

Лабораторная работа № 4.3.3

Исследование разрешающей способности микроскопа методом Аббе

Карманов Алексей
752 группа

г.Долгопрудный
20.02.2019

Цель работы: Определение дифракционного предела разрешения объектива микроскопа методом Аббе.

В работе используются: лазер, кассета с набором сеток разного периода, линзы, щель с микрометрическим винтом, оптический стол с набором рейтеров и крепёжных винтов, экран, линейка

1 Теоретическая справка

Разрешающей способностью оптического прибора называют минимальное расстояние l_{min} между двумя точками в пространстве предметов, которое прибор может разрешить. При визуальном наблюдении изображения в качестве критерия разрешения применяют так называемый критерий Рэлея.

Для иммерсионного микроскопа (объект находится в иммерсионной среде — жидкости с показателем преломления n) разрешающая способность объектива при некогерентном освещении

$$l_{min} = \frac{0.61\lambda}{n \sin A}, \quad (1)$$

где A — апертурный угол объектива микроскопа.

Рассмотрим теперь когерентно освещённый объект, наблюдаемый в микроскоп. Схема образования изображения в объективе микроскопа представлена на рис. 1.

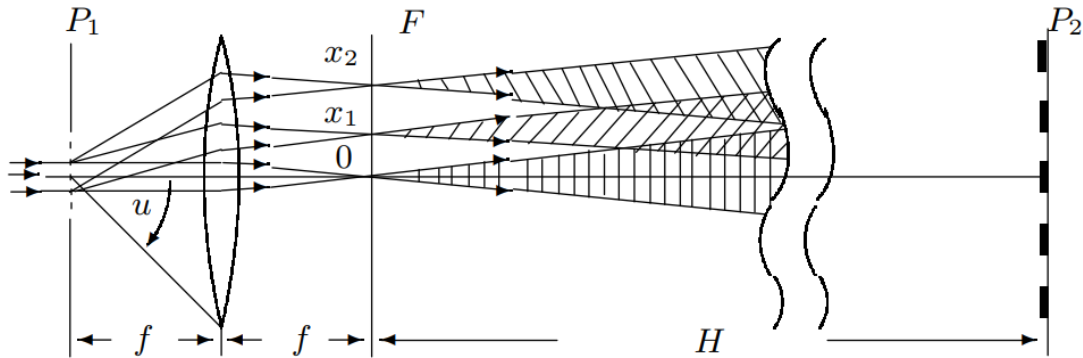


Рис. 1: Образование изображения в объективе микроскопа. P_1 — плоскость предмета, F — задняя фокальная плоскость объектива, P_2 — плоскость, сопряжённая с предметной плоскостью. В плоскости P_2 световые пучки сильно перекрываются

минимальное разрешаемое объективом расстояние определяется условием

$$l_{min} = \frac{\lambda}{\sin A} \approx \frac{\lambda}{D/2f}, \quad (2)$$

3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА РЕШЁТОК ПО ИХ ПРОСТРАНСТВЕННОМУ СПЕКТРУ

где D — диаметр диафрагмы. При этом диафрагма, расположенная симметрично, пропускает нулевой и ± 1 дифракционные максимумы.

2 Экспериментальная установка

Схема модели проекционного микроскопа приведена на рис. 2. Предметом служат сетки, расположенные в кассете. Смена сеток осуществляется поворотом внешнего кольца кассеты.

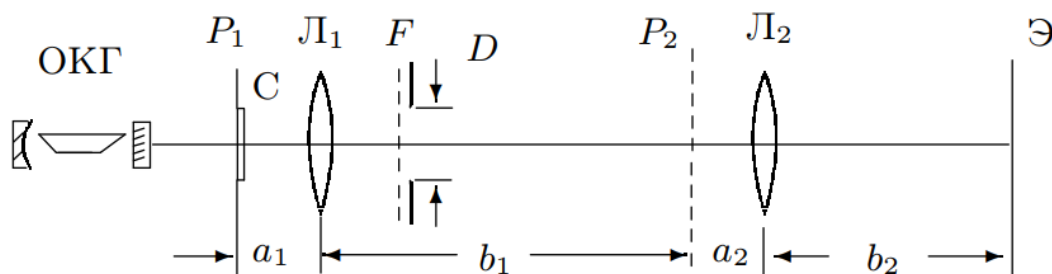


Рис. 2: Схема экспериментальной установки — модель проекционного микроскопа

3 Определение периода решёток по их пространственному спектру

1. Для определения периода решёток измерим расстояния между максимумами разных порядков на экране. Расстояние от сетки до экрана $D = 120$ см. Период решётки рассчитывается по формуле

$$d = \frac{\lambda D}{d_{mes}} \quad (3)$$

Результаты измерений занесём в таблицу 1.

