

Лабораторная работа 4.3.3. Исследование разрешающей способности микроскопа методом Аббе.

Дмитрий Норкин и Николай Кузнецов

04/08/2018

Цель работы

Определение дифракционного предела разрешения объектива микроскопа методом Аббе.

Теория

Разрешающей способностью оптического прибора называют минимальное расстояние l_{min} между двумя точками в пространстве предметов, которое прибор может разрешить. Для микроскопа $l_{min} \approx \frac{\lambda}{\sin u} \approx \frac{2f\lambda}{D}$, где u – апертурный угол объектива микроскопа, т.е. угол между оптической осью и лучом, направленным из центра объекта в край линзы; D – диаметр диафрагмы; f – фокусное расстояние линзы.

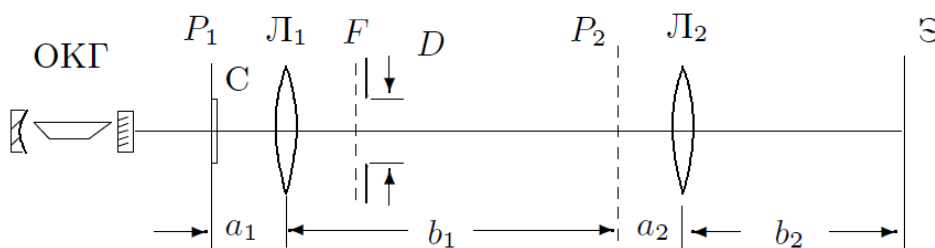


Рис. 1: Схема установки

В данной работе исследуются двумерные дифракционные решетки. Главные максимумы возникают при условии

$$d \sin \theta_x = m_x \lambda; \quad d \sin \theta_y = m_y \lambda,$$

где θ_x и θ_y – направления на главные максимумы в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно, а m_x и m_y – порядки этих максимумов.

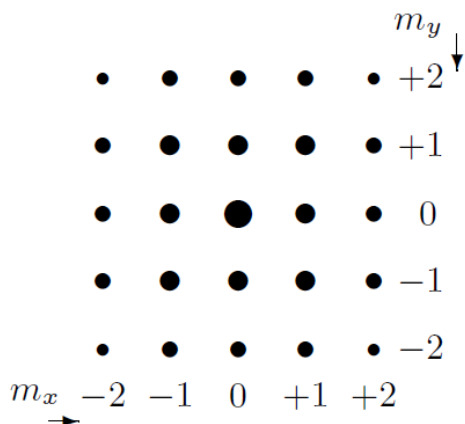


Рис. 2: Дифракционная картина

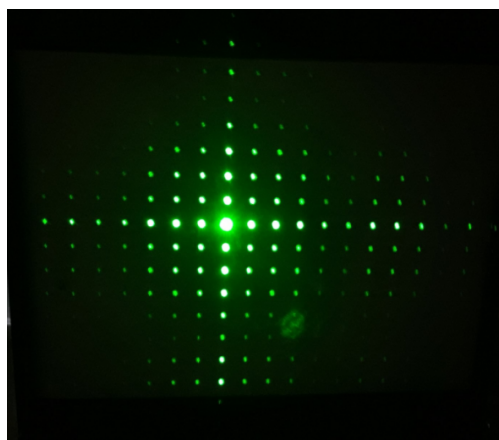


Рис. 3: Наблюдение дифракционной картины

Ход работы

Длина волны зеленого лазера, используемого в работе $\lambda = 532$ нм.

Определение периода решеток по их пространственному спектру

Измерим для каждой из решеток сколько максимумов N приходится на участок длины x_N . Затем рассчитаем по формуле $d = \frac{\lambda L N}{x_N}$ период решетки. $L = 1440$ мм.

