
Московский Физико-Технический Институт
(государственный университет)

Лабораторная работа по курсу общей физики № 4.3.3

Исследование разрешающей способности микроскопа методом Аббе

Автор:

Лепарский Роман Б01-003



Долгопрудный, 2022

1 Аннотация

Цель работы: определение дифракционного предела разрешения объектива микроскопа.

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

2 Теоретические сведения

Для иммерсионного микроскопа разрешающая способность объектива при некогерентном освещении

$$\ell_{min} \approx \frac{0.61\lambda}{\sin u}, \quad (1)$$

где u – апертурный угол объектива микроскопа (угол между оптической осью и лучом, направленным из центра объекта в край линзы).

Метод Аббе для оценки разрешающей способности состоит в разделении хода лучей на две части: сначала рассматривается картина в задней фокальной плоскости F объектива – она называется первичным изображением. Это первичное изображение рассматривается как источник волн, создающий вторичное изображение в плоскости P_2 , сопряжённой плоскости предмета.

Первичное изображение есть картина дифракции Фраунгофера (на дифракционной решётке), если её период d , то для направления максимальной интенсивности φ_m

$$d \sin \varphi_m = m\lambda. \quad (2)$$

При этом проходят пучки только с $\varphi_m < u$. Можно условием разрешения считать, что $u > \varphi_1$, иначе говоря

$$\sin u \geq \lambda/d.$$

или

$$d \geq \frac{\lambda}{\sin u} \approx \frac{\lambda}{D/2f}, \quad (3)$$

где D – диаметр линзы, f – фокусное расстояние.

Сетку можно рассматривать как две перпендикулярные друг другу решетки, для максимумов которых выполняется соотношение

$$d \sin \varphi_x = m_x \lambda, \quad d \sin \varphi_y = m_y \lambda. \quad (4)$$

3 Экспериментальная установка

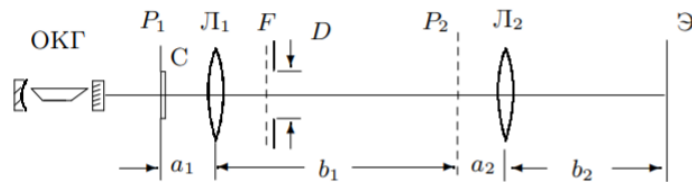


Рис. 1: Схема установки

Схема установки приведена на Рис. 1. Предметом P_1 служат сетки в кассете C . Линза $Л_1$ длиннофокусная, а $Л_2$ короткофокусная. В F устанавливаются диафрагмы D , с помощью сеток с разными d и щелевой диафрагмы можно проверить соотношение (3). Период сеток может быть измерен либо по расстоянию между дифракционными максимумами на экране, либо по увеличенному с помощью микроскопа изображению. Пространственную фильтрацию (получение наклонного изображения решётки) можно получить с помощью подбора угла наклона и ширины вспомогательной щели.

4 Обработка результатов

Запишем данные лабораторной установки:

λ , нм	f_1 , мм	f_2 , мм
532	110	25

4.1 Определение периода решеток по их пространственному спектру

Расстояние от дифракционной решетки до экрана $H = 1257 \pm 3$ мм. Погрешность учитывает невозможность определить точное положение решетки в кассете. Для каждой сетки определим расстояние между максимумами l , их количество n и посчитаем период сетки d . Погрешность измерения расстояния обусловлена невозможностью достоверно определить центр пятна. Так же, для последней решетки тяжело точно посчитать количество максимумов.

N	l , мм	n	d , нм
1	202 ± 2	6	20000
2	247 ± 2	11	30000
3	269 ± 2	24	61000
4	274 ± 1	49	122000
5	276 ± 1	66 ± 1	163000

Максимальная погрешность периода решетки по формуле косвенных измерений $\sigma_d = 1$ мкм.

