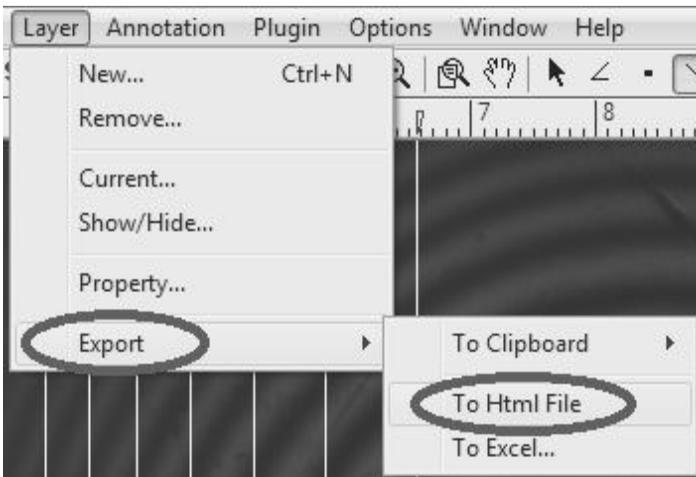
5. Измерить диаметры колец, проводя горизонтальные линии между вертикальными, обозначающими диаметры темных (светлых) колец. На линиях будет указана их истинная длина,

соответствующая диаметрам колец, в миллиметрах. Измерения проводить в порядке возрастания диаметров колец. Число измерений данным способом указывается преподавателем.



Для удаления неправильно проделанного измерения выбрать на панели инструментов , выделить неверную линию, нажать клавишу «Delete» на клавиатуре, затем подтвердить удаление.

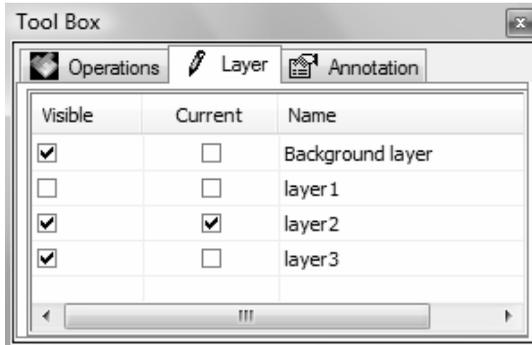
6. Вывести результаты измерений в таблицу, нажав в строке верхнего меню вкладку «Layer» («Слой»), выбрать пункты меню «Export», «To Html File»:



Layer Name	Index	Name	Center	Radius	Area	Length	Angle	Start	End
layer2	1	L1	(1074,00, 388,00)			512,00	-0,00	(1330,00, 388,00)	(818,00, 388,00)
	2	L2	(1068,00, 320,00)			716,00	-0,00	(1426,00, 320,00)	(710,00, 320,00)
	3	L3	(1066,00, 232,00)			1088,00	-0,00	(1610,00, 232,00)	(522,00, 232,00)
	4	L4	(1048,00, 182,00)			1280,00	-0,00	(1688,00, 182,00)	(408,00, 182,00)

Б. Измерение радиусов колец с помощью окружностей.

1. Создать новый слой (см. п. 8).
2. В окне «Tool Box» сделать невидимым и неактивным предыдущий слой, убрав метки состояния «Visible» и «Current»

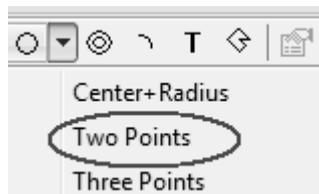


в строке с именем предыдущего слоя. Окно «Tool Box» показывает состояние слоя:

- слой «layer1» – невидимый и неактивный;
- слой «layer2» – видимый и активный (на нём можно проводить измерения);
- слой «layer3» – видимый и неактивный;
- слой «Background layer» – само изображение интерференционной картины, его нельзя делать невидимым и проводить на нём измерения.

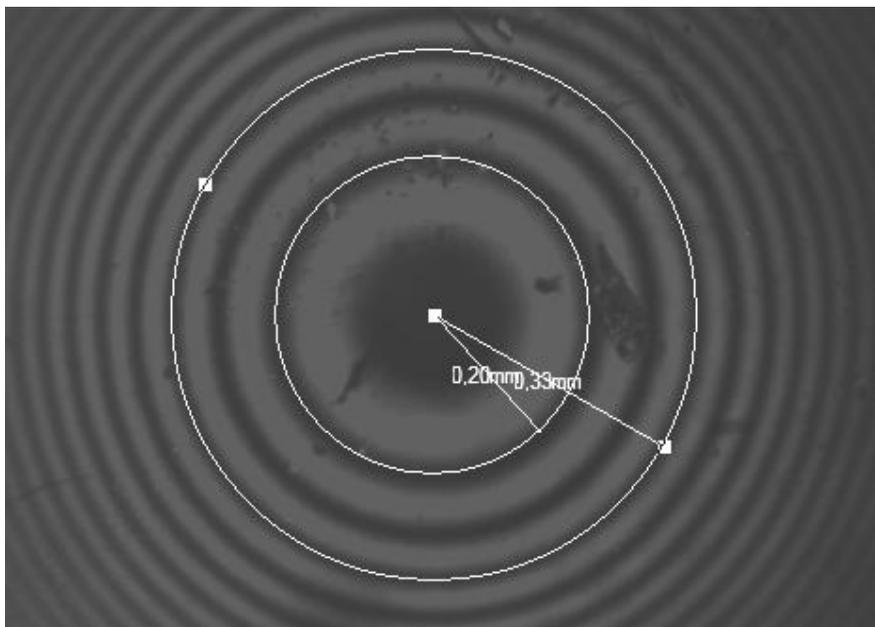
3. Убрать сетку, выбрав в строке верхнего меню «View» и далее следующие пункты: «Rulers and Grid» – «Grids» – «No Grids».