	1	2	3	4	5
N	11	15	30	56	60
x_N , мм	227	207	207	195	184
d , мкм	37	56	111	220	250

Таблица 1: Измерение периода решетки по пространственному спектру

Определение периода решеток по изображению, увеличенному с помощью микроскопа

Соберем модель микроскопа, отъюстируем установку так, чтобы на экране было четкое изображение без aberrаций для любой решетки. Измерим параметры установки:

$$a_1 = 135 \text{ мм}; \quad a_2 = f_2 = 25 \text{ мм}; \quad b_1 + a_2 = 713 \text{ мм}$$

$$b_2 = 498 \text{ мм}; \quad f_1 = 11 \text{ мм}; \quad b_1 = 688 \text{ мм}$$

Отсюда увеличение микроскопа $\Gamma = \frac{b_1 b_2}{a_1 a_2} = 102$. Для каждой решетки измерим сколько щелей N приходится на участок изображения длиной x_N , а затем рассчитаем по формуле $d = \frac{x_N}{N\Gamma}$ период решетки.

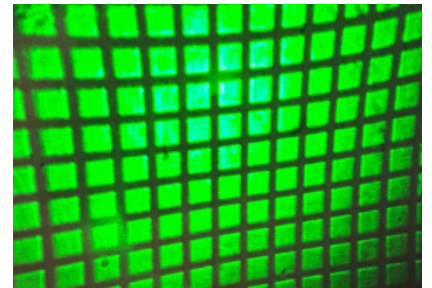


Рис. 4: Изображение, полученное с помощью микроскопа

	1	2	3	4	5
N	48	39	22	11	10
x_N , мм	175	214	246	248	256
d , мкм	36	54	109	222	252

Таблица 2: Измерение периода решеток по изображению, увеличенному с помощью микроскопа

Определение периода решеток по оценке разрешающей способности микроскопа

Теперь поставим щель в фокальную плоскость линзы L_1 . Если на экране еще видно изображение сетки, то разрешаются 2 соседних щели решетки. Значит $d \approx \frac{2f\lambda}{D}$. Снимем зависимость измерим D для каждой решетки и рассчитаем по нему d .

	1	2	3	4	5
D , мм	3.44	2.38	1.10	0.50	0.47
d , мкм	34	49	106	233	249

Таблица 3: Измерение периода решеток по разрешающей способности микроскопа

Теперь построим график $d(D^{-1})$, вычисленных первым методом, для того, чтобы убедиться, что теория Аббе верна. Как видно, график действительно линеен, откуда можно сделать вывод о справедливости этой теории.

