

## § 2.13. РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ МИКРОСКОПА И ТЕЛЕСКОПА

### Разрешающая способность микроскопа

Волновая природа света налагает предел на возможность различения деталей предметов или очень мелких предметов при их наблюдении в микроскоп. Дифракция не позволяет получить отчетливые изображения мелких предметов, так как свет распространяется не строго прямолинейно, а огибает препятствия. Из-за этого изображения мелких предметов получают «размытыми». Никакое увеличение не поможет различить детали предмета, если их «размытые» изображения сливаются.

Сейчас мы убедимся в том, что это происходит, когда линейные размеры предметов порядка длины световой волны.

Пусть предметом, который мы рассматриваем в микроскоп, будет дифракционная решетка с периодом  $d$ . Тогда минимальная деталь предмета, которую мы должны различить, как раз и будет периодом решетки.

На решетке происходит дифракция света, и свет преимущественно распространяется в направлениях, определяемых условием (2.12.1). Чем меньше период решетки, тем под большими углами  $\varphi$  происходит отклонение лучей (кроме центрального максимума). Но ведь диаметр объектива микроскопа ограничен. И при больших углах дифракции далеко не весь свет, прошедший через решетку, попадает в объектив. Половину угла, под которым виден объектив из центра рассматриваемого предмета, называют **апертурой объектива** (рис. 2.37).

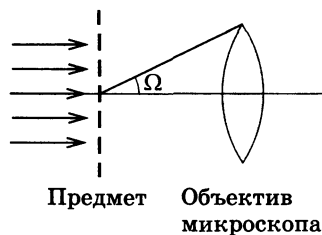


Рис. 2.37

Если апертура объектива  $\Omega < \varphi_1$ , где  $\varphi_1$  — угол, определяющий направление на первый главный максимум, то в объектив попадут только лучи, не отклоняемые решеткой (центральный максимум). Но в этом случае изображения решетки не получится. Ведь если решетку убрать, то на объектив будет падать параллельный пучок лучей, таких же, какие образуют центральный максимум. Поле зрения микроскопа окажется освещенным равномерно. Следовательно, для получения изображения решетки в объектив должны попасть лучи, образующие, по крайней мере, первый дифракционный максимум. Изображение будет тем качественнее, чем большая часть лучей, образующих последовательные главные максимумы, попадет в объектив. Оказывается, что получить грубое изображение решетки можно и с помощью первого максимума. Так как  $\sin \varphi_1 = \frac{\lambda}{d}$  и должно выполняться условие  $\Omega > \varphi_1$ , то  $\sin \Omega > \sin \varphi_1$  и  $\sin \Omega \geq \frac{\lambda}{d}$ . Отсюда минимальные размеры различимых деталей предмета

$$d \geq \frac{\lambda}{\sin \Omega}. \quad (2.13.1)$$

Так как  $\sin \Omega \leq 1$ , то различить детали, меньшие длины световой волны, нельзя.

Полученный нами результат для простейшего объекта — периодической структуры — имеет общее значение. Чем меньше длина волны, тем больше разрешающая способность микроскопа.

Для очень малых длин электромагнитных волн (рентгеновские лучи, см. § 4.6) показатель преломления у всех веществ  $n \approx 1$ .

Поэтому нельзя создать линзы для рентгеновских лучей и построить рентгеновский микроскоп. Созданы электронные микроскопы, в которых роль световых лучей играют электронные пучки. Разрешающая способность электронных микроскопов может быть настолько большой, что позволяет «видеть» отдельные молекулы и даже атомы.

### **Разрешающая способность телескопа**

Световая волна от удаленного источника, например от звезды, падает на объектив телескопа. Эту волну можно считать плоской. В результате дифракции на объективе, как на отверс-

тии, изображением звезды будет не точка, а маленькое светлое пятнышко, окруженное темными и светлыми дифракционными кольцами.

При дифракции плоской волны на щели направление на первый минимум определяется выражением:

$$b \sin \varphi = \lambda. \quad (2.13.2)$$

При дифракции на отверстии вместо полос возникают кольца. Угол  $\varphi$ , определяющий направление на первое темное кольцо, зависит от диаметра объектива  $D$  и длины волны  $\lambda$  так:

$$D \sin \varphi \approx 1,22 \lambda. \quad (2.13.3)$$

Эта формула отличается от формулы (2.13.2) только множителем 1,22 и заменой  $b$  на  $D$ . Вывод ее довольно сложен, и мы на нем останавливаться не будем. Из-за того что угол  $\varphi$  мал, радиус первого темного кольца в фокальной плоскости объектива равен

$$r \approx F\varphi = \frac{1,22F\lambda}{D}. \quad (2.13.4)$$

Именно это «размытие» изображения определяет конечную разрешающую способность телескопа.

Допустим, наблюдаются две звезды, угловое расстояние между которыми равно  $\theta$  (рис. 2.38). Каждая звезда дает на экране систему светлых и темных колец. Если центры колец окажутся очень близкими друг к другу, то изображения звезд сольются в одно светлое пятнышко и нельзя будет установить наличие двух звезд. *Различить звезды наверняка можно в том случае, если первое темное кольцо в изображении одной звезды совпадет с максимумом изображения второй.* Это условие и определяет минимальное угловое расстояние между звездами, различимыми с помощью телескопа. Угол  $\theta$  должен быть равным (или большим) угла  $\varphi$ , определяемого формулой (2.13.3):

$$\theta \geq \varphi = 1,22 \frac{\lambda}{D}. \quad (2.13.5)$$

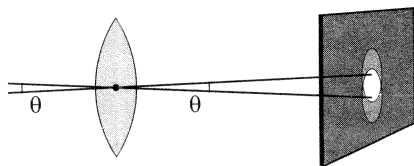


Рис. 2.38

Эта формула определяет разрешающую способность телескопа. Чем больше диаметр объектива телескопа, тем лучше его разрешающая способность.

Радиотелескопы принимают электромагнитные волны сантиметрового или метрового диапазона. Поэтому разрешающая способность их гораздо меньше, чем у оптических телескопов, хотя диаметр антенны достигает сотен метров.

- ? 1. Можно ли негатив фотографии колец Ньютона использовать в качестве зонной пластинки?
2. Как построить векторную диаграмму в том случае, когда непрозрачный экран закрывает центральную зону Френеля?
3. Чему равна амплитуда колебаний, когда открыта половина центральной зоны Френеля, если амплитуда колебаний от всех зон равна  $E_0$ ?
4. Период дифракционной решетки в 3 раза превышает ширину щели. Все ли главные максимумы будут наблюдаться на экране?