Таблица 1: Периоды решёток, метод пространственного спектра

Номер решётки	1	2	3	4	5
d_{mes} , мм	32.8	21.9	11.3	5.4	4.1
d , мкм	19.4	29.1	56.7	117.2	155.2

4 Определение периода решёток по изображению, увеличенному с помощью модели микроскопа

1. Соберём модель проекционного микроскопа (рис. 2), центрируем систему. Увеличение полученной системы вычисляется по формуле

$$\gamma = \frac{b_1 b_2}{a_1 a_2}, \quad (4)$$

(расстояния a_1 , a_2 , b_1 , b_2 см на рис. 2)

2. На экране измерим расстояния между максимумами разных порядков. Результаты измерений занесём в таблицу 2.

Таблица 2: Периоды решёток, по изображению с микроскопа

Номер решётки	4	5
d_{mes} , мм	9.0	11.8
d , мкм	108.9	170.2

5 Определение периодов решёток по оценке разрешающей способности микроскопа

1. Поместим щелевую диафрагму с микрометрическим винтом в фокальную плоскость F линзы Л1. Определите для каждой решётки минимальный размер диафрагмы D , при котором на экране ещё видно изображение сетки (при меньших размерах щели изображение выглядит как одномерная решётка). Результаты измерений занесём в таблицу 3.

Таблица 3: Периоды решёток, по измерению диафрагмы

Номер решётки	3	4	5
D , мм	1.7	0.8	0.6
d , мкм	55.5	120.7	161.3

2. Для проверки теории Аббе построим график зависимости $d = f(1/D)$, взяв периоды сеток, определённые по спектру. Определим угловой коэффициент, он равен 130. По формуле $d \geq \frac{\lambda}{D/2f}$, тогда при наших условиях теоретический угловой коэффициент равен 154. Теория Аббе верна в пределах используемой точности.

