3. Объясните принцип получения когерентных световых волн и приведите конкретные примеры /помимо бипризмы Френеля/.

4. Обязательно ли будет наблюдаться интерференция при наложении когерентных волн в случае: а/ звуковых волн, б/ световых волн?

5. Что называется оптической и геометрической разностями хода лучей /волн/?

6. Выведите формулу /3/. Запишите выражение δ через длину λ' световой волны в однородной среде.

7. Выведите условие /4/.

8. Выведите формулы /5/ и /6/. Почему преломляющие углы бипризмы должны быть очень малы?

9*. Принимая в опыте с бипризмой Френеля $a = b = 0{,}5$ м и разрешающую способность глаза $\Delta x_0 = 0{,}2$ мм, оцените максимальное допустимое значение преломляющего угла бипризмы φ при наблюдении интерференции невооруженным глазом и в проведенном в работе опыте.

10*. Получите закон распределения интенсивности на экране $I(x)$ в опыте с бипризмой в зависимости от расстояния от центра картины.

11*. Как и почему влияет на интерференционную картину неполная монохроматичность используемого света? Выведите соотношение /7/.

12*. Как и почему влияют на интерференционную картину линейные размеры источника света? Получите выражение для предельно допустимой ширины щели b_{max} в опыте с бипризмой Френеля.

13. Выведите соотношение /14/ и получите рабочую формулу /15/.

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1978. – Т.2,– § 110, 119, 120, 121, 122.

2. Сивухин Д.В. Общий курс физики, оптика. – М.: Наука, 1980,– § 26, 27, 28, 30, 33.

Лабораторная работа 3-2

ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА

/кольца Ньютона/

Цель работы – изучить полосы равной толщины на примере колец Ньютона; определить радиус кривизны сферической поверхности прозрачного тела /линзы/.

Краткие теоретические сведения

Так как по своей природе излучение независимых естественных источников света некогерентно, для получения когерентных пучков и наблюдения интерференции света световую волну от одного источника тем или иным способом делят на две когерентные волны. Один из таких способов - частичное отражение и преломление при падении светового пучка на тонкую прозрачную пластинку /пленку/ с параллельными или почти параллельными преломляющими гранями /рис.I/. В результате преломления и частичного отражения от верхней и нижней граней из каждого падающего на пленку луча I формируется два когерентных луча $1'$ и $2'$ практически одинаковой интенсивности, что создает предпосылки для наблюдения четкой интерференционной картины в отраженном свете, т.е. при рассмотрении пластинки со стороны направления отраженных лучей.

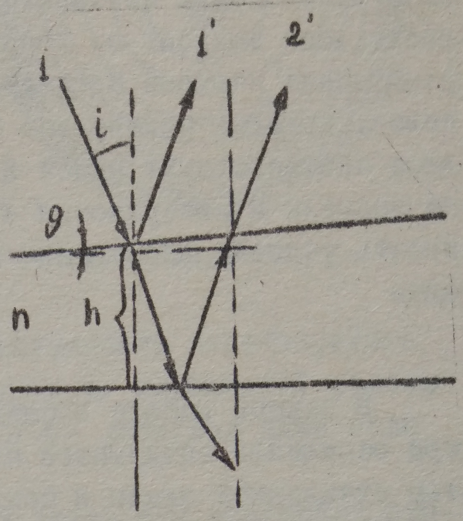


Рис.I

Условия возникновения интерференционной картины определяются степенью временной и пространственной когерентности используемого света и разрешающей способностью регистрирующего прибора и сводятся к требованию малости толщины пластинки h и угла 2ϑ между ее преломляющими поверхностями. Так, при использовании лампы накаливания с обычным светофильтром /цветное стекло/ и визуальном наблюдении должны выполняться условия $h < 10^{-2}$ мм и $2\vartheta < 10'$.

При малых 2ϑ оптическая разность хода лучей $1'$ и $2'$

$$\Delta = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2}, \qquad (1)$$

где h - толщина пластины в месте падения луча, n - показатель преломления пластины, i - угол падения луча, λ - длина световой волны в вакууме.

Общие условия интерференционных минимумов

$$2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = k\lambda$$

и максимумов

$$2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda, \qquad (2)$$

где $k = 0, 1, 2 \ldots$ - порядок /номер/ интерференционной полосы.

Различают два случая интерференции в тонких пластинах при освещении их монохроматическим светом: 1/ свет падает под различными углами на плоскопараллельную пластинку и 2/ параллельный пучок лучей падает на клиновидную пластинку. В первом случае $h = const$, и результат интерференции зависит только от угла падения i. Интерференционные полосы в этом случае называются полосами равного наклона; во втором - разность хода зависит от толщины клина в месте падения лучей, и интерференционная картина представляет собой совокупность темных и светлых полос, которые называются полосами равной толщины, так как каждая полоса соответствует одной и той же толщине клина. Если клин освещается по нормали к поверхности ($i = 0$), как это обычно бывает, то можно записать условие наблюдения темных интерференционных полос равной толщины

$$2nh = k\lambda. \qquad /3/$$

В данной работе исследуются полосы равной толщины, возникающие при освещении воздушного клина, образованного сферической поверхностью стеклянной линзы и соприкасающейся с ней поверхностью плоскопараллельной стеклянной пластинки.

