

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ, ДЛИНЫ
КОГЕРЕНТНОСТИ И ШИРИНЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА
С ПОМОЩЬЮ КОЛЕЦ НЬЮТОНА**

*Методические указания
к лабораторной работе №3-5 (2 вариант)*

Составитель: *Т.В.Кривко*

УДК 535 (075)

Определение длины световой волны, длины когерентности и ширины спектрального интервала с помощью колец Ньютона: Метод. Указания к лаб. раб. №3-5 (2 вариант)/ Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Сост. *Т.В.Кривко*. Самара, 2003. 20с.

Методические указания к лабораторной работе содержат краткое теоретическое введение; описание экспериментальной установки для наблюдения интерференционных колец Ньютона; методики определения длины световой волны, длины когерентности и ширины спектрального интервала; порядок выполнения лабораторной работы; два варианта обработки полученных результатов (в том числе, с помощью компьютера); перечень контрольных вопросов, необходимых для самостоятельной подготовки студентов; список рекомендуемой литературы.

Методические указания рекомендованы студентам всех факультетов, а также могут быть использованы в аэрокосмическом лицее.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П.Королева.

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор В.В.Котляр

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ, ДЛИНЫ КОГЕРЕНТНОСТИ И ШИРИНЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА С ПОМОЩЬЮ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

1. ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Настоящие методические указания (МУ) устанавливают методику выполнения измерений с помощью интерферометра Ньютона средней длины световой волны, пропускаемой светофильтром из сплошного спектра лампы накаливания осветителя, с относительной погрешностью не более 5%; методику оценивания длины когерентности света и ширины его спектрального интервала.

В процессе изучения МУ и выполнения измерений должны быть решены следующие задачи:

1. изучены основные закономерности явления интерференции;
2. изучены понятия временной и пространственной когерентности
3. определена длина волны света;
4. выполнены оценки параметров временной и пространственной когерентности;
5. Определены погрешности результатов измерений;
6. Составлен письменный отчет, включающий в себя название работы; фамилию и номер группы исполнителя; наименование средств измерений; систематизированные по измерительным задачам результаты экспериментов: сводные таблицы и графики; оценку погрешностей результатов измерений; окончательные результаты с учетом погрешности и общие выводы по работе.

2. ОПИСАНИЕ ИЗМЕРЯЕМЫХ ВЕЛИЧИН

Интерференцией световых волн называется явление пространственного перераспределения интенсивности света в области наложения двух или нескольких *когерентных* волн, которое проявляется в образовании чередующихся полос максимальной и минимальной освещенности. *Когерентность* – это согласованное протекание во времени и пространстве нескольких колебательных процессов. Световые волны когерентны, если колебания происходят в одной плоскости и *разность фаз* колебаний, возбуждаемых световыми волнами в точке наблюдения, остается постоянной во времени.

Строго *монохроматические* волны одной и той же частоты, даже от двух различных точечных источников, всегда интерферируют между собой, т.е. когерентны. Интенсивность света в произвольной точке интерференционной картины зависит от оптической разности хода интерферирующих пучков. В тех местах поля наблюдения, где оптическая разность хода равна целому числу длин волн λ (четному числу полуволн) получаются светлые полосы, а в тех местах, где оптическая разность хода равна нечетному числу полуволн – темные полосы.

Условия *интерференционных максимумов и минимумов* имеют вид

$$\Delta = \begin{cases} m\lambda = 2m\frac{\lambda}{2} & \text{(светлые полосы),} \\ \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda = (2m + 1)\frac{\lambda}{2} & \text{(темные полосы),} \end{cases} \quad (1)$$

где целое число $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ - *порядок интерференции*,
 Δ - *оптическая разность хода* интерферирующих волн.

Реальные источники излучают не монохроматический свет. Излучение такого источника создается большим количеством атомов, излучающих независимо друг от друга, и может быть представлено в виде совокупности монохроматических волн с близкими частотами, лежащими в интервале $\delta\nu$. Если спектральный интервал $\delta\nu \ll \nu$, то такое излучение называется *квазимонохроматическим*. Амплитуда и фаза квазимонохроматической волны случайным образом зависят от времени из-за хаотичности процессов излучения. Среднее время, за которое происходит существенное изменение амплитуды волны и фаза меняется на величину $\sim \pi$, называется *временем когерентности* τ . Расстояние $l = c\tau$, на которое перемещается волна за время τ , называется *длиной когерентности* (здесь c – скорость света в вакууме).