4.2 Определение периода решеток по изображению, увеличенному с помощью микроскопа

Запишем параметры настроенного микроскопа.

a_1 , мм	$b_1 + a_2$, мм	b_2 , мм
115 ± 5	562 ± 5	424 ± 5

Погрешность обусловлена невозможностью точно определить центр линзы. Приняв $a_2 = f_2$ найдем $b_1 = 380 \pm 5$ мм. Увеличение получившейся системы:

$$\Gamma = \frac{b_1 b_2}{a_1 a_2} = 79 \pm 5$$

Запишем количество периодов сетки и расстояние между ними, а так же посчитаем период по формуле $d = l/(n\Gamma)$

N	l , мм	n	d , нм	σ_d , нм
1	112	67	21000	1480
2	157	65	30000	1991
3	160	33	61000	3884
4	205	21	123000	7820
5	203	15	170000	10842

Видно, что значения совпадают в пределах погрешности.

4.3 Определение периодов решеток по оценке разрешающей способности микроскопа

Если поместить в фокальную плоскость линзы L_1 щелевую диафрагму, то при минимальном раскрытии, при котором будет видна решетка, ее период будет определяться так

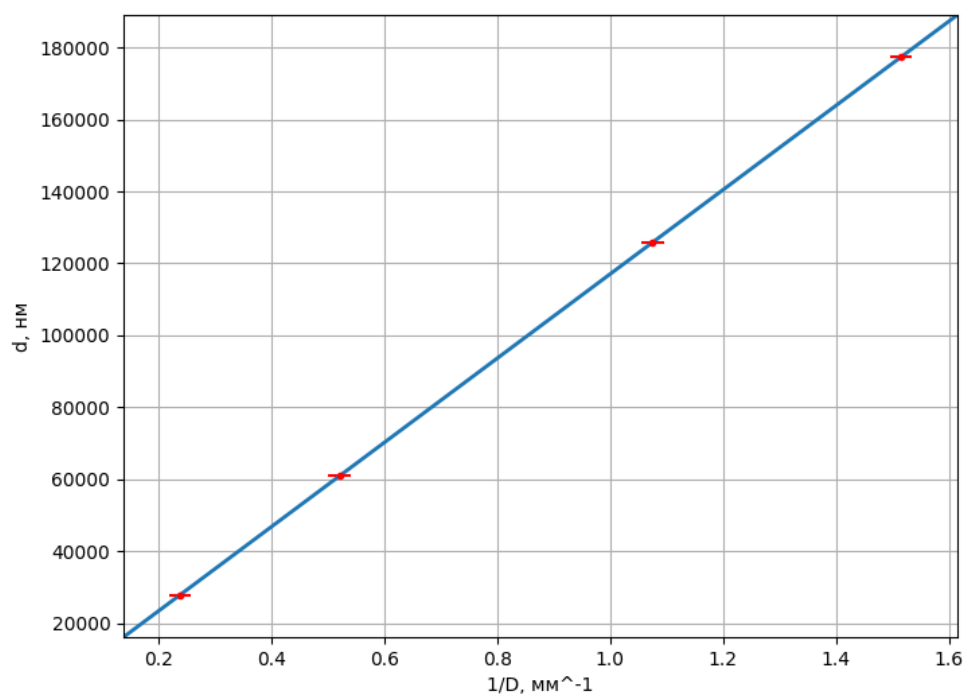
$$d = \frac{2\lambda f_1}{D}$$

Примем погрешность измерения $\sigma_D = 0,02$ мм. Запишем результаты в таблицу

N	D , мм	d , нм	σ_d
2	4,2	27800	132
3	1,92	60900	634
4	0,93	125000	2706
5	0,66	177000	5373

Видно, что результаты совпадают с предыдущими экспериментами.

Теперь проверим справедливость этой формулы построив график $d = f(1/D)$



Данные хорошо аппроксимируются прямой, поэтому можно говорить о справедливости этой формулы.

5 Вывод

В этой работе мы познакомились с устройством и принципом действия микроскопа, а так же нашли периоды дифракционных решеток 3 способами. Данные соответствуют друг другу в каждом эксперименте.