4. Выбрать на панели инструментов пункт меню «Рисование окружности по двум точкам»:

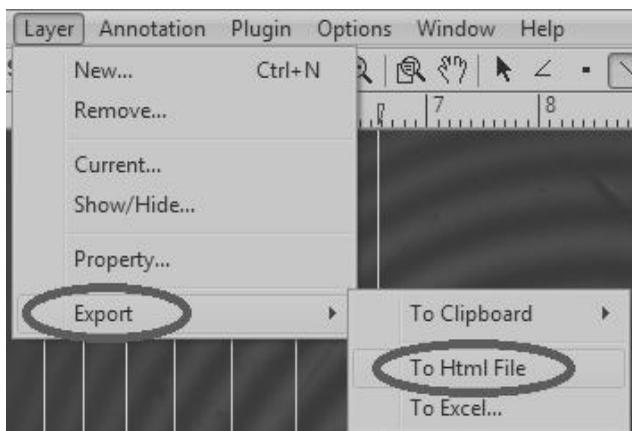


5. Поставить курсор на середину тёмного (светлого) кольца.

6. Нарисовать окружность, совпадающую с тёмным (светлым) кольцом. Цифрами будет указан радиус кольца.



7. Занести результаты измерений в таблицу, нажав в строке верхнего меню вкладку «Layer» («Слой»), выбрать пункты меню «Export», «To Html File»:

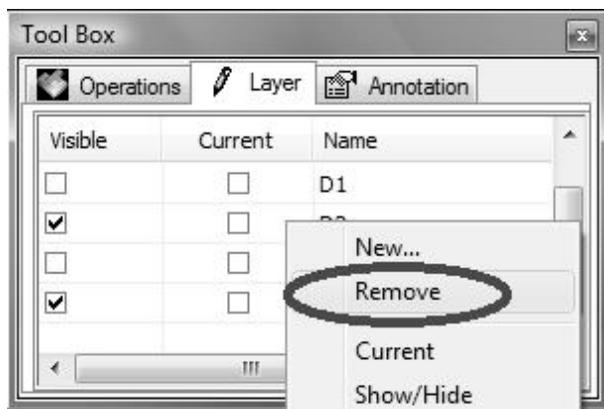


Layer Name	Index	Name	Center	Radius	Area	Length	Angle	Start	End
layer3	1	C1	(528,50, 332,00)	152,21	72788,35	956,39			
	2	C2	(847,50, 415,50)	102,48	32994,58	643,91			
	3	C3	(713,50, 371,50)	122,73	47320,24	771,13			

Length Unit:mm, Angle Unit:radian

В. Измерения для определения погрешности.

1. За погрешность измерений примем ширину тёмного (светлого) кольца. Измерения ширины колец выполнить при масштабе 100 % любым вышеизложенным методом А или Б.
2. Перенести данные из таблицы измерений в протокол.
3. Закрыть вкладку с таблицей.
4. Удалить все слои измерений. В окне «Tool Box» нажать на выбранном слое правую кнопку мыши, выбрать «Remove» (удалить можно только неактивный слой).



5. Закрыть программу, не сохраняя изображение.
6. Вычислить радиус кривизны линзы по формуле (504.6) (см. лаб. раб. №504.-1). Рассчитать радиус линзы R для нескольких пар колец. Из полученных измерений взять среднее арифметическое R .

7. Построить график зависимости r_m^2 от номера m кольца. Наклон прямой определяется радиусом кривизны R и длиной волны света λ (измерения выполняются в монохроматическом красном свете $\lambda = 700$ нм).

8. Проанализировать полученные результаты измерений радиуса кривизны плосковыпуклой линзы, оценить погрешность измерений. Формулу для вычисления погрешности определения радиуса линзы R получить самостоятельно.

505. ДИФРАКЦИЯ ПЛОСКИХ ВОЛН ОТ ЩЕЛИ И НИТИ. ОДНОМЕРНАЯ ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА

505.1. Цель работы

Изучение дифракции от щели, нити и одномерной дифракционной решетки. Определение длины волны излучения лазера и периода дифракционной решетки.

505.2. Разделы теории

Дифракция Фраунгофера на одной щели, на дифракционной решетке [1. Гл.23, §176–181]; [2. Гл.XVIII, §125–130]; [3. Гл.5, 5.1–5.6].

505.3. Приборы и принадлежности

Оптический квантовый генератор (лазер) ЛГН208А, раздвижная щель, нить, дифракционные решетки, экран, оптическая скамья.

505.4. Описание установки

Использование газового лазера в качестве источника излучения позволяет наблюдать дифракционную картину непосредственно на экране (без собирающей линзы). Это возможно вследствие высокой когерентности и достаточно большой мощности излучения лазера (1 мВт).

Экспериментальная установка собирается по схеме рис. 505.1. Лазер 1 устанавливается на оптической скамье так,