Часто употребляется модель квазимонохроматической волны в виде последовательности волновых цугов, каждый из которых представляет собой отрезок синусоиды длительностью τ . Если в точке наблюдения происходит наложение независимых цугов волн, испущенных в разные моменты времени, интерференции не возникнет, поскольку разность фаз быстро и беспорядочно меняется от одной пары цугов к следующей и, следовательно, одна система интерференционных полос быстро сменяет другую, приемник света усредняет картину за время своего срабатывания и фиксирует в итоге равномерную освещенность. Устойчивая картина интерференции возникнет только в случае наложения волн, принадлежащих одному цугу. Это достигается разделением пучка света на два и сведением их разными путями в область наблюдения. При этом, оптическая разность хода между пучками должна быть меньше длины цуга или длины когерентности.

Это требование ограничивает число видимых интерференционных полос. Контраст полос становится равным 0, когда разность хода лучей Δ сравнивается с длиной когерентности l используемого света (при дальнейшем увеличении разности хода лучей полосы появляются вновь, но обычно незначительного контраста и в рамках данной работы не рассматриваются). Таким образом, максимальная разность хода Δ_{max} , для которой еще наблюдаются интерференционные полосы, определяется полным числом m_{max} видимых интерференционных полос:

$$\Delta_{max} = l = \begin{cases} m_{max} \lambda & \text{(для светлых полос),} \\ (m_{max} + \frac{1}{2}) \lambda & \text{(для темных полос).} \end{cases} \quad (2)$$

Время когерентности связано со спектральной шириной излучения соотношением $\tau \sim 1/\delta\nu$.

Выразим τ через длину волны λ . Известно, что: $\nu = c/\lambda$. Продифференцировав это равенство, получим с точностью до знака: $\delta\nu \approx c\delta\lambda/\lambda^2$.

Тогда, время когерентности определяется соотношением

$$\tau \sim \lambda^2/c\delta\lambda,$$

длина когерентности

$$l = c\tau \sim \lambda^2/\delta\lambda, \quad (3)$$

ширина спектрального интервала

$$\delta\lambda \sim \lambda^2/l. \quad (4)$$

3. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

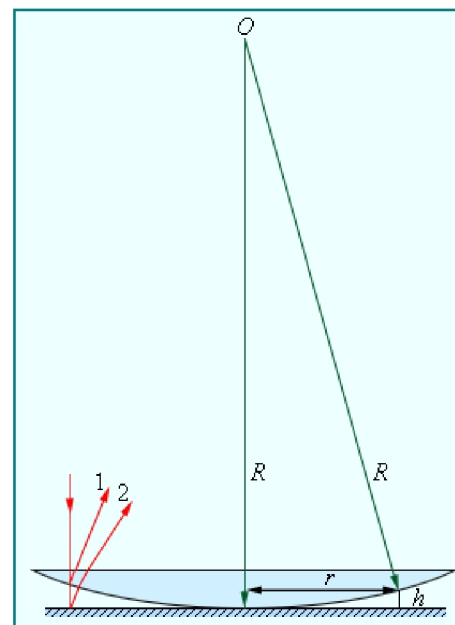


Рис. 1. К расчету разности хода интерферирующих пучков при наблюдении колец Ньютона

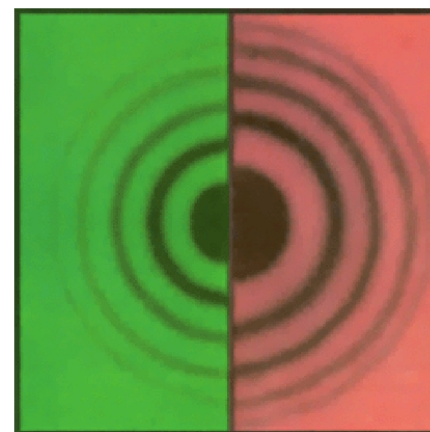


Рис. 2. Колца Ньютона для зеленого и красного света

Кольца Ньютона образуются при интерференции световых волн, отраженных от границ тонкой воздушной прослойки, заключенной между выпуклой поверхностью линзы и плоской стеклянной пластинкой (рис.1). Линза освещается сверху практически параллельным пучком лучей. Наблюдение ведется в отраженном свете. При прохождении оптической системы линза-пластинка волна испытывает частичное отражение на каждой границе раздела сред. Когерентными являются только волны, отраженные от границ воздушной прослойки, поскольку оптическая разность хода между ними вблизи точки соприкосновения оптических элементов не превышает длины когерентности используемого для наблюдения колец света. Интерференционная картина локализована на поверхности воздушной прослойки и представляет собой систему concentric rings с центром в точке соприкосновения линзы с пластинкой (рис.2).

