

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА «ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА»

М.М. Кумыш

# ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

Методические указания



Волгоград  
2015

УДК 53 (075.5)

Рецензент:

*Канд. тех. наук, доцент А.Л. Суркаев*

Издается по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

М.М. Кумыш, **Изучение интерференционных колец ньютона** [Электронный ресурс]: методические указания //Сборник «Методические указания» Выпуск 3.- Электрон. текстовые дан.(1файл:141Kb) – Волжский: ВПИ (филиал) ГОУВПО ВолгГТУ, 2015.-Систем.требования:Windows 95 и выше; ПК с процессором 486+; CD-ROM.

Методические указания содержат рекомендации к выполнению лабораторной работы, представленной во второй части практикума кафедры «Прикладная физика и математика» Волжского политехнического института.  
Предназначены для студентов всех форм обучения.

©Волгоградский  
государственный  
технический  
университет, 2015  
© Волжский  
политехнический  
институт, 2015

## Лабораторная работа № 237

### ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

**237.1 Цель работы:** Изучение интерференции равной толщины на примере колец Ньютона и определение длины волны света.

#### 237.2. Описание лабораторной установки

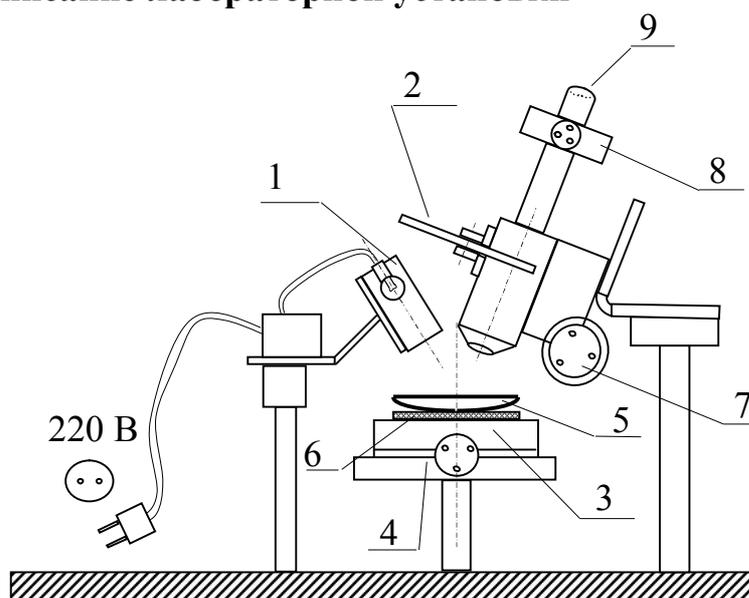


Рис.237.1

Приборы и принадлежности: линза, черная плоская стеклянная пластина, светофильтры (красный, зеленый, синий), микроскоп со встроенным полупрозрачным зеркалом для получения отраженного света и измерительной шкалой в поле зрения окуляра.

Установка (рис.237.1) предназначена для проведения исследований интерференции в схеме колец Ньютона и определения длины падающей волны.

Источником света является лампа накаливания 1, находящаяся в осветителе. Свет от нее, проходя через светофильтр 2 и вертикальный иллюминатор микроскопа, падает на полупрозрачное зеркало 3. Отражаясь от него свет проходит через объектив 4 и падает на плоско-выпуклую сферическую линзу

5, которая лежит на горизонтально расположенном черном стекле 6, создающем черный фон и дающем возможность четко видеть интерференционные кольца. Резкость изображения достигается с помощью винта каретки 7. Измерения радиусов (диаметров) колец Ньютона производятся по цифровой шкале 8, встроенной в окуляр 9 микроскопа. Цена деления шкалы  $S = 0,25 \cdot 10^{-3}$  м, радиус сферы линзы  $R = 0,3$  м.

