

## О центральном экранировании.

В последние годы с новой силой разгорелись споры о том, какое влияние на качество изображения оказывает размер вторичного зеркала в зеркальных и менисковых телескопах. Поводом к таким спорам оказалось появление на западном рынке линзовых телескопов-апохроматов с очень хорошей коррекцией хроматической аберрации. У любителей появилась прекрасная возможность сравнить качество и контраст изображения, даваемого телескопом без центрального экранирования (рефрактор-апохромат) и с центральным экранированием (Шмидт-Кассегрен, Менисковые Кассегрен и Ньютон, классические Ньютон и Кассегрен). И тут стало выявляться, что практически у любого телескопа, имеющего центральное экранирование, контраст мелких деталей на дисках планет снижен, и тем сильнее, чем больше величина центрального экранирования. Для того, чтобы разобраться в происходящем, обратимся к математике, описывающей распределение энергии в изображении точечного источника, создаваемого идеальным объективом в отсутствии атмосферных помех.

Английский астроном Дж. Эри в 1834г показал, что распределение освещенности  $E$  в изображении точечного источника, создаваемое идеальной оптической системой с круглым входным зрачком, определяется уравнением:

$$E = a_0^2 \frac{p^2}{I^2} \frac{D^4}{4f_0'^2} \left( \frac{J_1(q_1)}{q_1} \right)^2$$

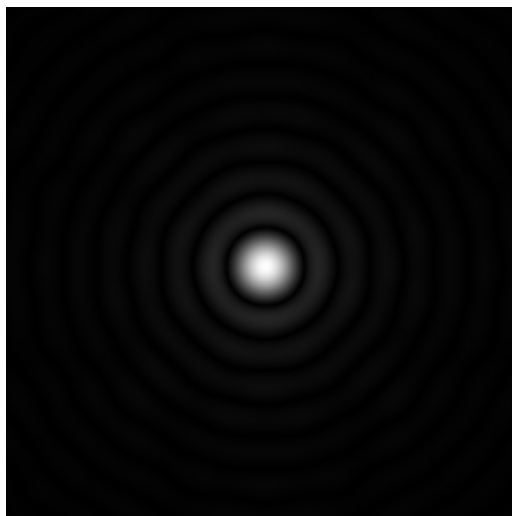
где  $a_0$  – амплитуда колебания на входном зрачке,  $D$  – диаметр входного зрачка,  $f_0'$  – фокусное расстояние системы,  $J_1$  – функция Бесселя первого порядка,  $I$  – длина волны света,  $q_1$  – оптическое число, определяемое формулой:

$$q_1 = \frac{2p}{I^2} a' r_1 \approx \frac{p}{I} \frac{D}{f_0'} r_1$$

в которой  $a'$  – апертурный угол,  $r_1$  – расстояние точки в плоскости Гаусса от центра изображения. Если  $q_1 = 0$ , освещенность максимальна; она быстро падает при удалении от центра изображения и достигает нуля при  $q_1 = 3.832$  (первое темное кольцо). За этим темным кольцом следует ряд светлых колец убывающей интенсивности, разделенных темными кольцами. Центральное пятно называют пятном или кружком Эри. Если принять освещенность в центре кружка Эри за единицу, то первая формула упростится:

$$E = \frac{4}{q_1^2} J_1^2(q_1)$$

Впрочем, достаточно формул, посмотрим, как это все выглядит на практике. Вот как выглядит изображение точки, построенное идеальным объективом без центрального экранирования:



В кружке Эри содержится 83.8% всей энергии, остальная энергия находится в кольцах.

Диаметр кружка Эри определяется только светосилой объектива и длиной волны света, в которой ведется наблюдение. Таким образом, даже у зеркального объектива с полностью отсутствующими хроматическими аберрациями кружок Эри имеет красный край, т.к. диаметр больше в красных чем в зеленых лучах, а зеленых – больше, чем в синих.

Радиус кружка Эри можно выразить простой формулой:

$$r = 1.2197 \lambda \mathcal{V}$$

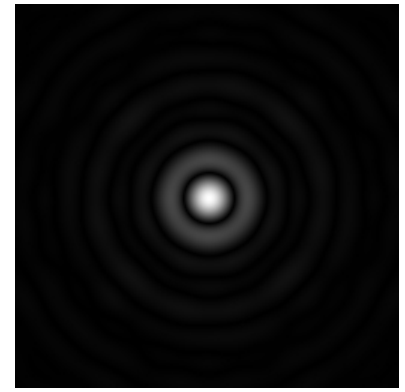
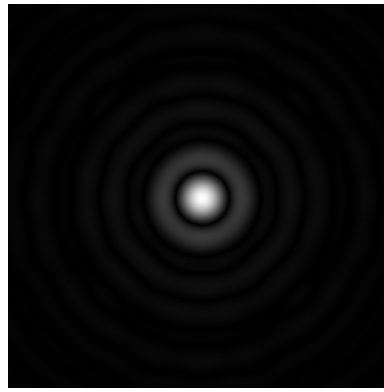
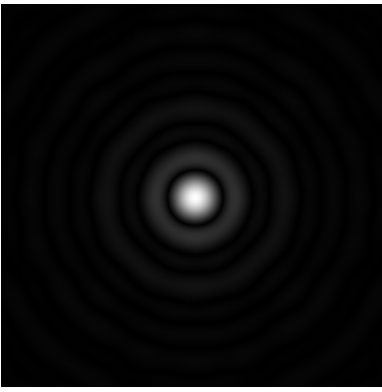
где  $\lambda$  - длина волны,  $\mathcal{V}$  - фокусное расстояние, деленное на диаметр объектива.

