

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА
ПОЛИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ
МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРА ЛИННИКА**

Методические указания к лабораторной работе №3

Пенза 2014

УДК 691-408.7:681.787(075.8)

ББК 38.3-7:22.343.4я73

И89

Рекомендовано Редсоветом университета
Рецензент – доктор физико-математических наук,
профессор С.А. Степанов (ПГУАС)

И89 Исследование качества полированной поверхности с помощью
 микроинтерферометра Линника: метод. указания к лабораторной
 работе №3 / Г.И. Грейсух, Т.С. Шмарова.– Пенза: ПГУАС, 2014. –
 24 с.

Приведена методика определения качества полированной поверхности исследуемого образца с помощью микроинтерферометра Линника.

Методические указания подготовлены на кафедре физики и химии ПГУАС и предназначены для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство».

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2014

© Грейсух Г.И., Шмарова Т.С., 2014

Цель работы:

- знакомство с явлением интерференции света и с его использованием в метрологии;
- получение практических навыков работы с высокоточным измерительным оптическим прибором и определение качества полированной поверхности исследуемого образца.

Приборы и принадлежности: микроинтерферометр Линника МИИ-4; винтовой окулярный микрометр МОВ-1-15; исследуемый образец; пакет компьютерных программ по моделированию процесса определения шероховатости поверхности исследуемого образца.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Теоретическую основу данной лабораторной работы составляет явление интерференции, подтверждающее волновую природу света.

Световое излучение представляет собой электромагнитные волны, длины которых в вакууме лежат в пределах от 380 до 770 нм; более короткие и более длинные волны не вызывают у человека зрительных ощущений и регистрируются специальной аппаратурой. Электромагнитные волны, обладая широким диапазоном частот (или длин волн), отличаются друг от друга по своим свойствам. Поэтому электромагнитные волны делятся на несколько видов (табл. 1), границы между которыми довольно условны.

Т а б л и ц а 1

Вид излучения	Длина волны, м	Частота, Гц
Радиоволны	$10^3 < \lambda < 10^4$	$3 \cdot 10^5 < \nu < 3 \cdot 10^{12}$
Инфракрасное излучение	$5 \cdot 10^{-4} < \lambda < 7,7 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{11} < \nu < 3,75 \cdot 10^{14}$
Видимое излучение	$7,7 \cdot 10^{-7} < \lambda < 3,8 \cdot 10^{-7}$	$3,75 \cdot 10^{14} < \nu < 7,5 \cdot 10^{14}$
Ультрафиолетовое излучение	$0,38 \cdot 10^{-7} < \lambda < 10^{-9}$	$7,5 \cdot 10^{14} < \nu < 3 \cdot 10^{17}$
Рентгеновское излучение	$2 \cdot 10^{-9} < \lambda < 6 \cdot 10^{-13}$	$1,5 \cdot 10^{17} < \nu < 5 \cdot 10^{19}$
γ -излучение	$\lambda < 6 \cdot 10^{-12}$	$\nu > 5 \cdot 10^{19}$

Электромагнитная волна представляет собой процесс распространения в пространстве периодически изменяющегося электромагнитного поля. Изменение электромагнитного поля в каждой точке пространства удобно характеризовать колебаниями двух взаимно перпендикулярных векторов: вектора напряженности электрического поля \vec{E} и вектора напряженности магнитного поля \vec{H} . Электромагнитную волну можно графически представить в виде двух синусоид, лежащих во взаимно перпендикулярных

плоскостях (рис. 1). Одна синусоида отражает колебания вектора \vec{E} , а другая – вектора \vec{H} . Оба вектора колеблются в одинаковых фазах. Это означает, что векторы \vec{E} и \vec{H} одновременно и в одних и тех же точках пространства достигают своего максимального или минимального значения.

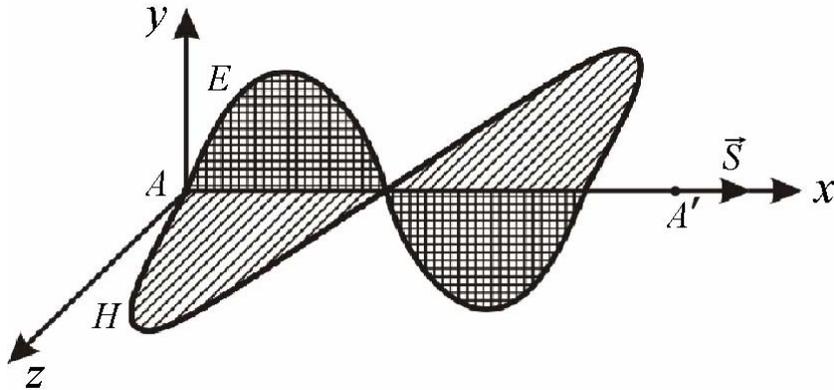


Рис. 1

В электромагнитной волне векторы \vec{E} и \vec{H} совершают гармонические колебания с одинаковой частотой ν . Если в некоторой точке пространства A (см. рис. 1) в данный момент времени мгновенные значения напряженностей электрического поля E и магнитного поля H

$$E = E_0 \sin \omega t ; \quad (1)$$

$$H = H_0 \sin \omega t , \quad (2)$$

где E_0 – амплитуда колебаний вектора напряженности электрического поля; H_0 – амплитуда колебаний вектора напряженности магнитного поля, то в точке A' , отстоящей от A на расстоянии x , согласно уравнению волны, напряженность электрического поля и напряженность магнитного поля будут описываться выражениями

$$E = E_0 \sin(\omega t - kx + \varphi_0) , \quad (3)$$

$$H = H_0 \sin(\omega t - kx + \varphi_0) . \quad (4)$$

Характеристики электромагнитных волн

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T} \text{ – циклическая частота;}$$

$$T = \frac{1}{\nu} \text{ – период колебаний;}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ – волновое число;}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = cT \text{ – длина волны;}$$

c – скорость электромагнитных волн в вакууме;

$\varphi = \omega t - kx + \varphi_0$ – фаза волны;

φ_0 – начальная фаза.