Источником света является лампа накаливания 1, находящаяся в осветителе. Свет от неё падает на линзу 5, которая лежит на горизонтально расположенном чёрном стекле 6, создающем тёмный фон и дающий возможность чётко видеть интерференционные кольца. Резкость изображения достигается с помощью винта 7 каретки микроскопа. Измерения радиусов колец Ньютона производятся по цифровой шкале, встроенной в окуляр 9 микроскопа и микрометрическому винту 8, при вращении которого в поле зрения микроскопа будет перемещаться крестообразный визир.

*Примечание:* Измерение радиусов колец Ньютона можно произвести и с помощью микрометрического винта 4 предметного стола 3, передвигая с его помощью линзу, а, следовательно, и изображение в поле зрения микроскопа относительно неподвижного крестообразного визира.

### **237.3. Методика эксперимента**

*Интерференцией света* называется сложение нескольких когерентных световых волн, в результате которого образуется чередующиеся светлые и темные области, т.е. происходит перераспределение энергии этих волн в пространстве (вдоль фронта волны).

Во всех случаях интерференции увеличение интенсивности двух волн происходит, если они приходят в данную точку в фазе, уменьшение – если в противофазе. Поэтому оптическая разность хода лучей связана с длиной вол-

ны определенными соотношениями. Разберем этот вопрос более подробно. Для этого рассмотрим тонкий прозрачный слой, изготовленный из вещества с показателем преломления  $n$ , большим чем показатель преломления окружающей его среды (для однозначности в роли среды будет воздух). И этот слой имеет вид клина с малым углом  $\varphi$  (рис.237.2).

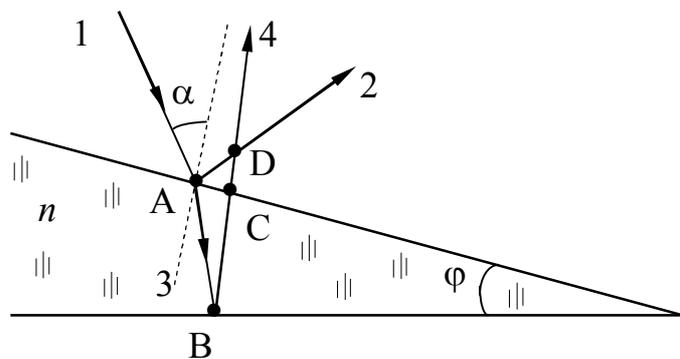


Рис.237.2

Пусть на верхнюю поверхность падает под малым углом  $\alpha$  луч 1 и в точке A разделяется на отраженный 2 и преломленный 3, который также отражается от нижней поверхности в точке B и после незначительного преломления в точке C выходит лучом 4. Лучи 2 и 4 будут когерентными, а значит будут интерферировать в точке их пересечения (точка D). Оптическая разность хода  $\Delta$  этих лучей будет равна:

$$\Delta = (AB + BC)n + CD - AD + \lambda/2, \quad (237.1)$$

слагаемое  $(\lambda/2)$  возникает вследствие скачка фазы на  $\pi$ , испытываемый волной 2 при отражении в точке A от поверхности клина с показателем преломления большим показателя преломления окружающего клин воздуха. Приближенно можно считать  $CD=AD=0$ ,  $AB=BC=d$ , тогда выражение (237.1) для оптической разности хода примет следующий вид:

$$\Delta = 2nd + \lambda/2 \quad (237.2)$$

Интерференционные максимумы будут наблюдаться при равенстве оптической разности хода целому числу длин волн:

$$\Delta_{max} = 2d_k n + \lambda/2 = k\lambda, \quad (k = 0, 1, 2, \dots). \quad (237.3)$$

Интерференционные минимумы будут наблюдаться при равенстве оптической разности хода нечетному числу полуволен:

$$\Delta_{min} = 2d_k n + \lambda/2 = (2k + 1)\lambda/2, (k = 0, 1, 2, \dots). \quad (237.4)$$

В этих формулах  $k$  – порядок интерференционного максимума или минимума соответственно.