Рассмотрим, что произойдет, если центральную часть объектива закрыть круглым непрозрачным экраном. На практике таким экраном являются вторичное зеркало Кассегрена, диагональное зеркало в Ньютоне, кассетная часть в Камере Шмидта.

Распределение энергии в изображении точки для различных коэффициентов  $\epsilon_1$  центрального экранирования дается формулой:

$$E = \frac{4}{(1 - \epsilon_1^2)} \left[ \frac{J_1(q_1)}{q_1} - \epsilon_1^2 \frac{J_1(\epsilon_1 q_1)}{\epsilon_1 q_1} \right]^2.$$

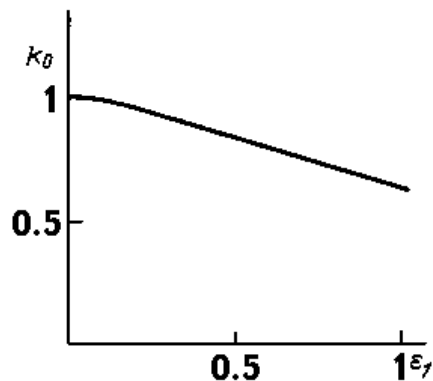
А вот как выглядят изображения точки (звезды) для систем с центральным экранированием, равным 0.2, 0.3 и 0.4:



Прекрасно видно, как «разгорается» первое дифракционное кольцо.

Чтобы читатель мог не проводить утомительные вычисления, приведем ряд выводов, следующих из этой формулы.

1. По мере роста центрального экранирования, происходит перекачка энергии из центрального максимума в кольца, причем энергия в кольцах перераспределяется неравномерно. Так, например, при  $\epsilon=0.4$  заметно возрастает яркость четвертого дифракционного кольца, и оно станет ярче, чем третье кольцо.
2. Диаметр кружка Эри по мере роста центрального экранирования немного уменьшается, как это показано на графике ниже.



Как эти зависимости проявляются на деле?

Начнем с первого пункта. К чему приводит перераспределение энергии из кружка Эри в кольца? Это приводит к тому, что столь старательно собранная нашим объективом энергия «размазывается» по большей площади. Главное действие такого перераспределения – существенное падение контраста мелких деталей. Когда это приносит наибольший вред? Конечно тогда, когда мы пытаемся рассмотреть мелкие детали с малым контрастом. В первую очередь, это детали на дисках планет и Луны в полнолуние. А ведь именно планеты – это те объекты, наблюдая которые любитель пытается «выжать» максимум разрешения из своего инструмента. И вот здесь его и может ждать большое разочарование, если его инструмент имеет большое центральное экранирование. Ведь имея данные о разрешающей способности, полученные исходя только из диаметра объектива телескопа, мы сопоставляем угловой диаметр планеты с угловым диаметром кружка Эри и ожидаем увидеть на Юпитере хотя бы пару десятков дета-

лей, а вместо этого видим только две самые темные полосы. А ведь именно перераспределение энергии из кружка Эри в кольца и скрыло от нас волнующую картину столь богатой малоконтрастными деталями атмосферы Юпитера.

Что же можно сделать, чтобы избежать разочарований такого рода, связанных с самостоятельным расчетом любительского телескопа? Прежде всего, следует всемерно стремиться к снижению центрального экранирования и выбору рациональной конструкции всего телескопа в целом. Дело в том, что требование малого центрального экранирования часто находится в противоречии с остальными требованиями к телескопу, который часто замышляется как универсальный инструмент. Здесь стоит подумать о специальном, «планетном» телескопе, в котором все будет посвящено достижению минимально возможного центрального экранирования. О принципах конструирования таких телескопов мы поговорим в следующий раз.

Теперь несколько слов об уменьшении диаметра кружка Эри при увеличении центрального экранирования. Приведем данные о таком уменьшении в виде таблицы. Для системы без центрального экранирования диаметр кружка Эри равен 1.

Таблица 1.

$K_{\text{экр}}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Отн. радиус	0,988	0,956	0,913	0,866	0,821	0,775	0,733	0,697	0,66

Как видите, можно выиграть до 1/3 от разрешающей способности системы без центрального экранирования, но применять этот метод можно только при наблюдении объектов высокого контраста, т.е. звезд. Возможность применения этого метода должна определяться в каждом конкретном случае самим наблюдателем.