Для определения положения темных и светлых интерференционных полос найдем оптическую разность хода Δ между интерферирующими лучами. При рассмотрении хода лучей можно пренебречь их небольшими наклонами в воздушном зорре из-за большого

радиуса кривизны линзы и считать, что лучи идут практически вертикально. Геометрическая разность хода тогда равна $2h$, где h – толщина воздушного зазора в данном месте. Один из интерферирующих лучей в процессе распространения *отражается от границы с оптически более плотной средой и фаза его колебаний меняется* при этом на π , что соответствует возникновению дополнительной разности хода равной $\lambda/2$. Полная разность хода, считая показатель преломления воздуха в зазоре $n \approx 1$, равна

$$\Delta = 2h + \lambda/2 . \quad (5)$$

При заданном значении длины волны разность хода зависит только от толщины воздушного зазора; интерференционные полосы являются, таким образом, *линиями равной толщины*.

Установим связь между радиусами r колец Ньютона и радиусом кривизны R линзы. Из геометрических соображений (рис.1):

$$r^2 = R^2 - (R - h)^2 = 2Rh - h^2 .$$

Так как $h \ll R$, величиной h^2 можно пренебречь по сравнению с $2Rh$, тогда

$$r^2 = 2Rh , \quad (6)$$

Подставляя (6) в (5) получаем:

$$\Delta = r^2/R + \lambda/2 . \quad (7)$$

Из (7) и (1) получаем формулы для определения длины волны света через радиусы темных и светлых колец Ньютона

$$\lambda = \begin{cases} \frac{r_m^2}{mR} & \text{(для темных колец),} \\ \frac{r_m^2}{(m - 1/2)R} & \text{(для светлых колец).} \end{cases} \quad (8)$$

При проведении эксперимента видно, что контраст колец Ньютона уменьшается от центра картины к ее периферии. Простой подсчет числа видимых интерференционных полос m_{max} позволяет по формулам (2) и (4) оценить длину когерентности и ширину спектрального интервала используемого для наблюдения колец света.

Формулами (8) можно пользоваться для определения длины волны

света в случае идеального соприкосновения сферической линзы и плоской пластинки в одной точке.

Нарушение контакта между линзой и пластинкой в эксперименте (присутствуют посторонние включения, либо имеет место упругая деформация стекла) приводит к возникновению систематической ошибки методики измерений, поскольку *номер кольца перестает совпадать с порядком интерференции*.

Меньше всего искажены из-за контактной деформации стекол кольца с большими порядковыми номерами. Поэтому на практике центральные четыре-шесть колец для измерений не используют.

Для исключения постоянной систематической ошибки применяют два метода: вычислительный и графический.

1. Вычислительный метод состоит в определении λ по разности значений радиусов колец:

$$\lambda = \frac{r_2^2 - r_1^2}{(m_2 - m_1)R} , \quad (9)$$

где r_1 и r_2 – радиусы колец соответственно с номерами m_1 и m_2 .

Использование формулы (9) избавляет от необходимости:

- определять собственно порядки интерференции m_1 и m_2 – достаточно знать лишь разность $(m_2 - m_1)$;
- скрупулезно центрировать кольца относительно шкалы окуляра микроскопа – формула (9) теоретически точно дает одинаковые результаты для измерений, выполненных вдоль линий AA или BB (рис.2).

Погрешность данного метода зависит, в основном, от погрешности определения радиусов колец. Эта погрешность уменьшается при увеличении стоящей в знаменателе (9) разности $(m_2 - m_1)$. Поэтому при вычислении длины волны света по формуле (9) следует использовать кольца, отличающиеся по номеру на максимально возможную в эксперименте величину.