Уравнения (3) и (4) описывают плоские монохроматические электромагнитные волны (электромагнитные волны одной строго определенной частоты), причем мгновенные значения векторов \vec{E} и \vec{H} в любой точке связаны соотношением

$$\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon} E = \sqrt{\mu_0 \mu} H, \quad (5)$$

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная;

ε – диэлектрическая проницаемость среды;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная;

μ – магнитная проницаемость среды.

Фазовая скорость электромагнитных волн определяется выражением

$$\nu = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon \mu_0 \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}}, \quad (6)$$

где $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$ – скорость электромагнитных волн в вакууме.

В вакууме (при $\varepsilon = 1$ и $\mu = 1$) скорость распространения электромагнитных волн совпадает со скоростью c . Так как $\varepsilon \mu > 1$, то скорость распространения электромагнитных волн в веществе всегда меньше, чем в вакууме.

Электромагнитные волны поперечны, т.е. векторы \vec{E} и \vec{H} напряженностей электрического и магнитного полей волны взаимно перпендикулярны и лежат в плоскости, перпендикулярной вектору скорости $\vec{\nu}$ распространения волны, причем векторы \vec{E} , \vec{H} и $\vec{\nu}$ образуют правовинтовую систему.

Вектор плотности потока электромагнитной энергии называется вектором Умова – Пойнтинга:

$$\vec{S} = [\vec{E}\vec{H}]. \quad (7)$$

Вектор \vec{S} направлен в сторону распространения электромагнитной волны.

Интерференцией света называется явление усиления волн в одних точках пространства и ослабление их в других в результате наложения двух или нескольких световых волн. Пространство, в котором волны накладываются и интерферируют, называют **интерференционным полем**.

Если в интерференционное поле поместить отражающий экран, то на нем будет наблюдаться **интерференционная картина**, представляющая со-

бой набор чередующихся полос с максимальной и минимальной освещенностью. Устойчивую во времени и достаточно контрастную интерференционную картину дают только **одинаково поляризованные когерентные волны**, т.е. волны с взаимно параллельными векторами \vec{E} , одинаковой частотой и постоянной во времени разностью фаз.

Интерференционную картину, создаваемую когерентными волнами, можно наблюдать визуально, фотографировать, измерять расстояние между светлыми и темными полосами и т.д. Некогерентные лучи не дают стабильной интерференционной картины. Непрерывное изменение фаз складываемых колебаний в каждой точке пространства создает быстро меняющуюся картину, которую невозможно использовать для измерительных целей.

Для получения устойчивой интерференционной картины применяют различные приемы, но все они сводятся к образованию и наложению одинаково поляризованных когерентных волн.

1. Опыт Юнга

Юнг был первым, кто понял, что волны от двух разделённых в пространстве и не зависящих друг от друга источников света не когерентны. Поэтому он пропустил в тёмную комнату солнечный свет через узкую щель S (шириной около 1 мкм), затем с помощью двух щелей S_1 и S_2 такой же ширины, находящихся друг от друга на расстоянии d порядка нескольких микрон, разделил этот пучок света на два (рис. 2). Проходя через каждую из щелей, световой пучок расширялся вследствие дифракции, поэтому на белом экране \mathcal{E} световые пучки, прошедшие через щели S_1 и S_2 , перекрывались. В области перекрытия световых пучков наблюдалась устойчивая интерференционная картина в виде чередующихся светлых и темных полос. В центре экрана видна полоса белого солнечного света. Остальные интерференционные максимумы окрашены.

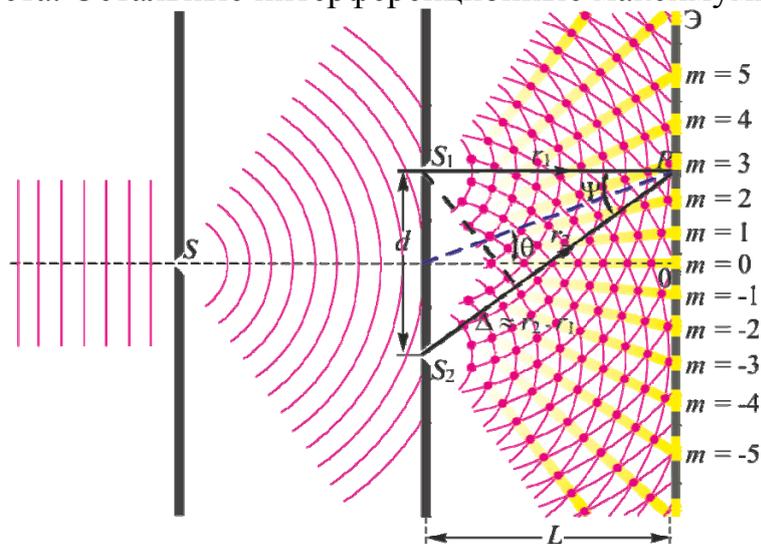


Рис. 2

Таким образом, в классическом опыте Юнга когерентные световые пучки были получены путём разделения и последующего сведения лучей, исходящих от общего источника света.

2. Зеркало Ллойда

В опыте, предложенном ирландским физиком Хэмфри Ллойдом (1800–1881 гг.), источником света S служит узкая щель, параллельная плоскости зеркала (рис. 3). Расходящийся световой пучок от источника падает на плоское зеркало MM' (зеркало Ллойда), расположенное перпендикулярно к экрану NN' . Отразившись от зеркала, он попадает на экран. Этот пучок света можно представить исходящим от мнимого изображения источника света S' , образованного зеркалом. Кроме того, на экран попадают лучи, идущие непосредственно от источника света S . В той области экрана, где перекрываются оба пучка света, т.е. накладываются две когерентные волны, наблюдается интерференционная картина.