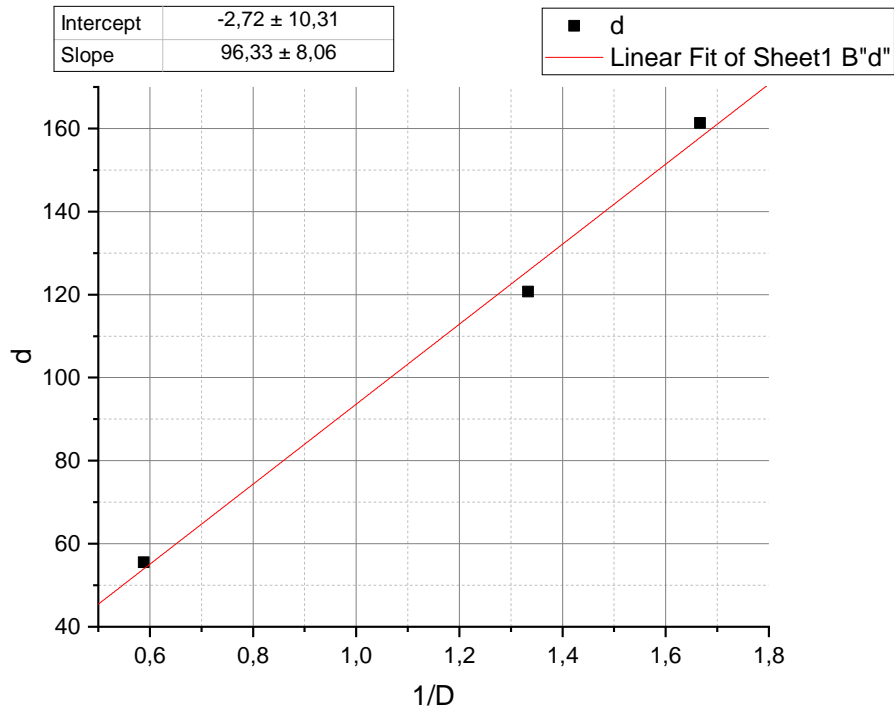


Рис. 3: Зависимость $d = f(1/D)$

6 Пространственная фильтрация и мультиплицирование

Поворачивая щель относительно оси, добьёмся того, чтобы щель занимала наклонное положение под 45° . Тогда будет осуществляться пространственная фильтрация, то есть выделение из спектра максимумов $m_x = m_y$ (диагональных максимумов). Тогда на экране возникнет изображение решётки, которой нет на самом деле. Полосы располагаются под углом 45° , что видно на рисунке 5. Период новой решетки равен $0,852$ мм, что в $\sqrt{2}$ раз больше периода изображения решётки, определённого стандартным методом (по увеличенному изображению решётки). Это объясняется тем фактом, что расстояние между выделенными максимумами, то есть между вторичными источниками волн, составляет $d\sqrt{2}$. Также наблюдали мультиплицирование, то есть рассеяние фурье-образа щели сеткой. Такой эффект создаётся, если в нашей установке поменять местами сетку и щель.

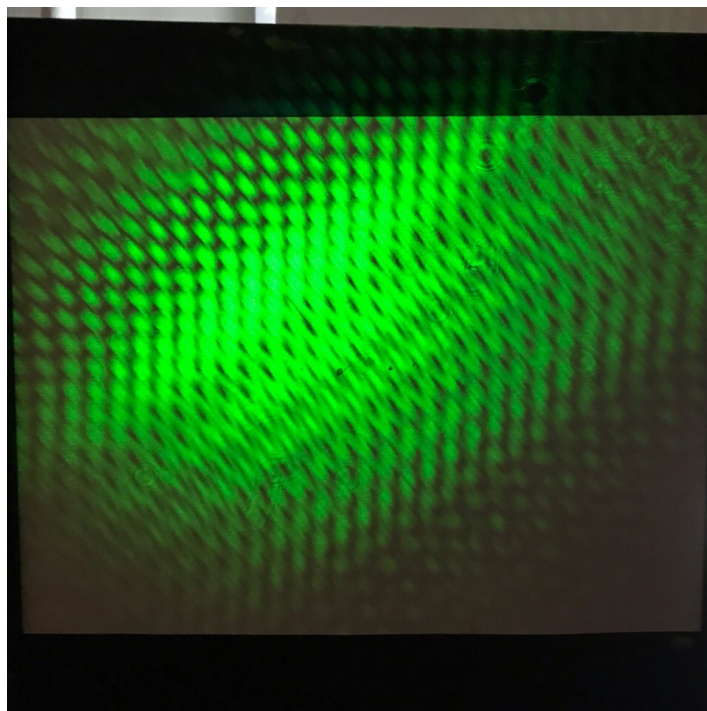


Рис. 4: Пространственная фильтрация

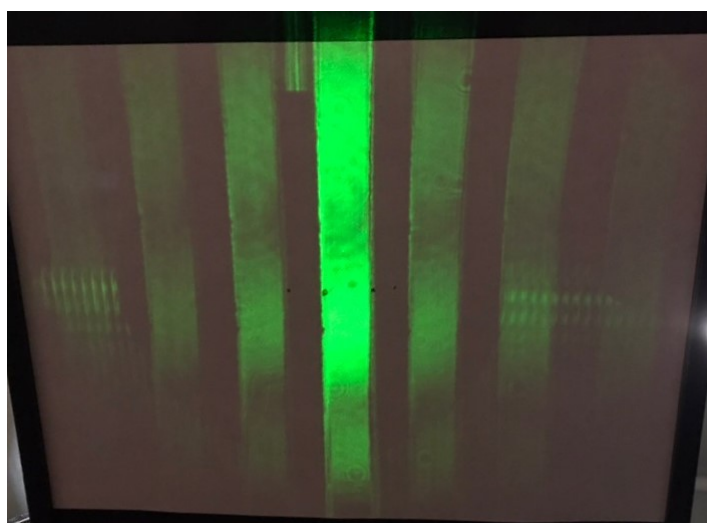


Рис. 5: Пространственное мультиплицирование