2. Графический метод состоит в определении λ по тангенсу угла $tg\alpha$ наклона прямой $r_m^2 = f(m)$ к оси абсцисс по формуле

$$\lambda = \frac{tg\alpha}{R} . \quad (10)$$

Графический метод позволяет определить λ по всей совокупности экспериментальных данных и оценить значение систематической ошибки Δm по координате точки пересечения графика с осью абсцисс. Ошибка в определении порядка интерференции m и центрировке колец приводит к

сдвигу графика без изменения наклона.

Остается лишь решить вопрос о том, как по экспериментальным точкам провести наилучшую прямую. Если экспериментальные точки близко группируются вдоль прямой (в пределах удвоенной абсолютной погрешности измерений), то график можно с достаточной точностью провести "на глаз". При этом прямая должна проходить возможно ближе к экспериментальным точкам и так, чтобы по обе стороны графика оказывалось приблизительно равное их количество.

Аналитическое сглаживание результатов измерений часто проводится методом наименьших квадратов (МНК). Критерий сглаживания данного метода: сумма квадратов отклонений y -координат всех экспериментальных точек от y -координат графика искомой функции должна быть минимальной. Этот метод содержится в математическом арсенале электронных таблиц. Поэтому целесообразно воспользоваться для построения графика стандартными средствами, например, MS Excel, не прибегая к вычислению коэффициентов прямой по достаточно громоздким формулам МНК (см. п.6.2.).

4. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Экспериментальная установка состоит из измерительного микроскопа, на предметный столик которого помещается оправка с линзой и плоскопараллельной пластинкой.

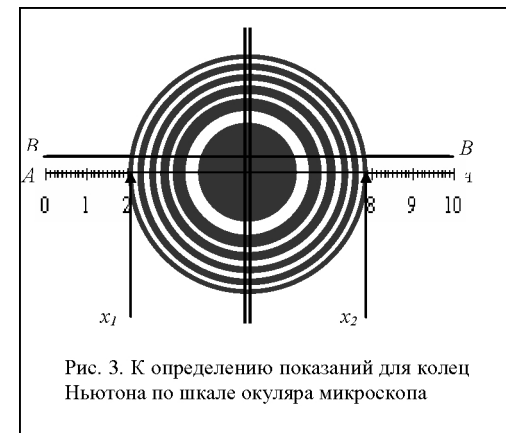
Осветитель встроен в микроскоп и представляет собой лампу накаливания, свет от которой преобразуется в параллельный пучок и затем освещает предметный столик, нормально к его поверхности. Интерференционная картина наблюдается в отраженном свете.

Окуляр имеет измерительную шкалу, цена наименьшего деления которой указана на установке. Для наблюдения картины интерференции в узком интервале длин волн в оправу окуляра вставлен светофильтр.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Положить на подставку микроскопа оправку с линзой и пластинкой и включить осветитель.
2. Осторожно передвигая оправку во взаимно перпендикулярных направлениях, подвести центр колец в поле зрения микроскопа.
3. Перемещением тубуса микроскопа добиться резкого изображения колец Ньютона.
4. Совместить диаметры колец с линией шкалы окуляра микроскопа.

5. Определить по шкале окуляра показания, соответствующие серединам темных интерференционных полос (рис.3) в местах их пересечения со шкалой и занести показания микроскопа, а также соответствующие номера колец, в таблицу 1. Показания x_1 определяют для семи колец Ньютона (например, с девятого по третье) и записывают последовательно, начиная с



крайнего левого хорошо видимого кольца, в порядке убывания номеров колец, а после прохождения центрального темного пятна продолжают измерения, записывая соответствующие показания x_2 для возрастающих номеров колец вплоть до номера кольца, с которого начали измерения. При этом центральное темное пятно считают "нулевой полосой".

Таблица 1

Результаты измерений радиусов колец Ньютона и полного числа интерференционных полос

Номер кольца m	Показания микроскопа для m -го кольца справа и слева от центра картины		Радиус m -го кольца		Квадрат радиуса m -го кольца r_m^2 , мм ²	Полное число полос m_{max}
	x_1 , дел	x_2 , дел	N_m , дел	r_m , мм		
9						
8						
7						
6						
5						
4						
3						

6. Определить радиусы колец в делениях шкалы окуляра:

$$N_m = \frac{x_2 - x_1}{2}.$$

7. Перевести значения N_m для радиусов колец в миллиметры, цена наименьшего деления микроскопа C указана на установке: $r_m = N_m C$.

