

Исследование разрешающей способности микроскопа методом Аббе (4.3.3)

Стеценко Георгий, Б02-312

1 Аннотация

В работе предлагается определить периоды сеток сначала по их спектру на удалённом экране, затем по увеличенному с помощью модели микроскопа изображению сеток на экране и, наконец, по результатам измерения разрешающей способности микроскопа, наблюдать явления саморепродукции, пространственной фильтрации и мультиплицирования.

2 Теоретические сведения

Для иммерсионного микроскопа разрешающая способность объектива при некогерентном освещении

$$\ell_{\min} \approx \frac{0.61\lambda}{n \sin u}$$

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 или фурье-образом. Это первичное изображение рассматривается как источник волн (согласно принципу Гюйгенса-Френеля), создающий изображение в плоскости P_2 , сопряжённой плоскости предмета – вторичное изображение. Первичное изображение есть картина дифракции Фраунгофера (на дифракционной решётке), если её период d , то для направления максимальной интенсивности φ_m

$$d \sin \varphi_m = m\lambda$$

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

$$d \geq \frac{\lambda}{\sin u} \approx \frac{\lambda}{D/2f}$$

где D – диаметр линзы, f – фокусное расстояние. Двумерную решётку можно рассматривать как две перпендикулярные друг другу, для максимумов которых выполняется соотношение

$$d \sin \varphi_x = m_x \lambda, \quad d \sin \varphi_y = m_y \lambda$$

3 Экспериментальная установка

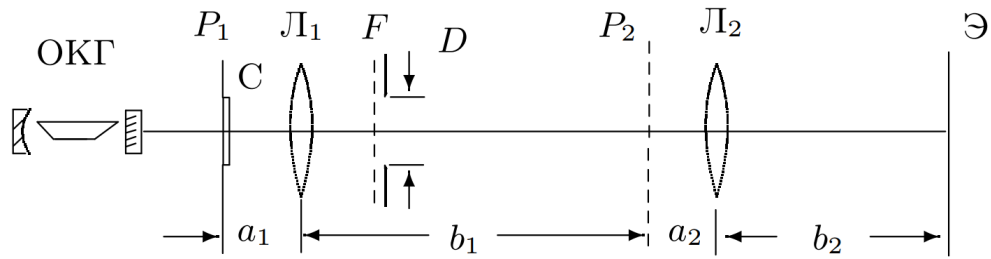


Рис. 1: Схема экспериментальной установки — модель проекционного микроскопа

Схема установки приведена на Рис. 1. Предметом P_1 служат сетки в кассете C . Линза L_1 – длиннофокусная, а L_2 – короткофокусная. В F Устанавливаются диафрагмы D , с помощью сеток с разными периодами d и щелевой диафрагмы можно проверить третье соотношение. Период сеток может быть измерен либо по расстоянию между дифракционными максимумами на экране, либо по увеличенному с помощью микроскопа изображению сетки на экране. Пространственную фильтрацию (получение наклонного изображения решётки) можно получить с помощью подбора угла наклона и ширины вспомогательной щели.

4 Методика измерений и результаты

4.1 Определение периода решёток по их пространственному спектру

Закрепим кассету с двумерными решётками (сетками) вблизи выходного окна лазера. Вращая наружное кольцо кассеты, наблюдаем на удалённом экране дифракционные картины для разных сеток. Для определения расстояния между соседними дифракционными максимумами измерим расстояние между удалёнными друг от друга горизонтальными максимумами и число промежутков между ними. На погрешность измерения размеров также то, что максимумы не являются в точности точками.

Таблица 1: Определение периодов решёток в кассете

	1	2	3
ВЕРХ			
расстояние, mm	215 ± 3	259 ± 3	172 ± 3
число клеток	3	9	12
период решётки, μm	10.00 ± 0.14	24.8 ± 0.3	49.9 ± 0.9
НИЗ			
расстояние, mm	215 ± 3	174 ± 3	200 ± 3
число клеток	3	6	14
период решётки, μm	10.00 ± 0.14	24.7 ± 0.4	50.1 ± 0.8

Зная, что длина волны лазера $\lambda = 530 \text{ nm}$, а расстояние от экрана до решётки измерено с помощью засечек на оптическом столе: $L = (1350 \pm 2) \text{ mm}$, можно найти период решётки.

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

Соберём модель микроскопа, добавив линзы согласно Рис. 1. Фокусные расстояния линз $F_1 = 110$ mm, $F_2 = 25$ mm. Измеряем необходимые расстояния:

$$\begin{aligned}a_1 &= 120 \pm 10 \text{ mm}, \\a_2 + b_1 &= 455 \pm 10 \text{ mm}, \\b_2 &= 815 \pm 10 \text{ mm},\end{aligned}$$

Погрешности здесь обусловлены неточностями в положениях сеток и линз. Из формулы тонкой линзы $a_2 = \frac{b_2 F_2}{b_2 - F_2} = (25.79 \pm 0.01)$ mm, следовательно $b_1 = 430 \pm 10$ mm. Увеличение микроскопа $\Gamma = \frac{b_1 b_2}{a_1 a_2} = 113 \pm 10$.

Здесь d определялось по формуле $d = \frac{\Delta x}{\Gamma}$. Обратим внимание, что значения периодов решётки совпадают в пределах погрешности.

Таблица 2: Периоды дифракционных решеток

реш.	Δm	l , мм	d , μm	ε_d , %
1	30	36	10.6 ± 0.6	5
2	12	35	25.8 ± 1.5	6
3	15	87	51.3 ± 1.5	3

Видно, что в пределах погрешности периоды решёток совпали.

