

Задача 4.3.3

Исследование разрешающей способности микроскопа методом Аббе

Лось Денис (группа 611)

20 мая 2018

Цель работы: определение дифракционного предела разрешения объектива микроскопа методом Аббе, проведения исследования средствами различных способов.

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.

Теоритическое введение

Всякая оптическая система, предназначенная для получения изображений, имеет конечный предел разрешения, т.е. ограниченную возможность раздельного наблюдения близко расположенных предметов. Принципиальной причиной, ограничивающей предел разрешения, является дифракция световых волн. Разрешающей способностью оптического прибора называют минимальное расстояние l_{\min} между двумя точками в пространстве предметов, которые прибор может разрешить. При визуальном наблюдении изображения в качестве критерия разрешения применяют так называемый критерий Релея.

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

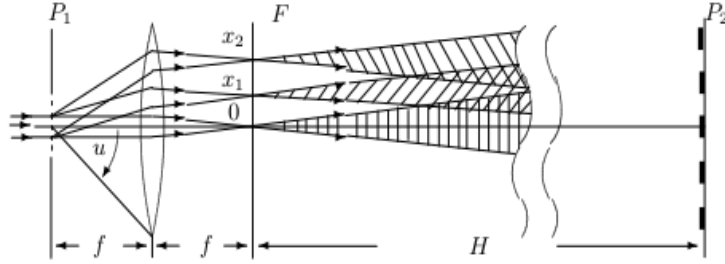
$$l_{\min} \approx \frac{0.61\lambda}{n \sin A},$$

где A — апертурный угол объектива микроскопа, т.е. угол между оптической осью и лучом, направленным из центра объекта в край линзы.

Если рассматривать когерентно освещенный объект, наблюдаемый в микроскоп, то можно представить схему образования изображения в объективе микроскопа.

Минимальное разрешаемое объективом расстояние определяется условием

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



где D — диаметр диафрагмы.

В нашей работе применяется двумерная решётка — сетка. Её можно рассматривать как две скрещённые (перпендикулярные друг другу) решётки. Узкий пучок монохроматического света, пройдя через решётку с вертикальными штрихами, даёт совокупность максимумов, расположенных вдоль горизонтальной линии. Световой пучок, соответствующий каждому максимуму, проходя через вторую решётку, распадается на новую совокупность световых пучков, дающих максимумы вдоль вертикальной линии. Главные максимумы возникают тогда, когда одновременно выполняются условия:

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

где m_x, m_y — целые числа, характеризующие порядки дифракционных максимумов, θ_x, θ_y — направления на главные дифракционные максимумы в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно.

Экспериментальная установка

Схема модели проекционного микроскопа приведена на рис.1. Предметом служат сетки, расположенные в кассете. Смена сеток осуществляется поворотом внешнего кольца кассеты.

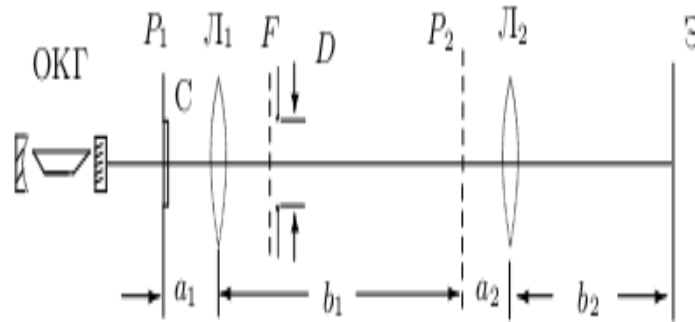


Рис. 1: Схема экспериментальной установки — модель проекционного микроскопа

Излучение лазера почти перпендикулярно падает на сетку С, установленную вблизи фокальной плоскости линзы Л1 — объектива микроскопа.

В нашей работе период сеток рассчитывается двумя способами: в первом способе (по дифракции Фраунгофера) расстояние между дифракционными максимумами на экране измеряется при помощи линейки, а затем определяется её период, во втором способе период определяется по увеличенному (с помощью модели микроскопа) изображению сетки на экране.

С помощью откалиброванных таким образом 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 $m = 0, m \pm 1$). По размеру дифракмы и фокусному расстоянию объектива рассчитывается апертурный угол u .

Ход работы

Определение периода решёток по их пространственному спектру

Представим результаты измерения расстояния между удалёнными максимумами (горизонтальными), а также числа промежутком между ними для различных сеток.

$n_{\text{сетки}}$	Δ , мм	k	θ_x , рад	d , мкм
1	143	4	0.053	20
5	81	18	0.030	160
4	71	12	0.026	120
3	143	12	0.053	60
2	144	6	0.054	30

Расстояние от сетки до экрана $L = 134.0 \pm 0.5$ см, длина волны лазера $\lambda = 532$ нм.

Определение периода решёток по изображению, увеличенному с помощью модели микроскопа Приведём результаты измерения периодов изображений на экране.

$n_{\text{сетки}}$	δ , мм	b_2 , см	$a_2 + b_1$, см	a_1 , см	d , мкм
1	0.93	69	44	16	17
2	1.5	69	44	16	25
3	3	68.5	44.5	16	54
4	6	68.5	44.5	16	109
5	8	67	46	16	143

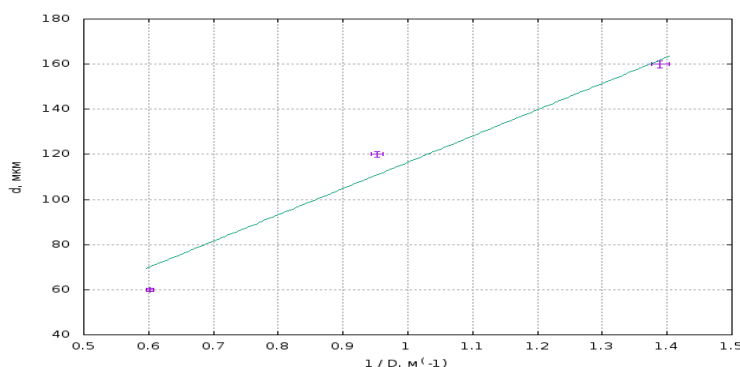
Стоит заметить, что увеличение $= 55$.

Определение периодов решёток по оценке разрешающей способности микроскопа

Поместив щелевую диафрагму с микрометрическим винтом в фокальную плоскость F линзы Л1, определим для каждой решётки минимальный размер диафрагмы D , при котором на экране ещё видно изображение сетки (при меньших размерах щели изображение выглядит как одномерная решётка).

$n_{\text{сетки}}$	D , мм
5	0.72
4	1.05
3	1.66

Проверим теорию Аббе, построив график зависимости $d = f(1/D)$, при этом используя периоды, определённые спектральным методом.



Как видно полученные значения достаточно хорошо соответствуют линейной зависимости, а следовательно, теория Аббе имеет место быть.

Пространственная фильтрация и мультиплицирование

Будем работать с сеткой 4. Поворачивая щель относительно оси системы, получим изображения решёток при различных ориентациях щели: для вертикального положения, для горизонтального положения и для наклонного изображения под углом 45°.

Явление мультипликации связано в основном с тем, что фильтрующая решётка пропускает дискретный спектр компонент. При этом при смене дифракционной решётки на ту, у которой период больше, период получаемого изображения уменьшается.

Выводы

Мы определили период диффракционной решётки различными способами и убедились, что результаты, полученные каждым из них лежать достаточно близко. Мы также смогли экспериментально убедиться, что теория Аббе является верной. При этом нам удалось пронаблюдать такие явления как пространственная фильтрация и мультиплицирование.