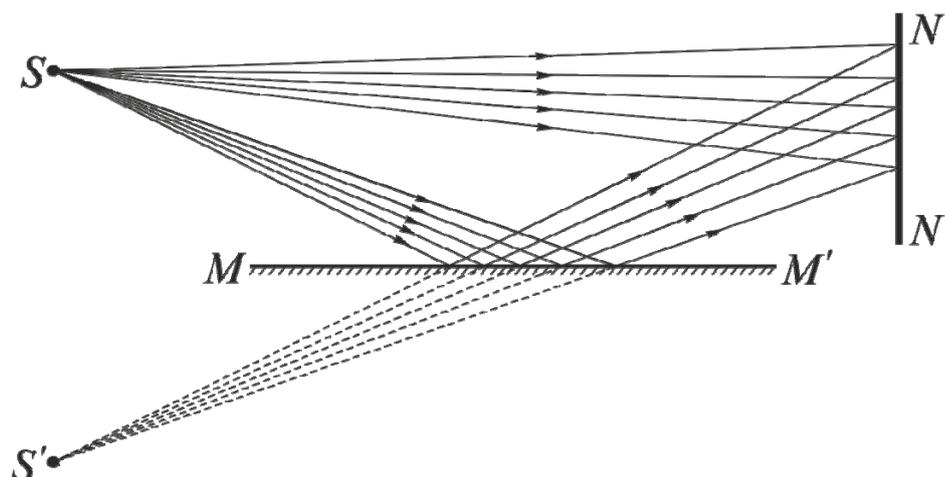


Рис. 3

Особенность интерференционной картины, наблюдаемой с помощью зеркала Ллойда, заключается в том, что центральная полоса получается не светлой, а темной. Это указывает на то, что лучи, проходящие одинаковые геометрические пути, все же сходятся в опыте Ллойда с разностью хода $\frac{\lambda}{2}$. Такая «потеря» полуволны (или, другими словами, изменение фазы на π) происходит при отражении света от поверхности стекла, коэффициент преломления которого больше, чем воздуха.

3. Зеркала Френеля

Френель предложил в качестве двух когерентных источников воспользоваться двумя изображениями одного и того же действительного источника света S в двух плоских зеркалах OA_1 и OA_2 , образующих двугранный угол φ , отличающийся от 180° всего на несколько угловых минут. Схема опыта Френеля представлена на рис. 4 (r – расстояние от источника света до места соприкосновения зеркал).

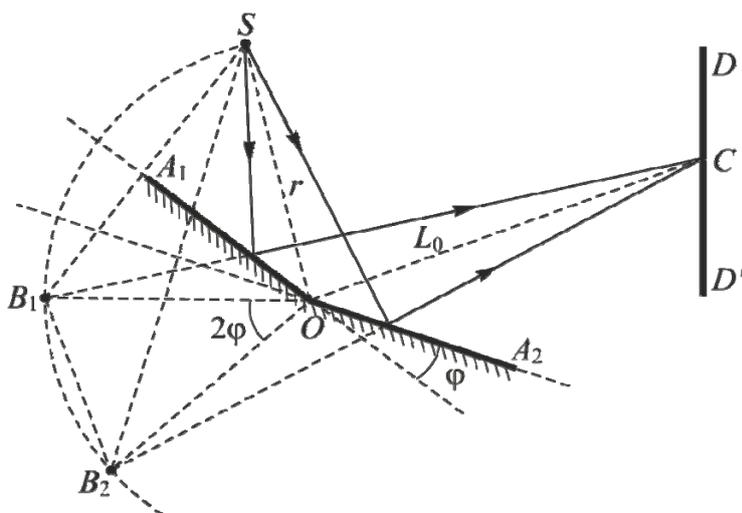


Рис. 4

Для построения изображений источника S в обоих зеркалах воспользуемся тем, что мнимое изображение, даваемое плоским зеркалом, лежит за зеркалом на таком же расстоянии, на каком источник расположен перед зеркалом. Проведем из точки O окружность с радиусом $r = OS$ и опустим из точки S перпендикуляр на продолжение прямой OA_1 . Точка пересечения продолжения этого перпендикуляра с окружностью B_1 является мнимым изображением источника S в первом зеркале OA_1 . Аналогично строится мнимое изображение B_2 источника во втором зеркале OA_2 .

На экране, где пучки, отражённые от зеркал, перекрываются, наблюдается интерференционная картина в виде равноотстоящих тёмных и светлых полос.

4. Бипризма Френеля

Бипризма Френеля состоит из двух стеклянных призм, соединённых боковыми сторонами. Схема опыта представлена на рис. 5 (φ – преломляющий угол призмы; n – абсолютный показатель преломления материала призмы).

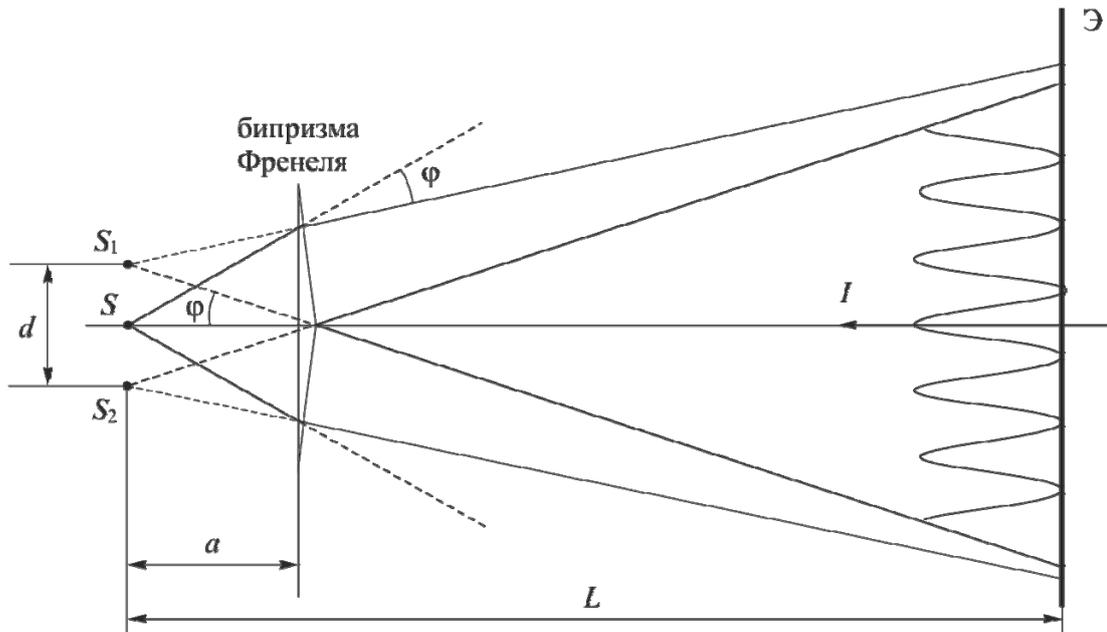


Рис. 5

Свет от источника S преломляется в обеих призмах, в результате чего за призмой распространяются пучки, как бы исходящие от мнимых источников S_1 и S_2 , разнесённых на расстояние $d = a(n - 1)\varphi$ и являющихся когерентными. На экране, расположенном за бипризмой, эти пучки интерферируют.