8. Подсчитать полное число m_{max} интерференционных колец и занести его в таблицу 1. Если кольца занимают все поле зрения микроскопа, то для подсчета полного их числа следует сместить центр картины интерференции к краю поля зрения перемещением оправы линзы с пластинкой.

6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

В данной работе предлагается несколько способов обработки результатов измерений. Вариант способа обработки определяет преподаватель.

6.1. Вычислительный метод

1. Выбрать не менее четырех парных комбинаций колец $m_1 \longleftrightarrow m_2$, отличающихся по номеру друг от друга на максимально большую величину и вычислить по формуле (9) длину волны для каждой выбранной пары.
2. Рассчитать среднее арифметическое значение $\bar{\lambda}_i$ и провести оценку погрешности измерений по следующим формулам:

$$S_{\bar{\lambda}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta \lambda_i)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{\lambda} - \lambda_i)^2}{n(n-1)}}, \quad \Delta \lambda = t_{\alpha, n} S_{\bar{\lambda}},$$

где $t_{\alpha, n}$ – коэффициент Стьюдента.

3. Окончательный результат записать в виде

$$\lambda = \bar{\lambda} \pm \Delta \lambda, \quad \varepsilon = \frac{\Delta \lambda}{\bar{\lambda}} 100\% \quad (12)$$

4. Вычислить, используя формулы (2) и (4), длину когерентности l и ширину спектрального интервала $\delta \lambda$ в нм.
5. Результаты вычислений занести в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты измерения длины волны, ширины спектрального интервала и длины когерентности света

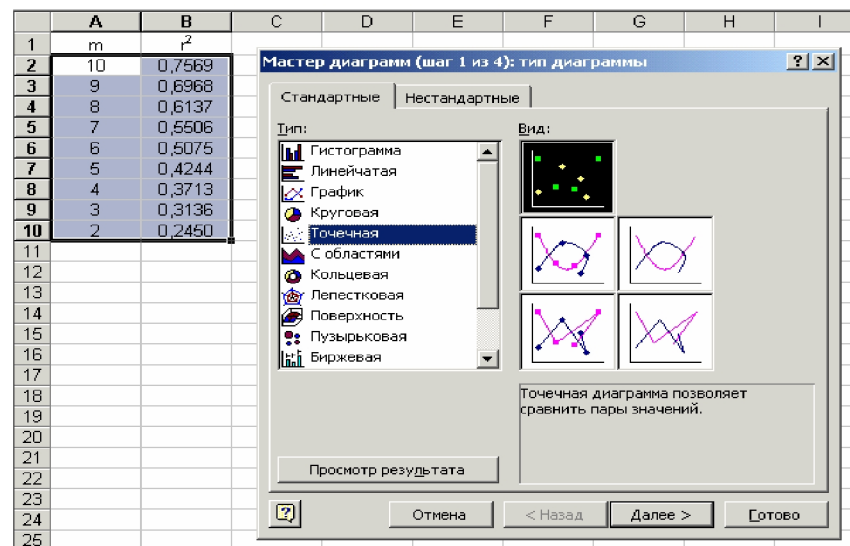
Номера выбранных пар колец $m_1 \longleftrightarrow m_2$	Длина волны		Отклонение от среднего $\Delta \lambda_i$, нм	Погрешность длины волны		Длина когерентности l_m , нм	Ширина спектрального интервала $\delta \lambda$, нм
	для каждой пары λ_i , нм	средняя $\bar{\lambda}$, нм		абсолютная $\Delta \lambda$, нм	относительная ε , %		

6.2. Графический метод с использованием MS Excel

1. Построить график зависимости $r_m^2 = f(m)$ с помощью MS Excel. Для этого выполнить следующие действия:
 - Получить разрешение преподавателя или дежурного инженера лаборатории на включение компьютера и принтера.
 - Открыть электронные таблицы с помощью команды *Пуск – Про-*

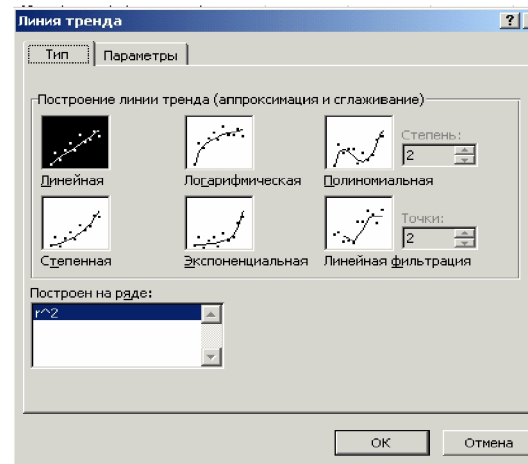
граммы – Microsoft Excel.