Таким образом видно, что интерференционные максимумы (минимумы) возникают при определенных значениях толщины слоя  $d_k$ , поэтому такая интерференция называется *интерференцией равной толщины*. Здесь речь идет о толщине слоя, а не о ширине интерференционной полосы.

В случае клиновидного слоя эти максимумы и минимумы будут чередоваться в виде светлых (максимумы) и темных (минимумы) полос, параллельных ребру клина и для стороннего наблюдателя вся интерференционная картина, вследствие малости  $CD$  (рис.237.2) будет практически находится на поверхности клина, или вблизи этой поверхности, в то время как в других областях пространства над клином возникает лишь однородная освещенность (рис.237.3). Если интерференционная картина достаточно четко наблюдается вблизи какой-либо поверхности, то такая интерференция называется *локализованной*.

Следует отметить, что отчетливость интерференционной картины уменьшается при переходе от вершины клина к её основанию. Практически полосы равной толщины можно наблюдать, поместив вблизи клина линзу и за ней экран. Роль линзы может играть хрусталик глаза, а роль экрана – сетчатка глаза.

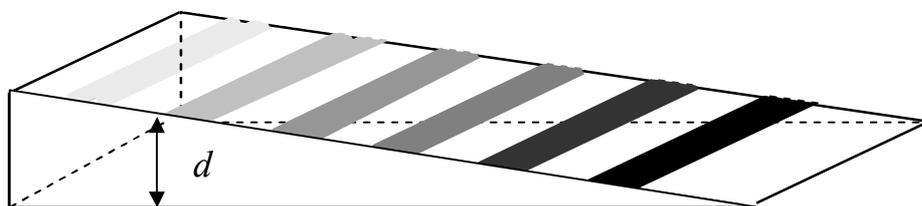


Рис.237.3

В общем случае полосы интерференционной картины на поверхности плёнки (или тонкого слоя) будут соответствовать геометрическим местам пленки, где она имеет одинаковую толщину.

При наблюдении в белом свете полосы приобретают радужную окраску. Это хорошо видно на тонких нефтяных или масляных пленках, покрывающих воду, а так же на мыльных пленках, в том числе на мыльных пузырях. Цвета побежалости на поверхностях металлов при их нагревании тоже обусловлены интерференцией на пленках прозрачных окислов.

Классическим примером полос равной толщины являются *кольца Ньютона*, которые наблюдаются в виде концентрических колец вблизи точки соприкосновения выпуклой поверхности линзы малой кривизны с плоской поверхностью стеклянной пластины. В этом месте образуется тонкий воздушный слой ( $n = 1$ ), который постепенно утолщается от точки соприкосновения к краям (рис.237.4,а).

Если направить монохроматический световой пучок нормально к плоской поверхности линзы (луч 1), то световые волны, отраженные от верхней (луч 2) и нижней (луч 3) границ воздушной прослойки будут интерферировать между собой. В отраженном свете получится следующая картина: в точке О (рис.237.4) соприкосновения линзы и плоской пластины будет наблюдаться темная точка, окруженная серией концентрических, светлых и темных колец с убывающей шириной. Такая интерференция, получаемая в тонком воздушном слое, образованном между линзой и плоской стеклянной пластиной называется *кольцами Ньютона*, поскольку такую интерференцию впервые описал И.Ньютон в 1675 году.