Закономерности интерференции. Расчет электромагнитного поля ведут обычно по вектору \vec{E} , поскольку зрительные органы человека не реагируют на магнитную составляющую поля.

Произведем расчет интерференционной картины от двух когерентных источников S_1 и S_2 (рис. 6).

Предположим, что две монохроматические световые волны, накладываясь друг на друга, возбуждают в точке M пространства колебания векторов напряженности электрического поля, мгновенные значения которых:

$$E_1 = E_{01} \sin(\omega t + \varphi_1); \quad (8)$$

$$E_2 = E_{02} \sin(\omega t + \varphi_2), \quad (9)$$

где E_{01} и E_{02} — амплитуды напряженностей электромагнитных колебаний в точке M ;

φ_1 и φ_2 — начальные фазы.

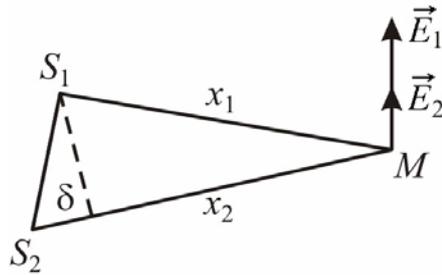


Рис. 6

Амплитуду результирующего колебания E_0 легко найти с помощью векторной диаграммы, изображенной на рис. 7.

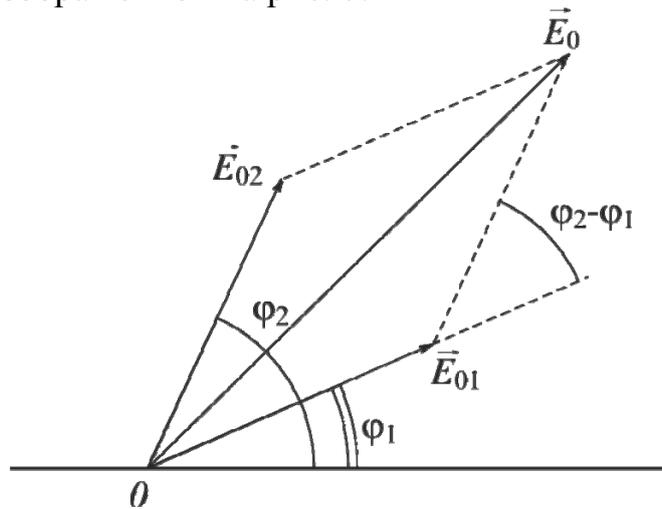


Рис. 7

По теореме косинусов

$$E_0^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cos(\varphi_2 - \varphi_1). \quad (10)$$

Учитывая, что интенсивности волн пропорциональны квадратам их амплитуд, выразим интенсивность результирующего колебания по формуле

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1). \quad (11)$$

Так как в реальных некогерентных источниках излучателями являются отдельные атомы, не связанные друг с другом, то разность фаз $(\varphi_2 - \varphi_1)$ непрерывно изменяется, принимая с равной вероятностью любые значения, так что среднее по времени значение $\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$ равно нулю. В этом случае интенсивность волны во всех точках экрана I_{cp} равна сумме интенсивностей складываемых волн

$$I_{cp} = I_1 + I_2. \quad (12)$$

Интенсивность света во всех точках экрана просто равна сумме интенсивностей, что соответствует закону сохранения энергии. Поэтому при сложении некогерентных волн интерференция не возникает.

Если же разность фаз возбуждаемых волнами колебаний равна нулю или остается постоянной во времени, то волны являются *когерентными*. Источники таких волн также когерентны. В этом случае $\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$ имеет постоянное во времени, но свое для каждой точки экрана значение, в результате чего в одних местах возникают максимумы интенсивности, а в других – минимумы, т.е. наблюдается интерференционная картина.

Рассмотрим случай сложения когерентных колебаний от двух *синфазных* источников ($\varphi_1 = \varphi_2$).

При $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = 1$, т.е. при

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi m, \quad (13)$$

где $m = 0, 1, 2, \dots$ – целое число, называемое порядком интерференционного максимума, интенсивность результирующего колебания будет максимальной и равна

$$I_{\max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}. \quad (14)$$

При $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = -1$, т.е. при

$$\varphi_2 - \varphi_1 = (2m + 1)\pi, \quad (15)$$

интенсивность результирующего колебания будет минимальной:

$$I_{\min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}. \quad (16)$$

Разность $x_2 - x_1 = \delta$ называют **геометрической разностью хода волн**, разность $(x_2 - x_1)n = \Delta$ – **оптической разностью хода волн**, проходящих в точку M от источников S_2 и S_1 (n – показатель преломления среды).

Принимая во внимание, что $\varphi_2 - \varphi_1 = k\Delta$, где k – волновое число, получим условия возникновения максимумов и минимумов интенсивности результирующей волны в виде

$$I = I_{\max}, \text{ если } \Delta = m\lambda, (m = 0, 1, 2, \dots); \quad (17)$$

$$I = I_{\min}, \text{ если } \Delta = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}, (m = 0, 1, 2, \dots). \quad (18)$$

Интерференционные максимумы наблюдаются в точках пространства, для которых *оптическая разность хода интерферирующих волн равна целому числу длин волн или четному числу длин полуволн* (формула (17)).

Интерференционные минимумы наблюдаются в точках пространства, для которых *оптическая разность хода интерферирующих волн равна нечётному числу длин полуволн* (формула (18)).

Формулы (13) и (15) выражают условия максимумов и минимумов интерференционной картины через разность фаз.

Пусть источники когерентных волн S_1 и S_2 находятся друг от друга на некотором расстоянии d (рис. 8).

