

ний.

Контрольные вопросы

1. Что такое абсолютный и относительный показатели преломления?
2. Какой луч (угол) называется предельным?
3. Какое явление называется полным внутренним отражением?
4. Как вычислить показатель преломления, если бы рефрактометр измерял только минимальный угол выхода луча из призм?
5. Используя законы преломления, объясните природное оптическое явление "мираж".
6. Объясните, почему происходит преломление света.
7. Почему из-под воды небо видно только в виде сравнительно узкого круга?
8. В каких пределах можно измерять показатель преломления на изученном вами рефрактометре?

502. ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО МИКРОСКОПА

502.1. Цель работы

Изучение интерференционного микроскопа МИИ-4. Определение толщины напыления, радиуса кривизны сферической поверхности.

502.2. Разделы теории

Интерференция световых волн, когерентность.

[1. Гл. 22, §171–179]; [2. Гл. XVII, §119 – 120]; [3. Гл. 4, 4.1, 4.2].

502.3. Приборы и принадлежности

Интерференционный микроскоп МИИ-4, шарик в оправе, пластина с напылением.

502.4. Вывод расчётной формулы

Получение когерентных световых волн в интерференционных схемах достигается путём искусственного разделения светового потока от одного источника на два луча. Лучи проходят разные пути, а затем их собирают в одном месте.

Пучок параллельных лучей падает слева на полупрозрачную пластинку Π (рис. 502.1). Чтобы выяснить, каким образом в этой схеме возникает интерференционная картина, достаточно проследить за поведением пучка лучей. Пластина Π разделяет пучок на две части: прошедший луч 1 и отраженный вверх луч 2. Луч 1, отразившись от зеркала $З_1$ и пластины Π , попадает в точку M плоскости \mathcal{E} . Луч 2, отразившись от зеркала $З_2$ (исследуемая поверхность) и пройдя пластину Π , также попадает в точку M .

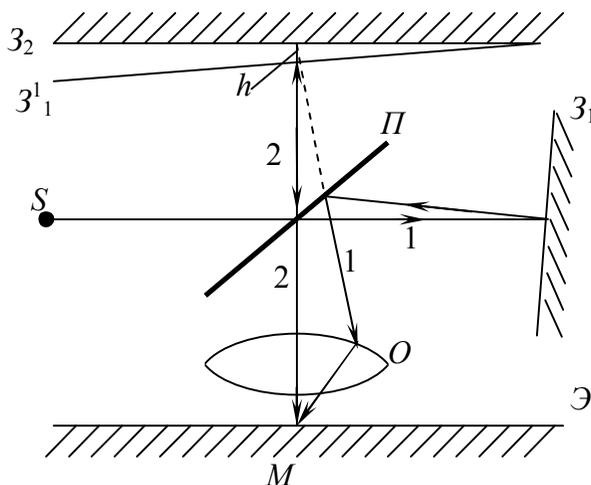


Рис. 502.1

Оба луча (1 и 2) когерентны, так как возникли из одного луча. В плоскости Э наблюдается устойчивая интерференционная картина. Разность хода Δ лучей, как видно из рис. 502.1, кратна удвоенной толщине воздушного слоя h , образованного зеркалом Z_2 и мнимым изображением Z'_1 зеркала Z_1 в пластине П.

Условие образования максимумов и минимумов интерференционной картины имеет вид

$$\Delta = 2nh_k = \begin{cases} k\lambda, & \text{максимумы;} \\ (k + 1/2)\lambda, & \text{минимумы,} \end{cases} \quad (502.1)$$

где n – показатель преломления среды ($n = 1$); λ – длина волны света; k – порядок интерференции ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$).

Переход от одного максимума к другому отвечает изменению толщины воздушного клина на $\lambda/2$.

Если оба зеркала плоские, то интерференционная картина будет иметь вид полос, параллельных ребру клина.

Если одно зеркало плоское, а другое сферическое, то полосы будут иметь вид колец и можно определить радиус кривизны сферической поверхности (рис. 502.2). На рис.502.2 обозначено:

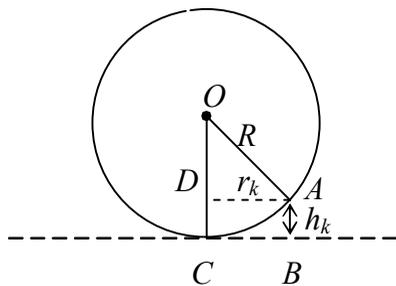


Рис. 502.2

$OA = R$ – радиус сферической поверхности; $AB = h_k$ – толщина воздушной прослойки; $BC = AD = r_k$ – радиус k -го интерференционного кольца.