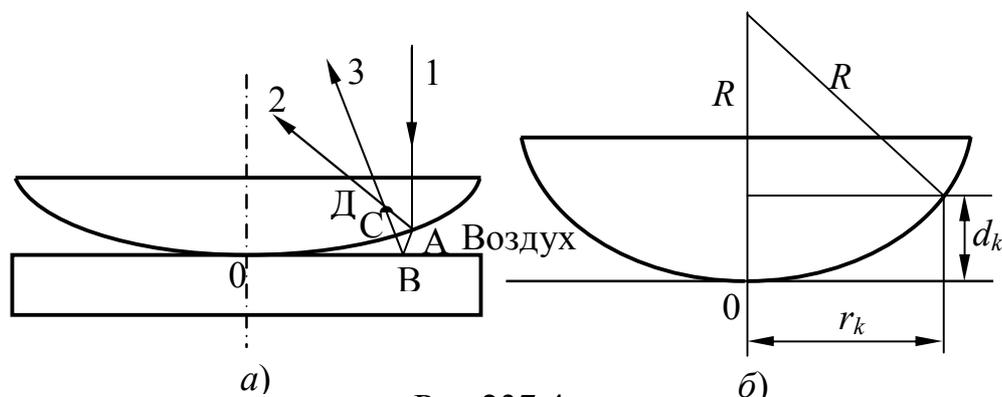


Рис.237.4.

Формула (237.2), определяющая оптическую разность хода лучей, отраженных от двух поверхностей слоя с учётом  $n = 1$  теперь примет вид:

$$\Delta = 2d + \lambda/2. \quad (237.5)$$

Здесь также принято во внимание различия в условиях отражения от верхней и нижней поверхностей прослойки, что приводит к дополнительной разности хода на  $\lambda/2$ . Эта разность возникает за счет скачка фазы на  $\pi$ , который происходит при отражении луча 3 от оптически более плотной среды в точке В (рис.237.4,а).

Рассчитаем размеры (радиусы) колец Ньютона. Обозначим радиус  $k$ -го кольца (светлого или тёмного) через  $r_k$ , а толщину воздушного зазора в этом месте как  $d_k$ . Из рис.237.4,б видно, что  $R^2 = (R - d_k)^2 + r_k^2$ , где  $R$  – радиус кривизны линзы. Отсюда получаем радиус кольца  $r_k$ , учитывая малость  $d_k$  по сравнению с  $R$ :

$$r_k = \sqrt{2Rd_k - d_k^2} \approx \sqrt{2Rd_k}. \quad (237.6)$$

Интерференционные максимумы наблюдаются при условии, что оптическая разность хода когерентных волн равна четному числу полуволен (или целому числу волн):

$$\Delta_{max} = 2k\lambda/2 = \lambda k \quad \text{или} \quad 2d_k + \lambda/2 = k\lambda.. \quad (237.7)$$

Выразим из (237.7) значение  $d_k$  и подставим в (237.6), получаем радиусы светлых колец (в отраженном свете):

$$r_{св k} = \sqrt{R(2k - 1)\lambda/2}, \quad (k = 0, 1, 2, \dots). \quad (237.8)$$

Интерференционные минимумы наблюдаются при условии, что оптическая разность хода интерферирующих волн равна нечетному числу полуволен:

$$\Delta_{min} = 2d_k + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1)\lambda/2, \quad (k = 0, 1, 2, \dots). \quad (237.9)$$

Выразив значение  $d_k$  и подставив в (237.6), получим радиусы темных колец (в отраженном свете):

$$r_{\text{мен}k} = \sqrt{Rk\lambda}, \quad (k = 0, 1, 2, \dots). \quad (237.10)$$

Если принять  $k = 0$ , то  $r_k = 0$ , что соответствует тому, что в центре должна быть темная точка. Это действительно наблюдается в отраженном свете (рис.237.5,а), и обусловлено изменением фазы на  $\pi$  при отражении световой волны от пластины, на которой лежит линза.

Кольца Ньютона наблюдаются и в проходящем свете. В этом случае проходящий луч интерферирует с лучом дважды отраженным на границе воздушной прослойки от оптически более плотной среды и каждый раз получающий скачок фазы на  $\pi$  и в итоге дополнительная разность хода исчезает. Поэтому в проходящем свете расположения светлых и темных колец становится обратным их расположению в отраженном свете (рис.237.5,б), тогда в центре картины будет наблюдаться светлая точка.

Следует отметить, что в проходящем свете интерференция наблюдается менее четко, чем в отраженном свете, так как интерферирующие волны сильно отличаются по амплитудам.