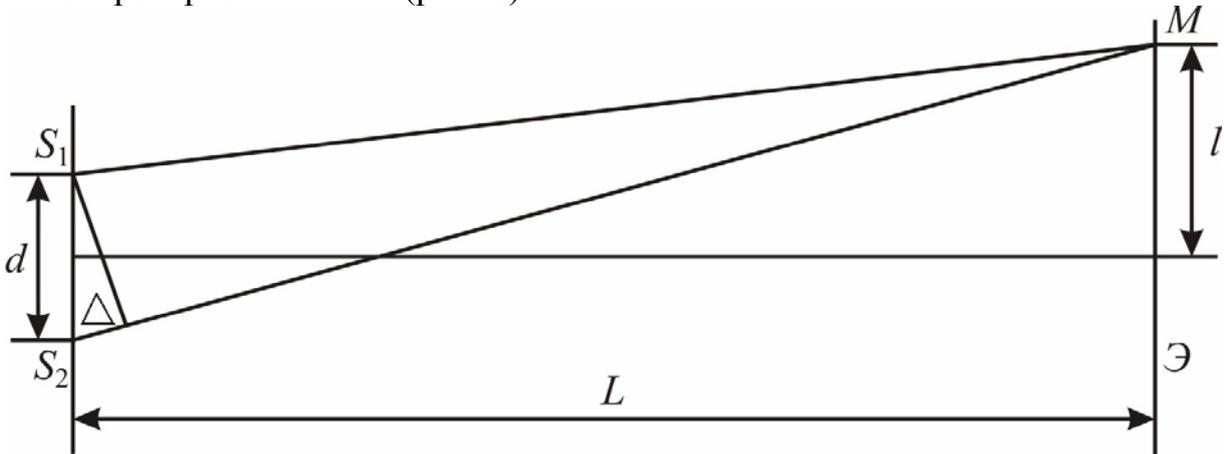


Рис. 8

Экран Э установлен от источников на расстоянии $L \gg d$. На экране будет наблюдаться интерференционная картина, и освещенность экрана в некоторой точке M будет зависеть, как это было показано выше, от разности хода Δ . Получим формулу для вычисления разности хода. Как видно из рис. 8, при условии, что d и l много меньше L , можно записать

$$\frac{\Delta}{d} = \frac{l}{L}, \text{ или}$$

$$\Delta = \frac{ld}{L}. \quad (19)$$

Так как Δ пропорциональна l , то с ростом l периодически будут выполняться то условия минимума, то максимума, и на экране будет наблюдаться интерференционная картина в виде периодически чередующихся темных и светлых полос.

Явление интерференции света широко применяется в технике, в частности, для прецизионных измерений длин, углов, оценки качества обработки поверхности и др.

2. ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Оптические измерительные приборы, действие которых основано на использовании интерференции света, называют **интерферометрами**. Для получения двух когерентных световых волн в интерферометрах используют светоделитель, выполненный либо в виде полупрозрачного зеркала, либо в виде призмы-куба с полупрозрачной гипотенузой. Светоделитель расщепляет световую волну на две части – отраженную и прошедшую через него. Полученные таким образом когерентные волны проходят различные оптические пути, отражаются от специальных зеркал и с помощью того же светоделителя направляются в объектив микроскопа или зрительной трубы, с помощью которых и наблюдают интерференционную картину. На рис. 9 показана оптическая схема интерферометра Линника. В качестве светоделителя в интерферометре используется призма-куб с полупрозрачной гипотенузой. Роль одного из зеркал выполняет изучаемая поверхность.

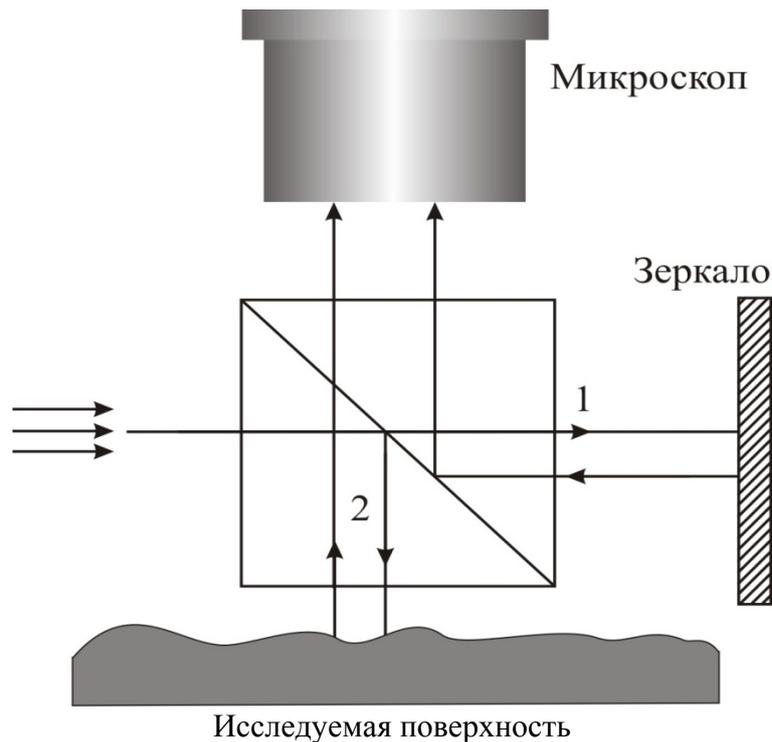


Рис. 9

Плоская световая волна (параллельный пучок света) от источника направляется на светоделитель и разделяется им на две волны 1 и 2.

