

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.3.3

---

## Исследование разрешающей способности микроскопа методом Аббе

---

**Автор:**

Глеб Уваркин  
615 группа

**Преподаватель:**

Клёнов Сергей Львович



17 февраля 2018 г.

## 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 Используемые формулы.

Для определения периода решёток имеем формулы :

$$d \sin \theta_x = m_x \lambda, \quad d \sin \theta_y = m_y \lambda, \quad (1)$$

где  $m_x$  и  $m_y$  – целые числа, характеризующие порядки дифракционных максимумов,  $\theta_x$  и  $\theta_y$  – направления на главные дифракционные максимумы в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно.

Минимальное разрешаемое объективом расстояние определяется условием

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

где  $D$  – диаметр диафрагмы.

Увеличение системы линз рассчитывается по формуле (см. рис. 2)

$$\Gamma = \frac{b_1 b_2}{a_1 a_2}$$

## 2 Экспериментальная установка.

Схема образования изображения в объективе микроскопа представлена на рис. 1. Для простоты рассмотрим случай, когда предметом является периодическая структура (дифракционная решётка), освещаемая параллельным пучком лучей.

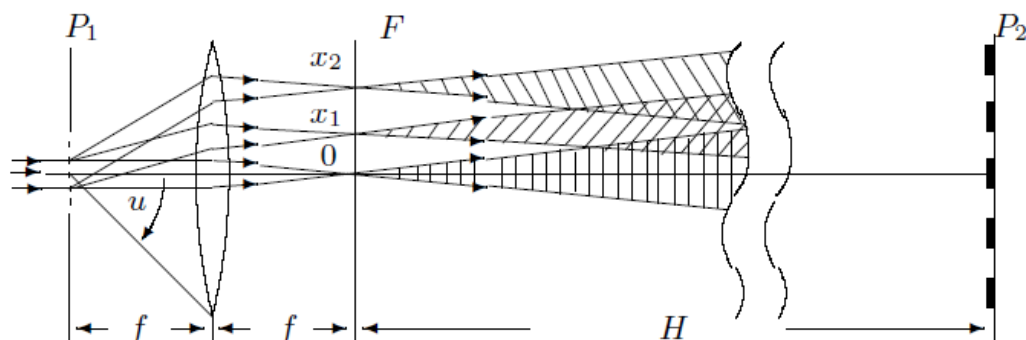


Рис. 1: Образование изображения в объективе микроскопа.  $P_1$  – плоскость предмета,  $F$  – задняя фокальная плоскость объектива,  $P_2$  – плоскость, сопряжённая с предметной плоскостью. В плоскости  $P_2$  световые пучки сильно перекрываются.

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

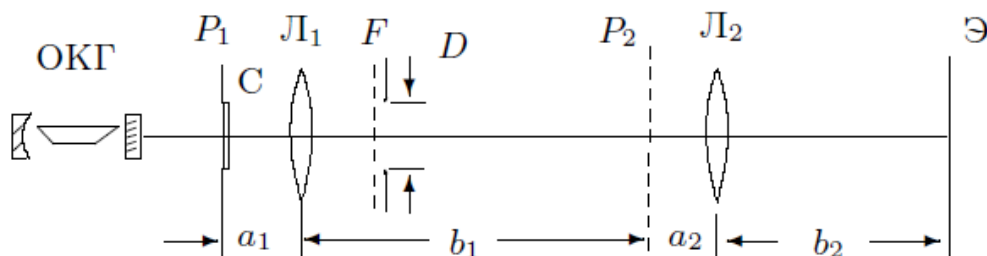


Рис. 2: Схема экспериментальной установки – модель проекционного микроскопа.

