

камеры-обскуры, пучки света становятся расходящимися, картинка на экране – размытой. А чтобы узнать, насколько размытой, необходимо вспомнить способность света к интерференции, т.е. к взаимному сложению волн, приходящих в одну точку экрана от разных источников.

В нашем случае независимыми источниками света можно считать бесчисленное множество точек входной апертуры, ведь каждая из них из-за дифракции посылает свет во всех направлениях (принцип Гюйгенса – Френеля). Падающие на экран волны складываются друг с другом в соответствии со своими фазами, в некоторых точках усиливая друг дру-

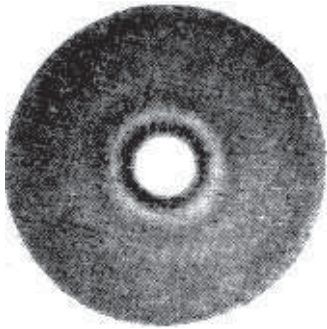


Рис. 5. Дифракционная картина изображения точечного источника круглым объективом

га, а в некоторых ослабляя. В результате получается следующая картина: пройдя сквозь маленькое круглое отверстие, пучок параллельных (вначале) лучей даст на экране светлое пятнышко, окруженное concentрическими темными и светлыми кольцами спадающей яркости (рис.5). Можно считать, что камера-обскура отображает на экране каждую точку светящегося объекта в виде такого светлого пятна, окруженного «зёброй» колечек. Обычно считается, что изображения двух соседних точек объекта можно различить на экране, если центры их светлых пятен раздвинуты не менее чем на радиус первого темного кольца (критерий Рэлея). Угол α_2 , под которым этот радиус виден от входного отверстия, можно оценить из тех соображений, что разность путей света от ближайшей и наиболее удаленной точек объектива до любой из точек на темном кольце должна быть порядка длины волны света λ . Тогда мы получим $\alpha_2 \approx \lambda/D$. А точный расчет дает следующее значение предельного угла разрешения, обуслов-

ленного дифракцией:

$$\alpha_2 = 1,22 \frac{\lambda}{D}. \quad (2)$$

Поскольку оба указанных эффекта – геометрический размер пучка и дифракция – накладываются друг на друга, можно считать, что полный предельный угол разрешения камеры составляет $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$. В зависимости от размера отверстия он изменяется так, как показано на рисунке 6. Очевидно, что при некотором оптимальном диаметре отверстия ($D_{\text{опт}}$) достигается наилучшая разрешающая способность камеры данного размера (F), которую характеризует минимальное значение угла разрешения ($\alpha_{\text{мин}}$). Найти эти параметры нетрудно. Тем, кто знаком с производной, ясно, что своего минимального значения α достигает в точке, соответствующей условию $\alpha' = 0$. А для остальных тоже вполне очевидно из рисунка 6, что минимум достигается в той точке, где $\alpha_1 = \alpha_2$. Оба эти условия тождественны. Из них мы получим

$$D_{\text{опт}} = \sqrt{2,4\lambda F} \text{ и } \alpha_{\text{мин}} = \sqrt{\frac{2,4\lambda}{F}}. \quad (3)$$

На что же способна оптимальная классическая камера-обскура? Для визуальных наблюдений примем длину волны видимого света $\lambda = 5500 \text{ \AA}$. Тогда можно представить наш результат в удобном для оценок виде:

$$D_{\text{опт}} = 1,2 \text{ мм} \cdot \sqrt{\frac{F}{1\text{м}}} \text{ и } \alpha_{\text{мин}} = 4' \cdot \sqrt{\frac{1\text{м}}{F}}, \quad (4)$$

где F измеряется в метрах. Как видим, у камеры «человеческого» размера ($F = 2-5 \text{ м}$) предельный угол разрешения больше, чем у здорового глаза (около $1'$). Значит, с ее помощью мы не увидим на поверхности Солнца более мелких деталей, чем позволяет видеть наш невооруженный глаз – разумеется, защищенный плотным светофильтром. В прежние времена роль такого светофильтра с успехом выполняли облака, дым пожара или просто толстый слой воздуха, сквозь который мы видим Солнце на восходе и на закате. В летописях некоторых народов упоминается о пятнах на Солнце, наблюдавшихся сквозь облака или дым и выглядевших «аки гвозди». В принципе, это возможно: хотя среднее солнечное

пятно имеет угловой размер около $0,3'$, изредка на Солнце появляются очень крупные пятна или их группы. Например, в марте 1947 года наблюдалась группа пятен размером около 200 тыс. км; похожие группы пятен наблюдались в 1957 и 1968 годах. Их угловой размер – $4'$ – без труда ощутим даже для не очень зоркого глаза, что и было доказано наблюдениями сквозь плотный светофильтр.

Внимание! Мы не зря уже второй раз упомянули о светофильтре – без него на Солнце смотреть нельзя! При этом это должен быть очень темный фильтр, а вовсе не солнечные очки. Подойдет стекло сварщика или алюминированный целлофан, в который заворачивают букеты цветов.

Итак, хотя в древние времена люди изредка могли наблюдать солнечные пятна невооруженным глазом, научным фактом эти эпизодические наблюдения не стали: мало ли что может привидеться! Надежных и систематических наблюдений поверхности Солнца в древности не проводили (или сведения об этом не дошли до нас). Ну а в принципе могли бы астрономы, например, Древней Греции систематически наблюдать солнечные пятна при помощи классической обскуры? Как видно из формул 4, сделав камеру длиной 20–30 метров, можно получить прибор более зоркий, чем человеческий глаз. А со 100-метровой камерой можно было бы наблюдать солнечные пятна систематически. Уж не упустили ли древние греки свой шанс?

Вспомним, что с удалением экрана от объектива возрастает угловой размер изображения и, следовательно,

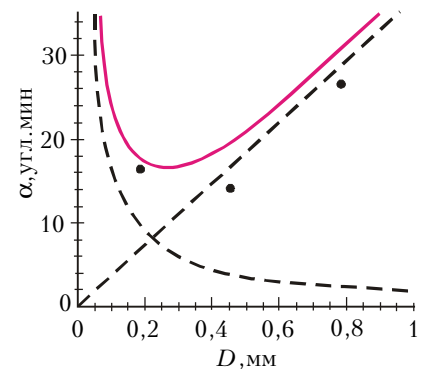


Рис. 6. Предельный угол разрешения α камеры-обскуры в зависимости от диаметра ее отверстия D . Расстояние от экрана до отверстия 4,6 см; длина световой волны $\lambda = 4300 \text{ \AA}$. Пунктирные линии соответствуют уравнениям (1) и (2), сплошная линия – их сумма, черные точки – экспериментальные значения