Описание эксперимента "кольца Ньютона"

Для наблюдения интерференционных колец Ньютона система, состоящая из соприкасающихся, как показано на рис.2, плоско-выпуклой линзы большого радиуса кривизны и толстой плоскопараллельной пластинки освещается по нормали к поверхностям линзы и пластинки параллельным пучком монохроматического света /лампа накаливания со светофильтром/. Пространство между выпуклой поверхностью линзы и верхней плоскостью пластины представляет собой тонкий воздушный /$n = 1$/ клин, при отражении от поверхностей которого /т.е. в точках А и В для показанного на рис.2 луча 1/ формируется два когерентных отраженных пучка лучей /на рис.2 лучи 1′ и 2′/, интерферирующих с образованием системы полос равной толщины в виде концентрических темных и светлых колец /рис.3/. Используя очевидные из рис.2 геометрические соотношения и условие /3/ и учитывая малость h_k при больших R,

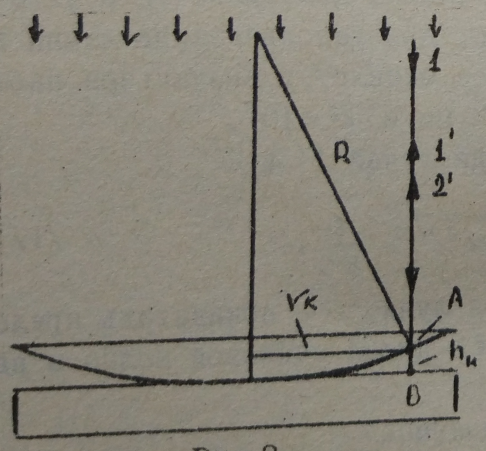


Рис.2

легко получить общее выражение для радиусов r_k темных колец Ньютона при наблюдении в отраженном свете:

$$r_k = \sqrt{k R \lambda} . \qquad /4/$$

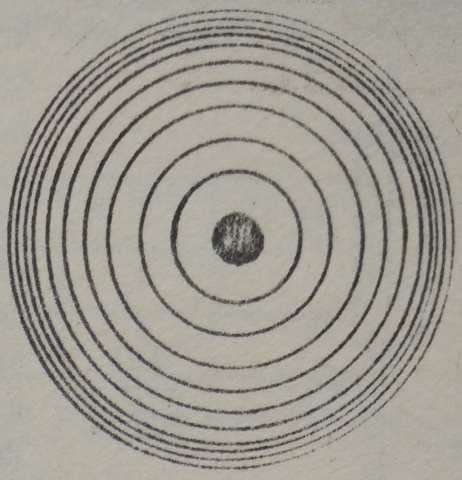


Рис.3

Из /4/ следует, что в центре наблюдается темное пятно /нулевое "кольцо"/ и что по мере увеличения номера k расстояние между соседними кольцами уменьшается. Поэтому при достаточно больших k светлые и темные кольца сливаются и интерференционная картина исчезает. Число наблюдаемых колец тем больше, чем больше радиус кривизны используемой линзы. Другой причиной, ограничивающей число наблюдаемых колец, является неполная монохроматичность используемого света, вследствие чего максимальный порядок /номер/ наблюдений полосы не превышает значения $k_{max} = \lambda / \Delta\lambda$, где $\Delta\lambda$ - интервал длин волн в облучающем пучке света.

Измерения радиусов r_k интерференционных колец при освещении линзы светом с известной длиной волны λ позволяет определить по /4/ радиус кривизны R сферической поверхности исследуемой линзы. Для повышения точности метода измеряют радиусы нескольких колец r_k и строят график зависимости r_k^2 от k /рис.4/. Радиус кривизны R линзы определяют по наклону на графике α:

$$R = \frac{\alpha}{\lambda} , \quad \alpha = \frac{\Delta(r_k^2)}{\Delta k} . \qquad /5/$$

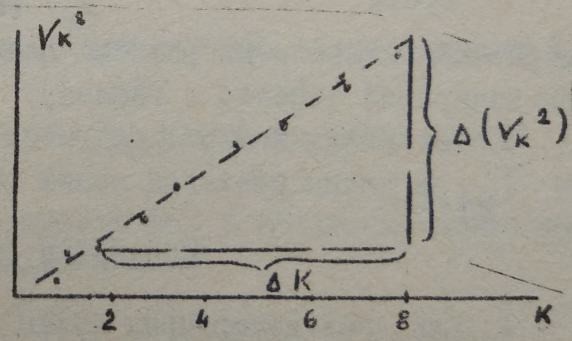


Рис.4

Значение α определяют по методу наименьших квадратов /МНК/. Описание МНК дано в прил.I ($r_k^2 = y_i$, $k = x_i$).