Излучение лазера (ОКГ) почти перпендикулярно падает на сетку С, установленную вблизи фокальной плоскости линзы  $L_1$  – объектива микроскопа. В нашей модели линза  $L_1$  выбирается достаточно длиннофокусной ( $f \approx 10$  см), т.к. размер первичного изображения в фокальной плоскости  $F$  должен быть не слишком малым, чтобы дополнительными диафрагмами можно было влиять на вторичное изображение в плоскости  $P_2$ . Вторичное изображение из плоскости  $P_2$  проецируется на экран Э линзой  $L_2$  (короткофокусной, чтобы изображение на экране было крупнее). Во избежание микротравм глаза от излучения лазера не следует использовать эту линзу традиционным образом как окуляр микроскопа.

### 3 Выполнение работы.

#### 3.1 Определение периода решёток по их пространственному спектру.

Определим расстояние между соседними дифракционными максимумами, измерив расстояние между удалёнными друг от друга максимумами (горизонтальными) и число промежутков между ними. Проведём измерение для пяти разных сеток. Результаты занесём в таблицу 1.

Таблица 1: Измерение периода решёток (с помощью спектра).

Решётка №	Расстояние, см	Число промежутков
1	14.3	4
2	14.4	6
3	14.3	12
4	7.1	12
5	8.1	18

Измерим расстояние  $H$  от сетки до экрана:  $H = 134$  см.

Запишем длину волны лазера, указанную на установке:  $\lambda = 532$  нм.

#### 3.2 Определение периода решёток по изображению, увеличенному с помощью модели микроскопа.

Соберём модель проекционного микроскопа (рис. 2).

Определим расстояния  $a_1, b_1, a_2, b_2$ . Измерим периоды изображений сеток на экране. Данные занесём в таблицу 2.

Таблица 2: Измерение периода решётки (с помощью микроскопа).

Решётка №	Период изображения, мм	$b_2$ , см	$a_2 + b_1$ , см	$a_1$ , см	$a_2$ , см
1	0.93	69	44		
2	1.4	69	44		
3	3	68.5	44.5	16	3.2
4	6	68.5	44.5		
5	8	67	46		

#### 3.3 Определение периодов решёток по оценке разрешающей способности микроскопа.

Поместим щелевую диафрагму с микрометрическим винтом в фокальную плоскость  $F$  линзы  $L_1$ . 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). Занесём результаты в таблицу 3.

Таблица 3: Измерение периода решёток (метод разрешающей способности).

Решётка №	1	2	3	4	5
Размер щели, мм	–	3.37	1.66	1.05	0.72

### 3.4 Пространственная фильтрация и мультиплицирование.

Прделаем качественный опыт по пространственной фильтрации. Подберём сетку средних размеров с достаточно крупным вторичным изображением (метка "3"). Ширину щели подберём так, чтобы она свободно пропускала максимум нулевого порядка и не пропускала максимумы первого порядка, расположенные в поперечном направлении. Поворачивая щель относительно оси системы, получим изображение решёток при различных ориентациях щели: для вертикального и горизонтального положения, а также для наклонного положения под углом  $45^\circ$ , когда пропускаются максимумы с  $m_x = m_y$ .

Для наблюдения явления мультиплицирования поменяем местами сетку С и щель D: сначала, не трогая линз, получим на экране резкое изображение щели, а затем в фокальной плоскости  $F$  объектива поставим кассету с сетками, которые будут «рассекать» фурье-образ щели.

Подберём такую ширину входной щели  $D$ , чтобы на экране можно было наблюдать мультиплицированное изображение для всех сеток.

## 4 Обработка результатов.

1. По измерениям спектров (таблица 1) определим дифракционные углы  $\theta_x$  и рассчитаем периоды решёток по формуле (1).

Таблица 4: Периоды решёток (метод спектра).

Решётка №	$\theta_x$ , рад	$d$ , мкм
1	0.053	<b>20</b>
2	0.054	<b>30</b>
3	0.053	<b>60</b>
4	0.026	<b>120</b>
5	0.030	<b>160</b>

2. По измерениям увеличенных с помощью микроскопа изображений сеток (таблица 2) рассчитаем их периоды и сравним с результатами, полученными ранее.