- Ввести в столбцы А и В экспериментальные данные для m и r_m^2 . Выделить диапазон ячеек, содержащих данные, с помощью левой кнопки



мышью.

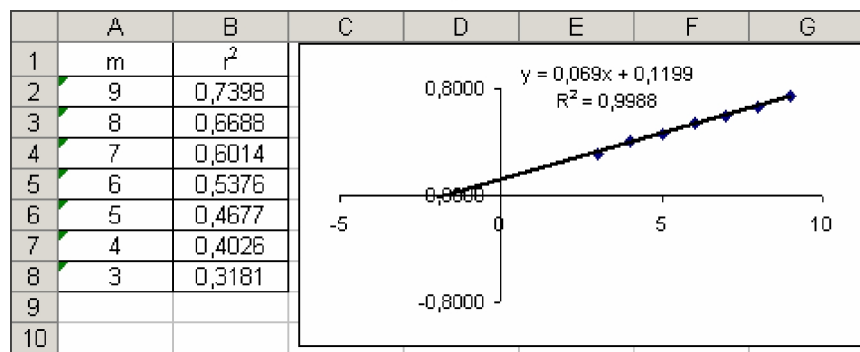
- Запустить *Master диаграмм* с помощью команды *Вставка – Диаграмма*. В списке *Тип* выбрать пункт *Точечная*, в окне *Вид* выбираем первую диаграмму. Нажать кнопку *Готово*.



- Добавить линию линейного тренда, которая является в данном случае графиком искомой прямой, выравнивающей набор экспериментальных данных по методу наименьших квадратов, с помощью команды *Диаграмма – Добавить ли-*

нию тренда. В открывшемся окне на закладке *Тип* выбрать "линейный тренд". Перейти к закладке *Параметры* и установить галочки на флажках "показывать уравнения на диаграмме" и "поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации R²", щелкнуть по кнопке ОК. Для получения линии тренда за границами области данных нужно добавить в описанный выше алгоритм еще одно действие: на вкладке *Параметры* в области *Прогноз* в строке "назад на" установить требуемое количество единиц (здесь имеются в виду единицы используемого масштаба по горизонтальной оси).

Пример окончательного вида диаграммы:



Уравнение на диаграмме называется уравнением регрессии. Линия тренда является графиком уравнения регрессии.

В общем виде уравнение линейной регрессии имеет вид: $y = bx + a$, где коэффициенты регрессии a и b имеют простой геометрический смысл: a - отрезок, отсекаемый от ординат линией регрессии; b - тангенс угла наклона линии регрессии к оси абсцисс.

Величина R^2 называется коэффициентом детерминированности и определяет, насколько удачной является полученная регрессионная модель. В дальнейшем для обозначения коэффициента детерминированности будем использовать обозначение D^2 , чтобы не путать с R - радиусом кривизны линзы в опыте Ньютона. Коэффициент детерминированности D^2 всегда заключен в диапазоне от 0 до 1. Если $D^2 = 1$, то функция точно проходит через табличные значения, если $D^2 = 0$, то выбранный вид регрессионной модели предельно неудачен.

2. Рассчитать длину световой волны $\bar{\lambda}$ по формуле (10). Для этого ввести в ячейку A15 текст "длина волны, нм" (здесь и далее кавычки не набирать), а в ячейке C15 провести вычисления введением формулы: "=10^6*НАКЛОН(B2:B8;A2:A8)/100".