По теореме Пифагора, $(AO)^2 = (AD)^2 + (OD)^2$, или $R^2 = r_k^2 + (R - h_k)^2$. Так как $h_k \ll R$, получаем

$$r_k^2 \approx 2Rh_k. \quad (502.2)$$

Решая уравнения (502.1) и (502.2), получим выражения для радиусов светлых и тёмных колец в отраженном свете:

$$r_k^2 = \begin{cases} k\lambda R, \text{ светлые;} \\ (k + 1/2)\lambda R, \text{ темные.} \end{cases} \quad (502.3)$$

Из выражения (502.3) получаем расчётную форму для определения радиуса кривизны поверхности

$$R = \frac{r_m^2 - r_k^2}{(m - k)\lambda}, \text{ или } R = \frac{d_m^2 - d_k^2}{4(m - k)\lambda}, \quad (502.4)$$

где m и k – номера колец (порядки); d_m , d_k – диаметры соответствующих колец.

502.5. Описание установки

Микроинтерферометр Линника МИИ-4 является специальным прибором, предназначенным для визуальной оценки и измерения высоты неровностей тонкообработанных поверхностей. Прибор позволяет измерять высоты неровностей в пределах от 1 до 0,03 микрона.

Оптическая схема прибора показана на рис. 502.3. Здесь 1 – осветитель; 2 – сменный светофильтр; 3 – ирисовая диафрагма; 4 – коллиматорный объектив; 5 и 6 – объектив и окуляр зрительной трубы микроскопа; O_1 и O_2 – микрообъективы, в фокальных плоскостях которых расположены эталонное зеркало Z_1 и исследуемая поверхность Z_2 ; Π – светоразделительная стеклянная пластинка (её нижняя поверхность покрыта полупрозрачным слоем); Π_1 – компенсационная пластинка.

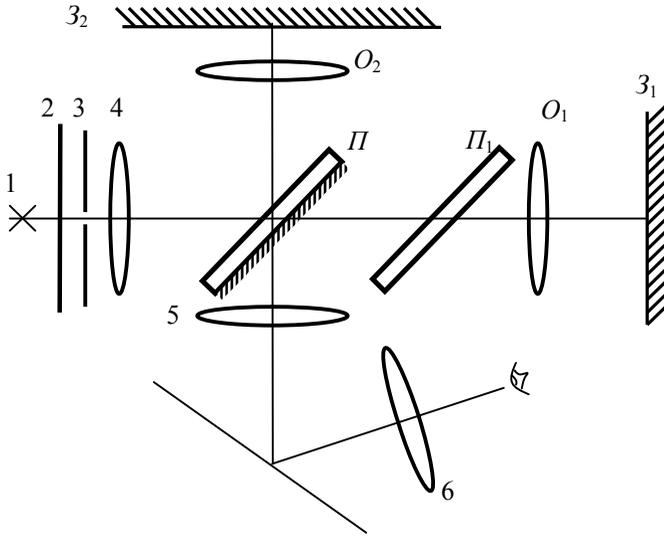


Рис. 502.3

Внешний вид прибора показан на рис. 502.4: 1 – винты для центровки лампы осветителя; 2 – передвижная шторка с тремя отверстиями (в одном из отверстий установлен светофильтр); 3 – кольцо с накаткой для изменения диаметра открытия отверстия ирисовой диафрагмы; 4 – микрометрические винты (цена деления 0,005 мм) для перемещения предметного столика микроскопа 5 в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Изменение направления и смещение интерференционных полос в поле зрения микроскопа происходит при повороте кольца 6. Ширина полос изменяется при вращении винта 7.

Рукоятка 8 связана со шторкой, закрывающей эталонное зеркало. На торце этой рукоятки нанесена стрелка. При горизонтальном положении стрелки эталонное зеркало открыто, при вертикальном – закрыто.

Микрометрическим винтом 9 (цена деления 0,003 мм) производится фокусировка микроскопа. Изображение наблюдают через винтовой окулярный микрометр 10.