Таблица 5: Периоды решёток (определение с помощью микроскопа).

Решётка №	Увеличение	$d$ , мкм
1	55	<b>17</b>
2		<b>25</b>
3		<b>54</b>
4		<b>109</b>
5		<b>143</b>

Результаты опытов практически совпадают.

3. По измерениям со щелью (таблица 3) рассчитаем по формуле (2) минимальное расстояние (период решётки  $d$ ), разрешаемое микроскопом, и сравним с результатами предыдущих измерений.

Таблица 6: Периоды решёток (оценка разрешающей способности микроскопа).

Решётка №	1	2	3	4	5
$d$ , мкм	–	<b>35</b>	<b>70</b>	<b>111</b>	<b>163</b>

Эти результаты также близки к полученным ранее.

4. Для проверки теории Аббе построим график зависимости  $d = f(1/D)$ , взяв периоды сеток, определённые по спектру (рис 3).

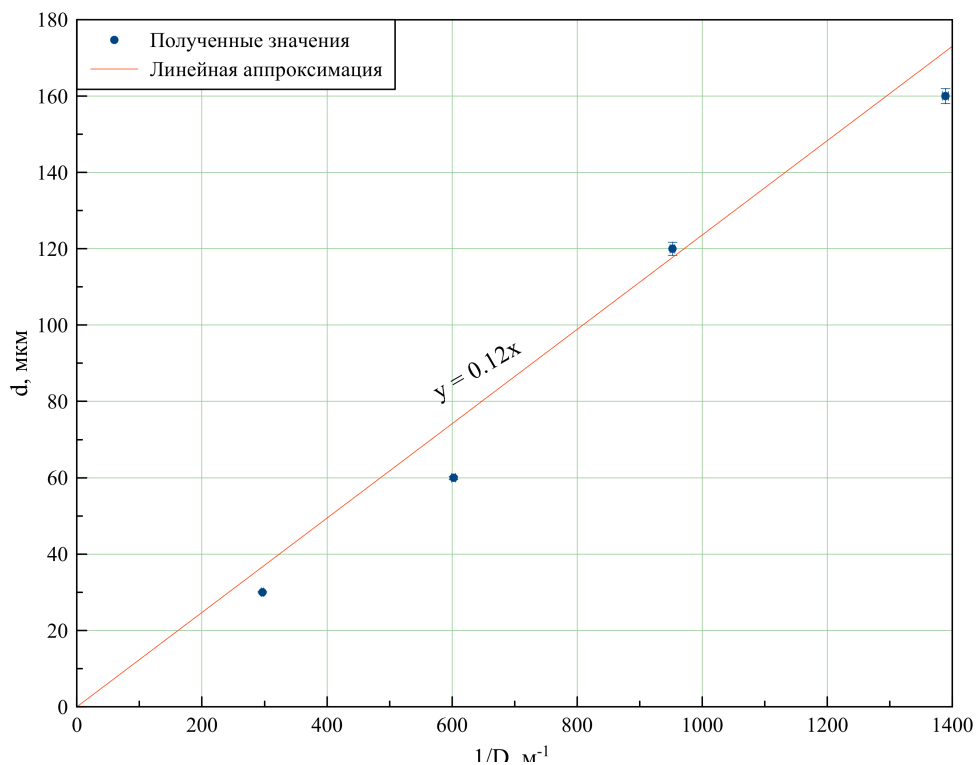


Рис. 3: Подтверждение теории Аббе.

Из графика видно, что зависимость близка к линейной  $\Rightarrow$  теория Аббе выполняется.