3. Вычислить относительную погрешность $\bar{\lambda}$ исходя из правил оценки точности косвенных измерений по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\lambda}{\bar{\lambda}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{(n-2)}\left(\frac{1}{D^2} - 1\right) + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2},$$

Ввести в ячейку A16 текст "относительная погрешность". Провести в ячейке C16 вычисления введением формулы: "=КОРЕНЬ((1/КВПИРСОН(B2:B8;A2:A8)-1)/(n-2)+(ΔR/R)^2)" с подстановкой числовых значений для n (здесь n - число колец Ньютона, для которых измерялся радиус), ΔR и R . Ввести в ячейку A17 текст "абсолютная погрешность, нм". В ячейке C17 провести вычисления с помощью выражения: "=C16*C15".

4. Оценить систематическую ошибку порядка интерференции Δm , которая геометрически представляет собой отрезок на оси абсцисс от начала координат до точки ее пересечения с линией тренда, по следующей формуле $\Delta m = a/b$.

Ввести в ячейку A18 текст "ошибка порядка интерференции". В ячейке C18 провести вычисления введением:

$$= \text{ОТРЕЗОК}(B2:B8;A2:A8)/\text{НАКЛОН}(B2:B8;A2:A8)".$$

5. Оценить длину когерентности по формуле (2) с учетом Δm

$$l = \lambda(m_{\max} + \Delta m) + \frac{\lambda}{2}.$$

Ввести в ячейку A19 текст "длина когерентности, нм". В ячейке C19 провести вычисления введением "=C15*(m_{max}+C18)+C15/2" с подстановкой числового значения для m_{\max} .

6. Оценить ширину спектрального интервала по формуле (4). Ввести в ячейку A20 текст "ширина спектрального интервала, нм". В ячейке C20 провести вычисления введением "=C15^2/C19".

7. Вывести страницу на печать. Для этого выбрать в меню *Файл - Печать* - ОК. Закрыть окно MS Excel без сохранения файла.

7.3. Графический метод с использованием готовой программы

1. Получить разрешение преподавателя или дежурного инженера лаборатории на включение компьютера и принтера. Узнать имя файла программы. Открыть файл. Программа выполнена в MS Excel и представляет собой готовые таблицы для автоматической обработки экспериментальных результатов и график зависимости r_m^2 от m , построенный по методу наименьших квадратов.

2. Внести экспериментальные данные в столбцы B , C для показаний микроскопа и J для максимального порядка интерференции. При этом произойдет автоматическое обновление графика и обработка данных.
3. Вывести страницу на печать. Для этого выбрать в меню *Файл – Печать* - ОК.
4. Закрыть окно MS Excel с сохранением или без сохранения файла.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается явление интерференции света?
2. Что такое когерентность? Какие световые волны называются когерентными? Что называется временем и длиной когерентности световых волн?
3. Что такое оптическая разность хода световых волн?
4. Каковы условия интерференционных максимумов и минимумов?
5. Как зависит контраст интерференционных полос от соотношения между длиной когерентности и оптической разностью хода интерферирующих волн?
6. Объясните возникновение интерференционных полос Ньютона.
7. Выведите формулу для радиусов колец Ньютона.
8. Какой круг (темный или светлый) будет в центре интерференционной картины, если наблюдение проводить в отраженном свете?
9. Как изменится длина когерентности света при уменьшении или увеличении ширины спектрального интервала излучения? Чему равна длина когерентности монохроматического и белого света? Почему при работе с кольцами Ньютона лучше применить светофильтр?

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики. - М.: Наука, 1978.-Т. 2.-С.338– 361.
2. Ларсен Р.У. Инженерные расчеты в Excel. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2002.-С.182-218.
3. Волновая оптика. Изучение явления интерференции света с помощью интерферометра Ньютона: Метод. указания/ Сост. *В.П.Рябухо, И.М.Липовский*; Саратов. политех. ин-т. Саратов. 1987. – 26 с.
4. Лабораторные работы по волновым процессам (интерференция, дифракция): Метод. указания/ Под ред. *Ф.А.Николаева*; Московский авиац. ин-т. М.: Изд-во МАИ, 1989. – 48 с.
5. Интерференция. Определение длины световой волны с помощью колец Ньютона: Метод. указания к лаб. раб.№3-5/ Сост. *В.П.Кабанова, З.А.Куликова, А.Н.Пеценко, Д.Ф.Китаев*; Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1985. 4 с.

Учебное издание

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ, ДЛИНЫ КОГЕРЕНТНОСТИ И ШИРИНЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА С ПОМОЩЬЮ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

Методические указания

Составитель: Т.В.Кривко

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.