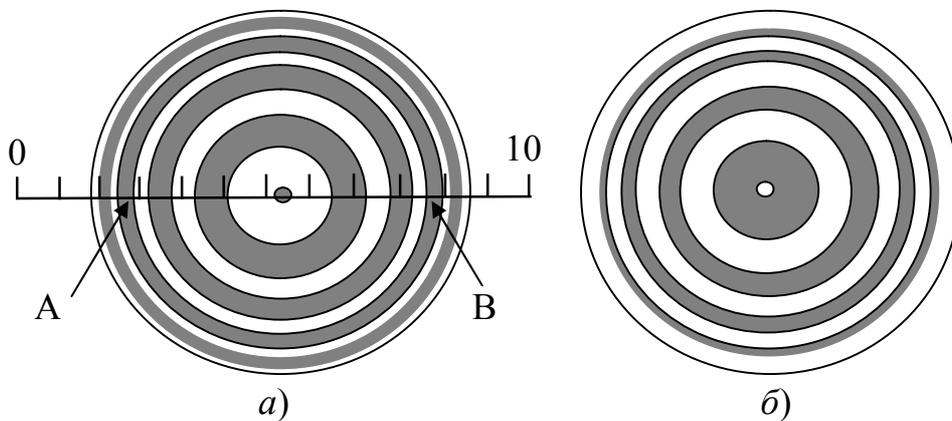


Рис.237.5. Кольца Ньютона:  
а) в отраженном свете; б) в проходящем свете

Используя схему колец Ньютона можно решать следующие задачи:

1) Если известна длина волны  $\lambda$ , то можно измерять радиусы кривизны поверхностей линз  $R$  и осуществлять контроль правильности форм сфериче-

ских и плоских поверхностей.

2) Экспериментально определяя радиус  $k$ -ого светлого кольца и радиус кривизны линзы  $R$  можно из (237.8) определить длину волны падающего света:

$$\lambda = \frac{2r_k^2}{R(2k-1)}. \quad (237.11)$$

Длину волны  $\lambda$  можно определить также используя радиус  $k$ -ого темного кольца воспользовавшись формулой (237.10):

$$\lambda = \frac{r_k^2}{Rk}. \quad (237.12)$$

В данной работе решается вторая задача. Для этого под вертикально установленный микроскоп (рис.237.1) укладывается горизонтально черная стеклянная пластина 6. Сверху на пластину кладется кусочек миллиметровой бумаги и винтом 7 производится фокусировка микроскопа на поверхность бумаги. Затем миллиметровая бумага удаляется и на стекло осторожно без скольжения кладется линза 5 выпуклой поверхностью вниз. В месте контакта линзы и пластины появится видимая на глаз в виде маленькой точки интерференционная картина, состоящая из цветных колец. Чтобы добиться хорошей видимости колец в поле зрения микроскопа необходимо, дополнительно перемещая черное стекло вместе с линзой, вывести кольца в центр поля зрения микроскопа. Устанавливая поочередно различные светофильтры, измеряются в разных цветах диаметры светлых или темных колец  $k$ -ого порядка ( $k \geq 4$ ). Пример колец Ньютона для разных светофильтров приведен на рис.237.6. По формуле (237.11) или (237.12) определяются длины волн пропускаемые светофильтрами.