Описание экспериментальной установки

Оптическая схема установки для наблюдения колец Ньютона показана на рис.5. Опыт выполняется с помощью измерительного микроскопа. Исследуемая линза $Л$ с плоскопараллельной пластинкой $П$ размещается на предметном столике микроскопа. Для освещения системы узкий горизонтальный пучок света от осветителя $О$ со светофильтром φ направляется

на прозрачную стеклянную пластинку $П_1$, установленную под углом 45° к направлению лучей. Отраженные от пластинки $П_1$ вниз лучи падают нормально на поверхность линзы $Л$ и после отражения от линзы и пластины $П$ попадают в зрительную трубу $ЗТ$ микроскопа. Интерференционная картина /система колец Ньютона/ наблюдается с помощью окулярного микрометра микроскопа, снабженного измерительной шкалой для определения размеров интерференционных колец.

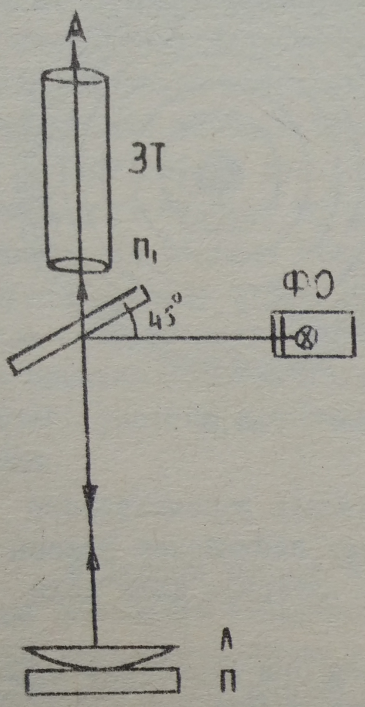


Рис.5

Порядок выполнения работы

1. В соответствии с инструкцией на рабочем месте произвести настройку установки и получить четкую интерференционную картину.

2. В соответствии с этой инструкцией измерить координаты левых x_k' и правых x_k'' точек пересечения с визирной линией измерительной шкалы микроскопа для десяти первых темных колец. Результаты измерений занести в таблицу.

3. Сосчитать число k_{max} всех наблюдаемых темных колец. Значения k_{max} и длины световой волны λ занести в таблицу.

Обработка результатов

1. Для всех измеренных колец определить значения r_k^2 и занести их в таблицу.

2. В соответствии с полученными значениями r_k^2 нанести точки на график зависимости r_k^2 от k.

3. С помощью МНК рассчитать угловой коэффициент α аппроксимирующей прямой зависимости k_k^2 от k и стандартное отклонение σ_α.

4. По формуле /5/ рассчитать радиус кривизны R линзы и оценить погрешность σ_R.

Дополнительное задание

1. Приняв разрешающую способность глаза $\Delta x = 0{,}2$ мм и учитывая увеличение микроскопа, рассчитать максимально возможное число k'_{max} темных колец, которые должны наблюдаться при строго монохроматическом освещении. Сравнить k'_{max} с реально полученным в опыте числом k_{max}.

2. Объяснить полученное соотношение между K'_{max} и K_{max} и оценить ширину $\Delta\lambda$ полосы пропускания использованного в работе светофильтра.

K	I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
X'_{K}, мм										
X''_{K}, мм										
r^2_K, м^2										
	K_{max} =					K'_{max} =				
	λ (нм) =					$\Delta\lambda$ (нм) =				

Контрольные вопросы

I. Что такое интерференция света и при каких условиях она наблюдается?

2. Какие волны называются когерентными? Почему излучение естественных источников света некогерентно?

3. Как получают когерентные волны в оптике? Объясните принцип и приведите конкретные примеры.

4. Что такое оптическая и геометрическая разность хода лучей? Связь между ними в однородной среде.

5. Выведите соотношение между разностью фаз и разностью хода двух когерентных волн.

6. Выведите формулу /I/ и условия /2/.

7*. Что такое полосы равного наклона? Очень тонкая плоскопараллельная пластинка $h \sim 10^{-6}$ м освещается параллельным пучком белого света так, что угол падения лучей i постепенно увеличивается от $i_1 \geq 0^0$ до $i_2 \leq 90^0$. Что будет происходить при наблюдении пластинки в отраженных лучах?

8. Что такое полосы равной толщины? Получить выражение для расстояния Δx между соседними темными полосами /ширина полосы/ при нормальном освещении клина с углом φ и показателем преломления n светом с длиной волны λ в вакууме. Оцените максимально возможное значение φ при наблюдении интерференции невооруженным глазом. Разрешающую способность глаза принять $\Delta x_0 = 0{,}2$ мм, $n = 1{,}5$, $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$ м.