5. а) Отразим полученные изображения пространственной фильтрации на рис. 4

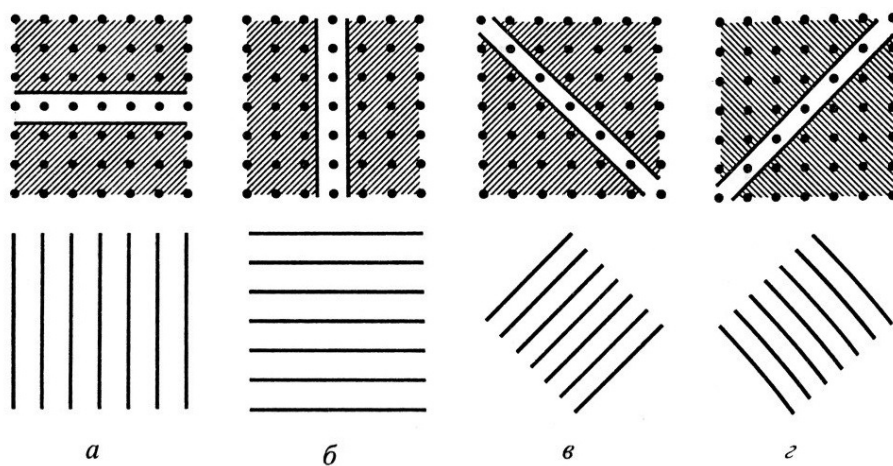


Рис. 4: Пространственная фильтрация.

Ряд максимумов (рис. 4(а)) аналогичен дифракционной картине от одномерной решётки с вертикальными щелями. Поэтому оптическое изображение квадратной сетки при введении горизонтальной щели перейдёт в систему вертикальных полос. Аналогично для рис. 4(б).

Если щель повернуть параллельно диагонали сетки (рис. 4(в и г)), то она выделит прямолинейный ряд максимумов, параллельной той же диагонали, причём расстояния между максимумами увеличатся в  $\sqrt{2}$  раз. В результате оптическое изображение сетки перейдёт в систему наклонных полос, перпендикулярных к щели, а сами полосы сделаются в  $\sqrt{2}$  раз уже.

**Д.С. Рождественский указал, что непосредственной причиной появления ложных структур в этих опытах (опытах Аббе) является дифракция света на экранирующей сетке.**

б) Явление мультиплицирования изображено на рис. 5

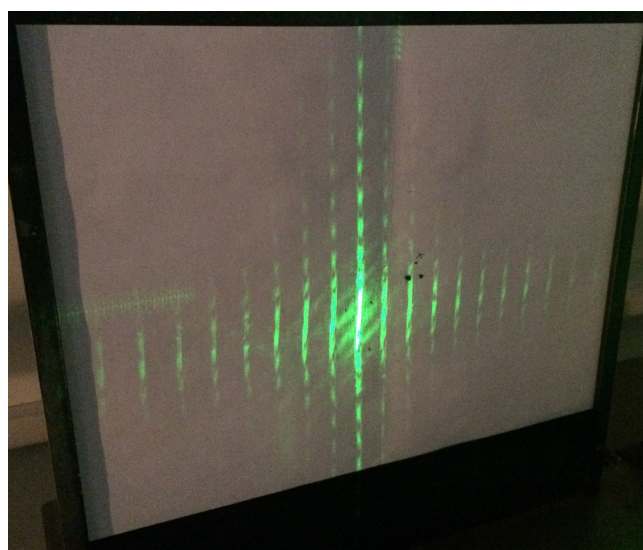


Рис. 5: Пространственная фильтрация.

Данное явление связано с тем, что фильтрующая решётка пропускает дискретный спектр компонент, что в свою очередь делает возможным представление изображения в плоскости  $\Pi_2$  в виде периодического.

Также было установлено, что при смене дифракционной сетки с меньшим периодом на сетку с большим периодом, период изображения уменьшается. Данный факт подтверждается формулами.

## 5 Вывод.

- В ходе данной лабораторной работы был измерен период дифракционной решётки. Значения, полученные различными способами, оказались достаточно близкими.
- Был определён дифракционный предел разрешения объектива микроскопа методом Аббе, а также была проверена теория Аббе.
- Были изучены явления пространственной фильтрации и мультиплицирования.