4.3 Определение разрешающей способности микроскопа

С помощью откалиброванных сеток определяется разрешающая способность микроскопа. Для этого в задней фокальной плоскости F объектива устанавливается щелевая диафрагма с микрометрическим винтом и подбирается её минимальный размер, при котором ещё видно изображение сетки на экране (щель пропускает максимумы с $m = 0, \pm 1$). По размеру диафрагмы и фокусному расстоянию объектива рассчитывается апертурный угол u и проверяется соотношение Аббе.

Измерения приведены в таблице 3.

Таблица 3: Минимальное расстояние, разрешаемое микроскопом

Решётка	D , мм	d , μm
1	>4	10
2	2,21	25
3	1,03	50

По полученным данным, был построен график на рис. 2.

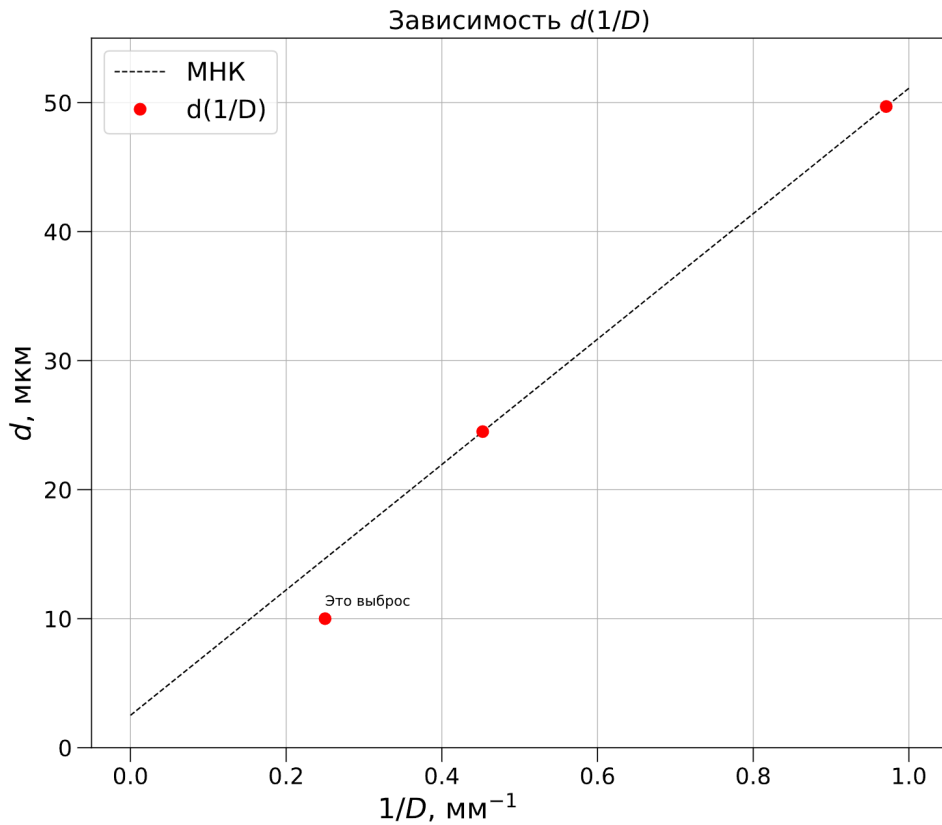


Рис. 2: График зависимости $d(1/D)$

«Выброс» на графике обусловлен ограничением шкалы микрометра, что оставляет валидными лишь 2 точки. По полученным данным сложно что-либо сказать о справедливости теории Аббе.

4.4 Пространственная фильтрация и мультиплицирование

В процессе проведения опытов по пространственной фильтрации и мультиплицированию были получены следующие фотографии.

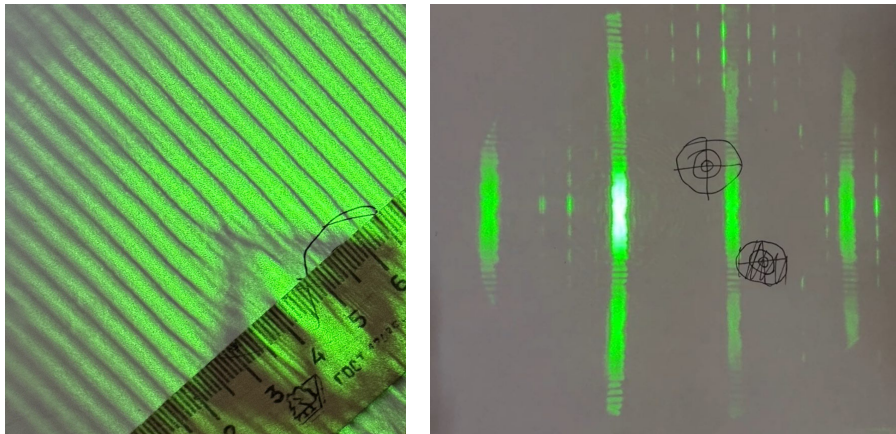


Рис. 3: Слева – результат пространственной фильтрации для $m_x = m_y$, справа – результат мультиплицирования изображения щели

5 Вывод

По измерениям спектров получилось определить дифракционные углы и по теоретическим формулам рассчитать периоды решеток. Полученные данные сошлись с результатами, полученными по измерениям увеличенных с помощью микроскопа изображений сеток.