Первая волна, отразившись от зеркала и от полупрозрачной гипотенузы светоделителя, попадает в объектив микроскопа. Вторая волна, отразившись от исследуемой поверхности и пройдя сквозь посеребренную гипотенузу куба, также поступает в микроскоп. Эти волны когерентны и

интерферируют. В микроскопе наблюдается интерференционная картина. Ее характер определяется разностью хода, возникающей при прохождении волн (пучков) 1 и 2 от полупрозрачной гипотенузы куба до соответствующих зеркал и обратно. Если исследуемая поверхность – идеально плоское зеркало, установленное перпендикулярно основному зеркалу, то все поле зрения микроскопа будет ровно освещено, т.к. в любой его точке обе волны будут иметь одну и ту же разность хода. Степень освещенности поля микроскопа будет зависеть от того, чему равна эта разность хода. Если $\delta = k\lambda$, то освещение максимально, а если $\delta = (2k + 1)\lambda/2$, то поле темное. Если одно из зеркал повернуть на небольшой угол, то разность хода волн будет линейно изменяться от точки к точке поверхности этого зеркала и в микроскопе будет наблюдаться интерференционная картина в виде чередующихся светлых и темных полос. Если исследуемая поверхность имеет дефекты, то в местах выступов или впадин интерференционные полосы искривляются. Искривление полос вызывается изменением длины пути, проходимого световой волной при ее отражении от впадин или выступов. Величина искривления полос тем больше, чем больше высота неровности или глубина царапины (рис. 10).

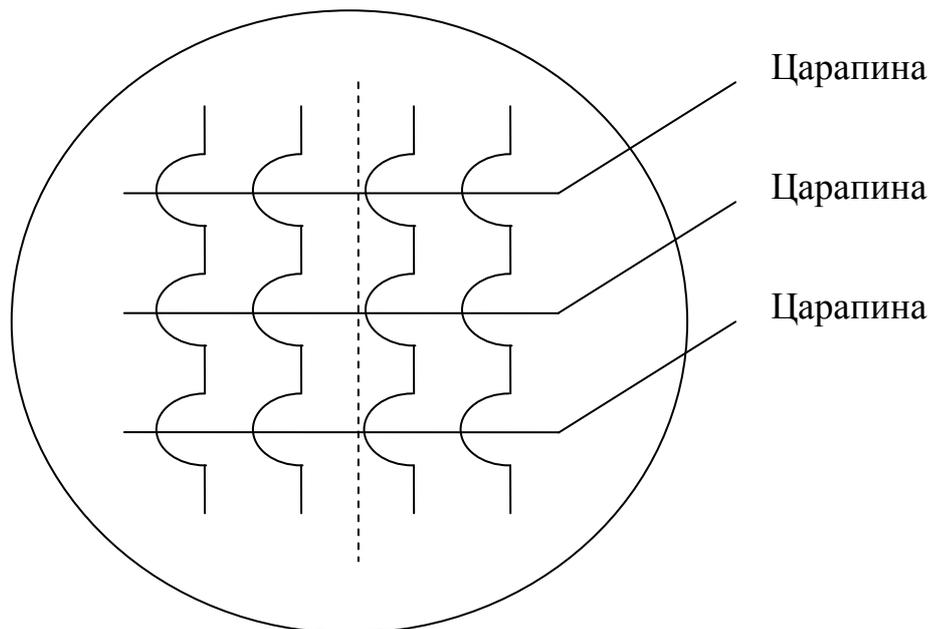


Рис. 10

В данной работе используется микроинтерферометр Линника МИИ-4, предназначенный для визуальной оценки, а также измерений и фотографирования высоты неровностей обработанных поверхностей.

В поле зрения микроинтерферометра МИИ-4 видны одновременно исследуемая поверхность и интерференционные полосы [при использовании полихроматического (белого) света это цветные линии].

Измерение величины искривления и расстояния между полосами (интервала или периода интерференционной картины) осуществляется винтовым окулярным микрометром МОВ-1-15, который прилагается к интерферометру.

Прибор МИИ-4 позволяет измерять высоты неровностей в пределах от 1-го до 30-ти мкм, что соответствует чистоте обработки поверхности с 10-го по 14-й класс включительно по ГОСТ 2789–73 (всего, в зависимости от качества обработки, поверхности оцениваются по 14-ти классам шероховатости).

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ НА МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРЕ

3.1. Настройка микроинтерферометра

1. Включите лампу 12 и положите испытуемую деталь 11 на столик прибора исследуемой поверхностью вниз (к объективу) (рис. 11). Для настройки правильного освещения необходимо обратиться к лаборанту.

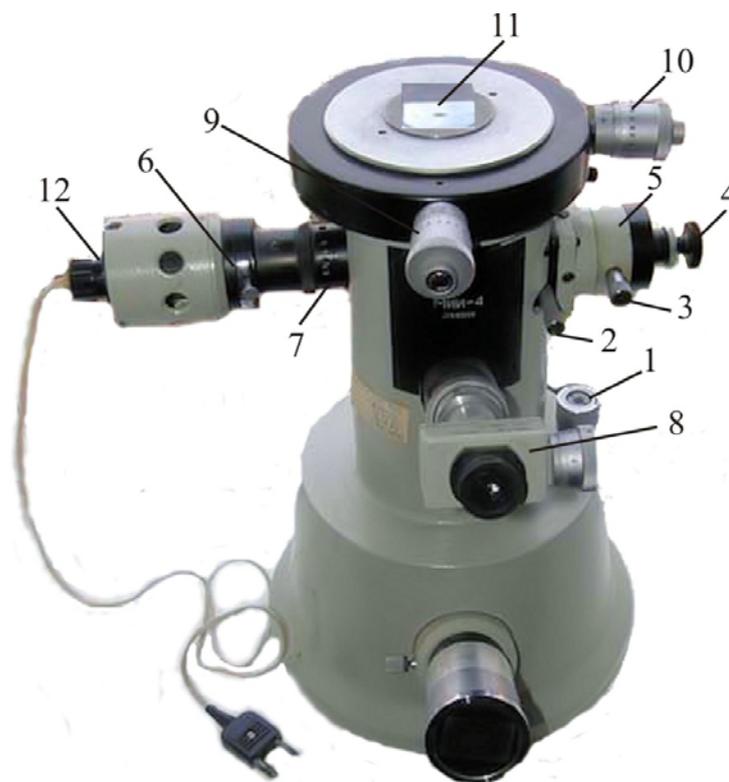


Рис. 11

2. Поверните рукоятку 2 так, чтобы отгравированная на ней стрелка расположилась вертикально, и с помощью микрометрического винта 4

сфокусируйте интерферометр на исследуемую поверхность (получите ее резкое изображение).