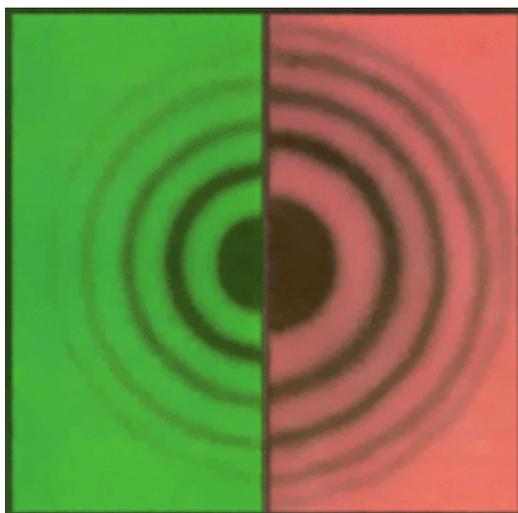


Рис.237.6

#### 237.4. Порядок выполнения работы

1. Установка настроена и никаким регулировкам не подлежит.
2. Включите осветитель 1, и установите в него красный светофильтр 2.
3. Определите по окулярной шкале (рис.237.5,*a*) координаты  $X_A$  и  $X_B$  точек  $A$  и  $B$ , лежащих на середине одной и той же интерференционной кольцевой полосы (слева и справа от центра кольца). Порядок (номер) кольца как светлого так и темного дается в задании преподавателем, причем  $k \geq 4$ .
4. Замените светофильтр 2 в осветителе 1 на зеленый и повторите измерения описанные в п.3.
5. Замените светофильтр 2 в осветителе 1 на синий и повторите измерения описанные в п.3. Результаты занесите в таблицу 237.2.

Таблица 237.1. *Параметры лабораторной установки.*

Радиус кривизны линзы, $R$ , м	Цена деления шкалы, $10^{-3}$ м
0,3	0,25

Таблица 237.2. *Определение длины световых электромагнитных волн разных цветов.*

Светофильтр	Кольцо	Порядок интерференции, $k$	Координаты по шкале, дел		$\frac{ X_A - X_B }{2}$ , дел	$r_k$ , $10^{-3} м$	$\lambda$ , нм	$\langle \lambda \rangle$ , нм
			$X_A$	$X_B$				
красный	светлое							
	темное							
зеленый	светлое							
	темное							
синий	светлое							
	темное							

### 237.5. Обработка результатов измерений

1. Радиус каждого кольца определите по формуле:

$$r_k = \frac{|X_A - X_B|}{2} S,$$

где  $S = 0,25 \cdot 10^{-3} м$  – цена деления шкалы.

2. По формулам (237.11) или (237.12) рассчитайте длину волны света. Результаты занесите в таблицу 237.1.

3. Сделайте вывод.

### 237.6. Контрольные вопросы

1. Что такое интерференция?
2. Какие лучи являются когерентными?
3. Что такое оптическая разность хода?
4. Условия возникновения интерференционных максимумов (минимумов)?
5. Дайте объяснение интерференции равной толщины.
6. Что такое кольца Ньютона и как они получаются?

7. Другие способы наблюдения интерференции.
8. Что такое просветленная оптика?
9. От каких факторов зависят случайные погрешности в данной экспериментальной работе?

**Литература, рекомендуемая для обязательной проработки:** [1], §§4.1,..., 4.4; [2], §§16,..., 20; [3], §§26,..., 31; [4], §§170,..., 175; [5], §§V.4.1, V.4.2.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы: Учебное пособие для физич. спец. вузов. – 5-е изд., испр. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 263 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики в 4-х томах. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. – М.: КноРус, 2012. – Т.2. – 576 с.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – Т.4. – 792 с.
4. Трофимова Т.И. Курс физики. – 20-е изд., стер. – М.: Изд-во «Академия», 2014. – 560 с.
5. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – 8-е изд., испр. и перераб. – М.: Изд-во «Оникс», 2008. – 1056 с.

Учебное издание

Михаил Маркович **Кумыш**

## **ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ КОЛЕЦ НЬЮТОНА**

Методические указания

в авторской редакции

Темплан 2007 г., поз.№ \_\_27. В\_

Лицензия ИД № 04790 от 18.05.2001 г.

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. \_1,16\_\_.

Уч.-изд. л. \_1,2 на магнитносителе

Волгоградский государственный технический университет.

400131, г. Волгоград, просп. им. В.И. Ленина 28.

РПК “Политехник” Волгоградского государственного  
технического университета.

400131, Волгоград, ул. Советская, 35.