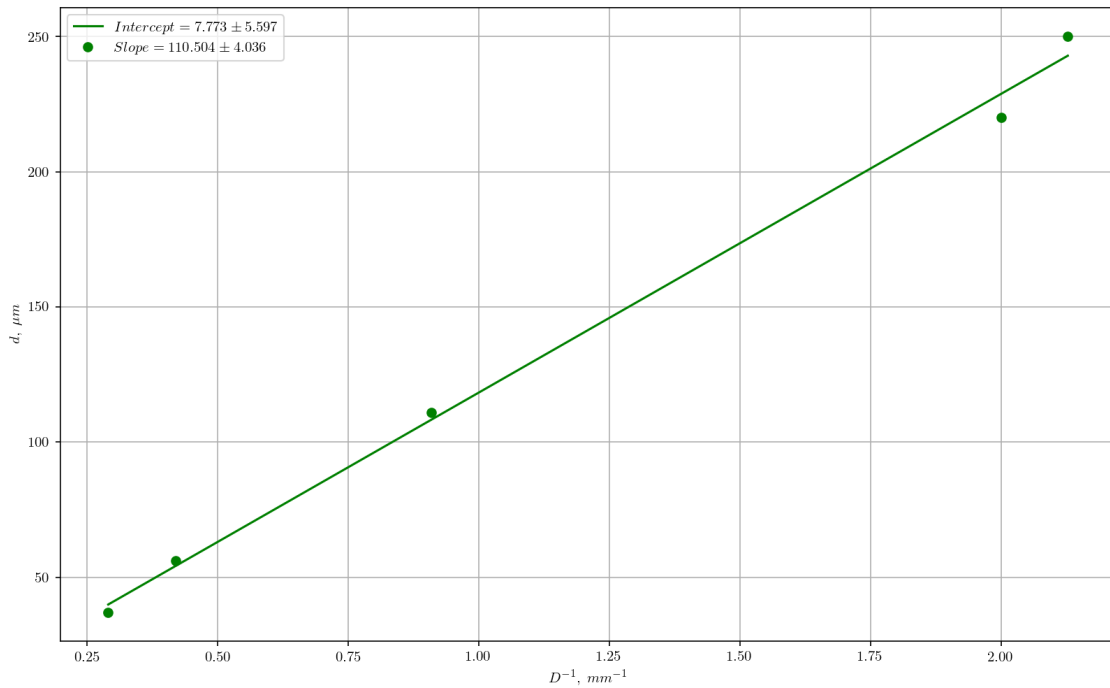


Рис. 5: График зависимости $d(D^{-1})$

Пространственная фильтрация

Возьмем 3 сетку, подберем ширину щели так, чтобы она пропускала ровно только нулевой главный максимум. Поворачивая щель относительно оси системы будем получать различные изображения на экране:

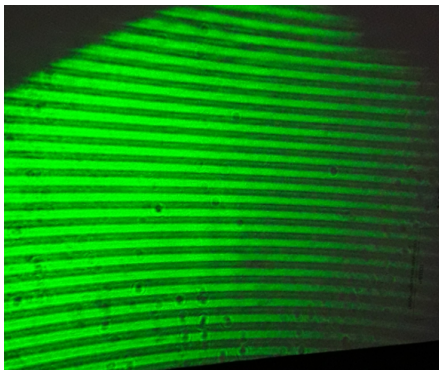


Рис. 6: Горизонтальные полосы

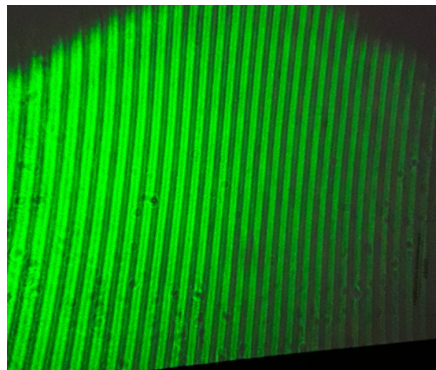


Рис. 7: Вертикальные полосы

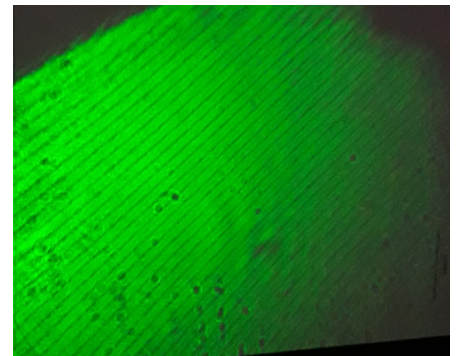


Рис. 8: Диагональные полосы

Мультиплицирование

Для наблюдения мультиплицирования поменяем местами сетку и щель. При этом, так как сетка теперь расположена в фокальной плоскости, то она будет расщеплять изображение щели на несколько.

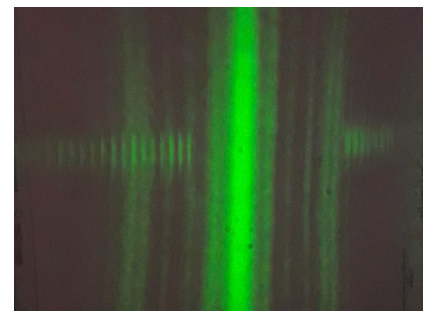


Рис. 9: Расщепленный фурье-образ щели

Выводы

- Измерен период каждой из решеток 3 разными способами, значения сходятся между собой.
- Проверена теория Аббе построением графика зависимости $d(D^{-1})$ (он линейный).
- Получена картина пространственной фильтрации.
- Получены мультиплицированные изображения щели.