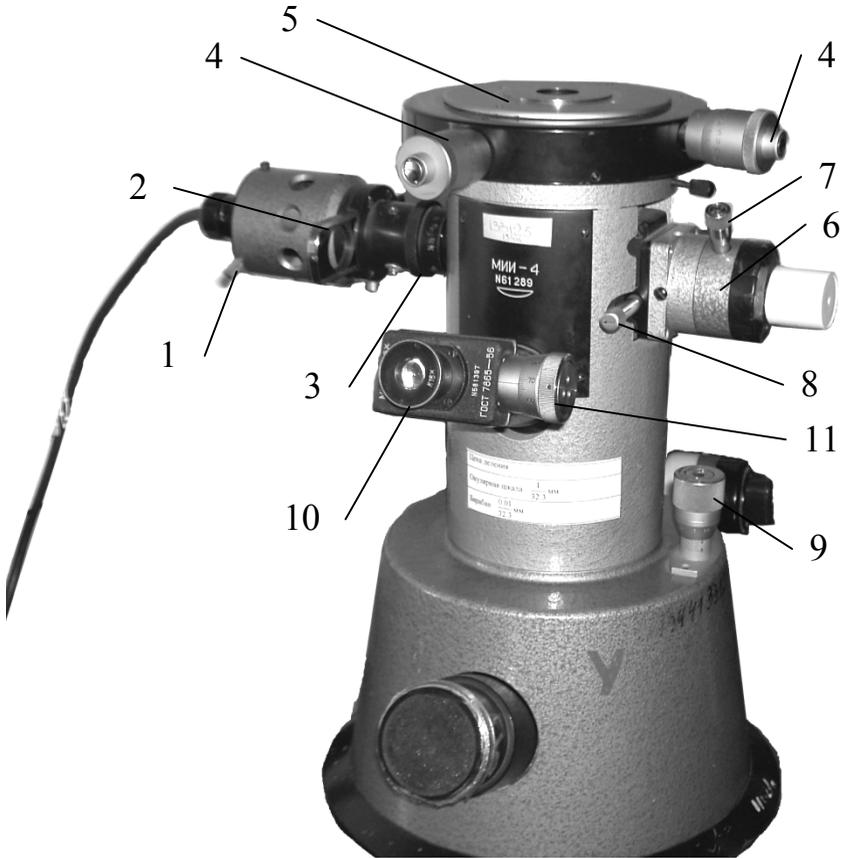


Рис. 502.4

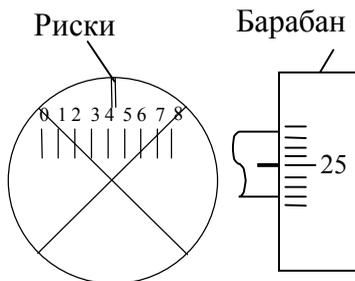


Рис. 502.5

В фокальной плоскости окуляр-микрометра расположены неподвижная шкала с делениями от 0 до 8 мм (цена деления 1мм) и подвижные перекрестие и отсчетный индекс в виде двойной риски (рис. 502.5). Перекрестие и двойная риска перемещаются в поле зрения окуляра относительно неподвижной шкалы путем вращения микрометрического винта 11 (рис. 502.4). 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.

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

502.6. Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

Упражнение 1. Определение толщины напыления.

1. Положить образец на предметный столик исследуемой стороной вниз.

2. Включить блок питания SPS-1230. Регулятором VOLTAGE установить на выходе источника питания напряжение 5 В. Наблюдая в окуляр и поворачивая кольцо с накаткой передней

линзы окуляра, сфокусировать шкалу микрометра.

3. Вращая винт фокусировки 9 (рис. 502.4), получить четкое изображение поверхности образца (указатель-стрелка рукоятки 8 направлен вертикально). В окуляре должна быть видна линия границы напыления, разделяющая поле зрения на две части разных тонов. Найти границу напыления можно, выполнив небольшие перемещения объектива винтами 4 или аккуратно передвинув образец на предметном столике.

4. Получить интерференционную картину, повернув рукоятку 8 против часовой стрелки (указатель-стрелка рукоятки 8 направлен горизонтально). Если полосы не видны, повторить фокусировку микроскопа плавным вращением винта 9. Для улучшения контрастности полос рекомендуется изменить отверстие диафрагмы поворотом кольца 3.