3. Поворотом рукоятки 2 включите головку объектива 5 (стрелка на рукоятке должна расположиться горизонтально); при этом в поле зрения должны быть видны интерференционные полосы (аналогичные изображенным на рис. 10).

4. С помощью микрометрического винта 1 добейтесь наиболее резкого изображения полос и такого положения, при котором в поле зрения будут видны одновременно изображение контролируемой поверхности и интерференционная картина.

5. Для получения бóльшей контрастности полос рекомендуется поворотом кольца 7 несколько уменьшить отверстие апертурной диафрагмы.

6. Необходимый для работы интервал между полосами интерференционной картины установите вращением головки винта 3 вокруг собственной оси.

7. Поворотом винта 3 вокруг оси головки объектива 5 установите интерференционные полосы перпендикулярно штриху (исследуемой царапине) на испытуемой поверхности.

8. Для работы с монохроматическим светом включите один из светофильтров, сдвинув пластину 6 до упора.

3.2. Измерение с помощью винтового окулярного микрометра и обработка результатов

Оценка качества полированной поверхности производится по результатам ряда измерений, выполняемых с помощью окулярного микрометра. Перед началом измерений следует, поворачивая окулярный микрометр 8 вокруг своей оси, выставить его так, чтобы подвижный индекс, состоящий из двух рисок, совпал с направлением интерференционных полос (в неискривленной их части) (рис. 12).

Затем для определения высоты или глубины одной из находящихся в поле зрения микроинтерферометра неровностей выполните следующие операции:

- а) измерьте интервал между интерференционными полосами d ;
- б) измерьте высоту изгиба полосы ΔN ;
- в) вычислите глубину или высоту неровности h по формуле

$$h = 0,5\lambda \Delta N / d, \quad (20)$$

где λ – среднее значение длины волны используемого освещения: для белого света (в отсутствии светофильтра) принимается $\lambda = 0,54$ мкм, в случае желтого светофильтра $\lambda = 0,59$ мкм, а в случае зеленого светофильтра $\lambda = 0,55$ мкм.

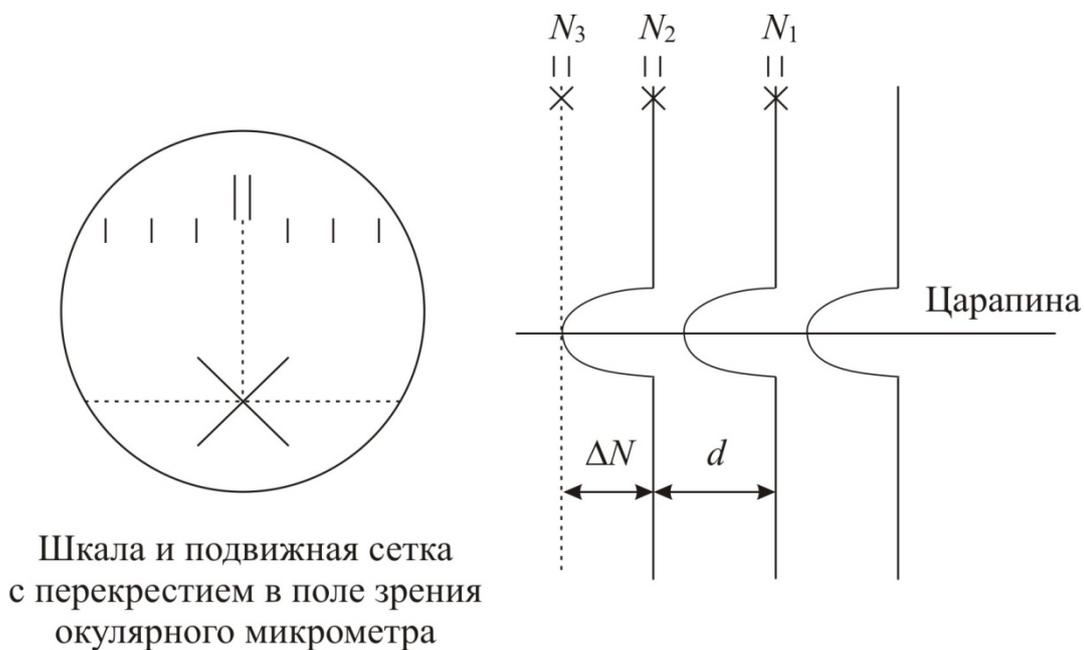


Рис. 12

Для определения интервала между интерференционными полосами и высоты их изгиба перекрестие в поле зрения окулярного микрометра совместите с серединой одной из темных полос, а затем по неподвижной шкале в поле зрения и по барабану микрометрического винта произведите отсчет величины N_1 . Полные миллиметры отсчитываются по шкале, десятые и сотые доли миллиметра – по барабану винта. Вращая барабан микрометрического винта, совместите перекрестие с серединой соседней темной полосы и произведите отсчет величины N_2 , а затем наведите перекрестие на вершину изгиба этой полосы и произведите отсчет величины N_3 . По формулам

$$d = |N_1 - N_2|; \quad (21)$$

$$\Delta N = |N_2 - N_3| \quad (22)$$

вычислите интервал между интерференционными полосами и высоту изгиба. Локальную глубину неровности h определите по формуле (20).

Пункты «а», «б» и «в» для одной и той же царапины следует повторить еще два раза, выбирая в качестве начальной каждый раз другую интерференционную линию. Среднее значение глубины выбранной неровности найдите путем усреднения по формуле

$$\langle h \rangle_k = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I h_i, \quad (23)$$

где I – число измерений, выполненных для k -й царапины.

Все измеренные и вычисленные величины занесите в табл. 2.

Таблица 2

№ царапины	№ измерения	N_1 , мм	N_2 , мм	N_3 , мм	d_i , мм	ΔN_i , мм	h_i , мкм	$\langle h \rangle_k$, мкм	$\langle\langle h \rangle\rangle$, мкм
1	1								
	2								
	3								
2	1								
	2								
	3								
3	1								
	2								
	3								

Перемещая столик с образцом винтами 9 и 10 (см. рис. 11), в поле зрения окулярного микрометра введите другую неровность и для нее произведите описанные выше измерения и расчеты.