5. Внимательно рассмотреть полученное изображение. Смещая объектив микрометрическими винтами 4, выбрать исследуемую область – «ступеньку» напыления. При правильной настройке интерферометра в его поле зрения видны одновременно испытываемая поверхность и интерференционные полосы, имеющие излом на линии границы напыления.

При измерениях интерференционные полосы должны быть ориентированы перпендикулярно к границе напыления. Совместить одну из **нитей** перекрестия с линией границы напыления. Для чего повернуть микрометр 10 на тубусе микроскопа и, вращая барабан 11, навести **нить** перекрестия на линию границы напыления. Угол поворота микрометра обычно не превышает 30° . После этого закрепить микрометр зажимным винтом.

6. Расположить интерференционные полосы параллельно второй **нити** перекрестия микрометра при помощи кольца 6 (рис. 502.4). При необходимости изменить (увеличить) ширину линий, вращая винт 7.

7. Измерения производятся **в белом свете по двум черным полосам** интерференционного минимума. Ширина интерференционной полосы и величина излома полосы выражается в делениях окулярной шкалы микрометра. Для большей точности

измерения наводку нити перекрестия лучше всего производить посередине, а не по краю полосы.

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

8. Наблюдая в окуляр и вращая барабан 11 микрометра, совместить **нить** перекрестия, параллельную интерференционным полосам, с нижней черной полосой на светлой части поля зрения, снять отсчет N_1 со шкал микрометра. Переместить **нить** перекрестия на вторую черную полосу на светлой поверхности, снять отсчет N_2 .

Разность показаний микрометра $|N_2 - N_1|$ равна ширине интерференционной полосы (l).

9. Перевести **нить** перекрестия на черные полосы темной части поля зрения. Сделать такие же измерения положения черных полос, снять отсчеты N'_1 и N'_2 .

10. Определить величину излома интерференционной полосы Δl как разность показаний микрометра $|N'_1 - N_1|$ или $|N'_2 - N_2|$ (рис. 502.6).

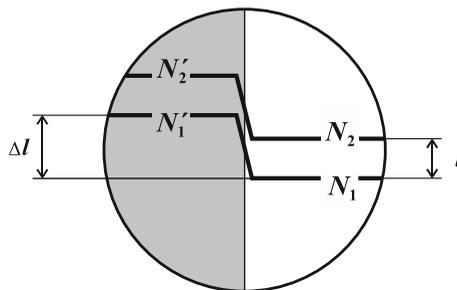


Рис. 502.6

11. Рассчитать толщину напыления при работе в белом свете по формуле

$$x = 0,27 \cdot \frac{\Delta l}{l} \cdot n \cdot 10^{-6} \text{ м,}$$

или

$$x = 0,27 \cdot \frac{|N'_1 - N_1|}{|N_2 - N_1|} \cdot n \cdot 10^{-6} \text{ м,}$$

где n – число интервалов между полосами (для соседних полос $n = 1$), x – толщина напыления.

12. Провести измерения по пп. 8, 9 для различных точек поверхности образца не менее 5 раз, не меняя установленного положения интерференционных полос и нитей перекрестия микрометра, а перемещая винтами 4 объектив. (Диапазон перемещения объектива – 10 мм, цена деления барабанчика микрометрического винта объектива – 0,005 мм.) Данные занести в таблицу. Рассчитать толщину напыления в каждой измеренной точке, рассчитать среднюю толщину напыления на образце.

13. Проанализировать полученные результаты измерения толщины напыления, оценить погрешности измерений.

Упражнение 2. Определение радиуса кривизны сферической поверхности.

1. Положить оправу с шариком на предметный столик шариком вниз. Объектив должен находиться в центре отверстия предметного столика.

2. Наблюдая в окуляр, сфокусировать микроскоп на поверхность шарика (винт 9). Указатель-стрелка рукоятки 8 – вертикально. Поворачивая оправу с шариком на предметном столике, совместить центр сферической поверхности с центром поля зрения так, чтобы только в центре поля оказался наиболее четкий участок.

3. Открыть эталонное зеркало. Указатель-стрелка 8 – горизонтально. В поле зрения появляется система интерференционных полос в виде радужных колец. Центр колец должен совпадать с центром поля зрения. Если видна лишь дуга радужных полос, образец следует немного переместить (повернуть) на

предметном столике или с помощью винтов 4 переместить объектив. Повторить фокусировку плавным вращением винта 9.

4. Ввести светофильтр ($\lambda=589,3$ нм) (шторка 2 на рис. 502.4). Поворотом кольца 3 изменить отверстие диафрагмы, чтобы получилось наиболее контрастное изображение интерференционных полос. В монохроматическом свете наблюдают систему светлых и темных круглых колец. Перекрестие подвижной сетки микрометра переместить в центр шкалы (цифра 4). Перекрестие нитей микрометра должно находиться в середине центрального темного пятна (рис. 502.7,а).

5. Вращая барабан 11 микрометра против часовой стрелки, установить перекрестие на середину какого-либо достаточно удаленного от центра, но еще отчетливо видимого темного (светлого) кольца (рис.502.7,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 барабанчика по часовой стрелке).

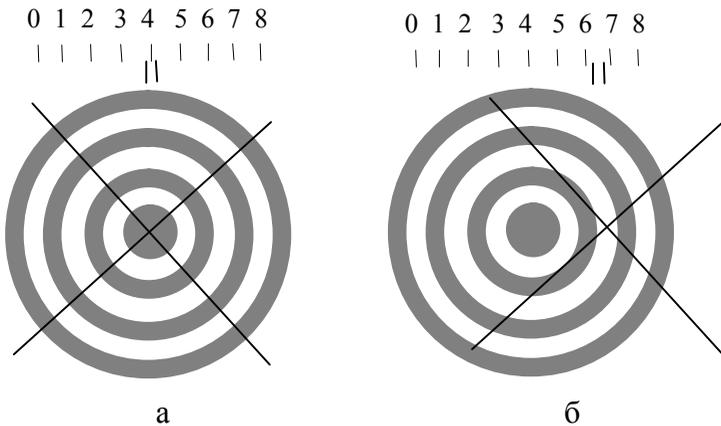


Рис. 502.7

6. Перемещая перекрестие с помощью барабана 11 влево,

последовательно устанавливать **крест нитей** на середины темных (светлых) колец и снимать 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.

7. Понизить напряжение на блоке питания SPS 1230 до нуля и выключить блок питания.

8. По данным таблицы произвести расчеты радиуса кривизны шарика. Радиусы близких к центру 2–3 колец рекомендуется не использовать при расчетах, так как эти радиусы дадут 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 шарика R по формуле (502.4) для нескольких пар колец. Из полученных значений взять среднее арифметическое. Следует выбирать r_m и r_k таким образом, чтобы числа m и k были возможно дальше друг от друга (например, 4 и 10, 5 и 8).

9. Построить график зависимости r_m^2 от номера m кольца. Наклон прямой определяется радиусом кривизны R и длиной волны света (измерения выполняются в монохроматическом желтом свете $\lambda = 589,3$ нм).

10. Проанализировать полученные результаты измерения радиуса кривизны шарика, оценить погрешности измерений.

Контрольные вопросы

1. Почему интерференционная картина, наблюдаемая в

этом интерферометре, состоит из ограниченного числа полос?

2. Чем отличаются интерференционные полосы равного наклона от полос равной толщины?

3. При наблюдении с помощью интерференционного микроскопа колец Ньютона в монохроматическом свете оказалось, что центральное пятно светлое. Что можно сказать об оптической разности хода интерферирующих лучей в этом месте?

4. В чем заключается принцип действия кольца б, с помощью которого производят смещение полос?

5. Какая картина будет наблюдаться в этом интерферометре, если воздушный клин (см. рис. 502.1) превратить поворотом зеркала Z_1 в плоскопараллельный зазор?

503. ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИН СВЕТОВЫХ ВОЛН ПРИ ПОМОЩИ БИПРИЗМЫ ФРЕНЕЛЯ

503.1. Цель работы

Определение длин световых волн при помощи установки с бипризмой Френеля. Вычисление преломляющего угла бипризмы.

503.2. Разделы теории

Интерференция световых волн, когерентность, способы наблюдения интерференции света. [1. Гл.22, §172,173]; [2. §119 – 123]; [3. Гл.4, 4.1 – 4.4].

503.3. Приборы и принадлежности

Оптическая скамья, осветитель, собирающая линза, бипризма Френеля, набор светофильтров, микрометр окулярный винтовой, линейка.