Для получения усредненного значения неровности по всей исследуемой поверхности

$$\langle\langle h \rangle\rangle = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \langle h \rangle_k \quad (24)$$

необходимо найти среднюю высоту или глубину как минимум трех неровностей на этой поверхности. В формуле (24) K – число исследованных царапин.

Получив значение $\langle\langle h \rangle\rangle$, определите класс шероховатости поверхности по табл. 3, в которой приведены предельные значения $\langle\langle h \rangle\rangle$ для пяти классов шероховатости поверхности по ГОСТ 2789–73.

Таблица 3

Класс шероховатости	10	11	12	13	14
$\langle\langle h \rangle\rangle$, мкм	0,5–0,8	0,25–0,5	0,12–0,25	0,06–0,12	до 0,06

Примечание. Если царапина имеет глубину h за пределами классов 10–14, то прибор МИИ-4 измерения не выполнит.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ НА КОМПЬЮТЕРНОМ ИМИТАТОРЕ

1. На экране монитора в меню «Физическая лаборатория», подведя курсор и щелкнув левой кнопкой мыши, откройте раздел «Оптика и квантовая физика». Затем этой же кнопкой выберите лабораторную работу «Исследование качества полированной поверхности с помощью микроинтерферометра Линника» и, подведя курсор, активируйте клавишу «Выполнить». При этом откроется окно с изображением и описанием имитируемого прибора. Ознакомившись с прибором, активируйте левой кнопкой мыши клавишу «Выполнить» и войдите в окно с изображением поля зрения окулярного микрометра, вспомогательного рисунка и таблицы, в которую компьютерная программа будет заносить результаты измерений.

2. Выберите в поле зрения окулярного микрометра одну из царапин.

3. Совместите перекрестие окулярного микрометра с центральной линией любой темной интерференционной полосы этой царапины (в пределах неискривленного участка линии, т.е. выше или ниже изгиба). Управляйте перекрестием с помощью стрелок клавиатуры.

4. Нажав кнопку «Записать», занесите значение N_1 в экранную таблицу.

5. Переместите перекрестие на соседнюю центральную линию и, нажав кнопку «Записать», занесите значение N_2 в экранную таблицу.

6. Перемещая перекрестие вверх или вниз, а затем вправо или влево, наведите его на вершину изгиба этой линии. Нажмите кнопку «Записать» и занесите значение N_3 в экранную таблицу.

7. Повторите пп. 3–6 еще два раза, выбирая в качестве начальной линии каждый раз центральную линию другой темной интерференционной полосы. Результаты измерений перенесите с экранной таблицы в табл. 2 тетради.

8. Нажмите кнопку «Новый опыт» и, выбрав в поле зрения окулярного микрометра новую царапину, повторите пп. 3–7 с тем, чтобы получить девять наборов параметров N_1 , N_2 и N_3 для трех царапин.

9. Используя формулы (21), (22), (20) и (23), вычислите значения локальных интервалов между интерференционными полосами d_i , высоты изгиба ΔN_i , глубины царапины h_i , а также среднее значение глубины каждой из трех исследованных царапин $\langle h \rangle_i$.

10. По формуле (24) вычислите усредненное значение глубин царапин по всей исследуемой поверхности $\langle\langle h \rangle\rangle$, а результаты всех вычислений занесите в табл. 2.

11. Используя полученное значение $\langle\langle h \rangle\rangle$ и данные табл. 3, определите класс шероховатости исследованной поверхности.

Контрольные вопросы

1. Что такое электромагнитная волна?
2. Какими физическими величинами характеризуются электромагнитные волны? Укажите их единицы измерения.
3. Что представляет собой световое излучение?
4. Запишите закон изменения напряженности электрического и напряженности магнитного полей в электромагнитной волне.
5. Каким соотношением связаны мгновенные значения напряженностей электрического и магнитного полей?
6. Чему равна фазовая скорость электромагнитных волн?
7. Что такое вектор Умова-Пойнтинга? Как он направлен?
8. Изобразите графически электромагнитную волну и покажите направления векторов напряженности электрического поля, напряженности магнитного поля, скорости волны. Как связаны между собой направления векторов \vec{E} , \vec{H} , \vec{S} и \vec{v} ?
9. В чем заключается явление интерференции света?
10. Что такое интерференционное поле?
11. Что такое интерференционная картина?
12. Какие волны называются когерентными?
13. Опишите методы получения когерентных световых пучков (опыт Юнга, зеркало Ллойда, зеркала Френеля, бипризма Френеля).
14. Запишите и сформулируйте условия максимума и минимума интерференционной картины.
15. Чему равна разность фаз в случаях максимума и минимума интерференционной картины?
16. Что представляют собой геометрическая и оптическая разности хода волн?
17. Что такое интерферометр? Каков принцип работы интерферометра?
18. Почему на поверхности с дефектами интерференционные полосы искривляются?
19. Опишите порядок выполнения работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трофимова, Т.И. Курс физики [Текст]: учеб. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. – 17-е изд., стер. – М.: Академия ИЦ, 2013. – 560 с.
2. Курс общей физики [Текст]: учеб. пособие в 3 кн. Кн. 2. Электромагнетизм. Волновая оптика. Квантовая физика / Б.В. Бондарев, Н.П.Калашников, Г.Г. Спирин. – М.: Высшая школа, 2005. – 438 с.
3. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики [Текст].

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ.....	3
2. ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ.....	13
3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ НА МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРЕ	15
3.1. Настройка микроинтерферометра	15
3.2. Измерение с помощью винтового окулярного микрометра и обработка результатов	16
4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ НА КОМПЬЮТЕРНОМ ИМИТАТОРЕ.....	19
Контрольные вопросы.....	20
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	21

Учебное издание

Грейсух Григорий Исаевич
Шмарова Татьяна Сергеевна

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ
С ПОМОЩЬЮ МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРА ЛИННИКА**
Методические указания к лабораторной работе № 3

Р е д а к т о р Н.Ю. Шалимова
В е р с т к а Н.А. Сазонова

Подписано в печать 27.08.2014. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 80 экз.
Заказ №284.

Издательство ПГУАС.
440028, г.Пенза, ул. Германа Титова, 28.