

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОПТИКИ. IV

АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЯ ТОЧКИ (ИСКУССТВЕННОЙ ЗВЕЗДЫ) С ПОМОЩЬЮ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ АППАРАТУРЫ

Г. М. Бескин, А. М. Богудлов, Э. А. Витриченко, О. А. Евсеев

Предложен новый количественный метод исследования изображения точки, создаваемого параболическим астрономическим зеркалом в схеме с нуль-корректором. Метод позволяет построить распределение энергии в кружке рассеяния и провести его изофотометрию.

A new quantitative method of image investigation is described. The method permits to get information of the distribution and isophotometry of an image.

Разрешение астрономического зеркала является основной характеристикой его качества, так как именно разрешение в первую очередь интересует астрономов, наблюдающих на телескопе. Поэтому уже в цеховых условиях при изготовлении зеркала важно определить наряду с топографией его поверхности и распределение энергии в изображении точки (искусственной звезды), создаваемом этим зеркалом.

Здесь предлагается способ решения этой задачи с помощью телевизионной аппаратуры, а также рассматривается методика обработки результатов в общем виде с целью получения распределения энергии в кружке рассеяния и изофотометрии изображения точки.

Методика измерений

Первичной информацией в рассматриваемом методе являются фотометрические сечения изображения точки. На рис. 1 приведена блок-схема электронной части установки и ее оптическая схема. Изображение точечного источника света с помощью микрообъектива (9), в фокальной плоскости которого установлена шкала с делениями через 0.1 мм, перебрасывается на сигнальную пластинку видикона (10). На экране монитора получается увеличенное изображение точки с выделенной строкой раstra, вдоль которой производится фотометрическое сечение. На экране осциллографа видно само фотометрическое сечение. Передающая трубка закрепляется в поворотном устройстве, которое имеет фиксацию через 30°. Это позволяет получить шесть диаметральных сечений изображения точки. Шкала микрообъектива также проектируется на экран монитора, и по ней весьма просто определяются линейные размеры кружка рассеяния. На осциллограммах деления шкалы видны в виде резких спадов интенсивности.

Фотография изображения точки, полученная с экрана монитора при исследовании параболического астрономического зеркала ($D=600$ см,

$R=4800$ см) в схеме с нуль-корректором, приведена на рис. 2. На фотографии видны деления шкалы и сетка экрана монитора. На рис. 3 приведен пример фотометрического сечения, полученного фотографированием с экрана осциллографа.

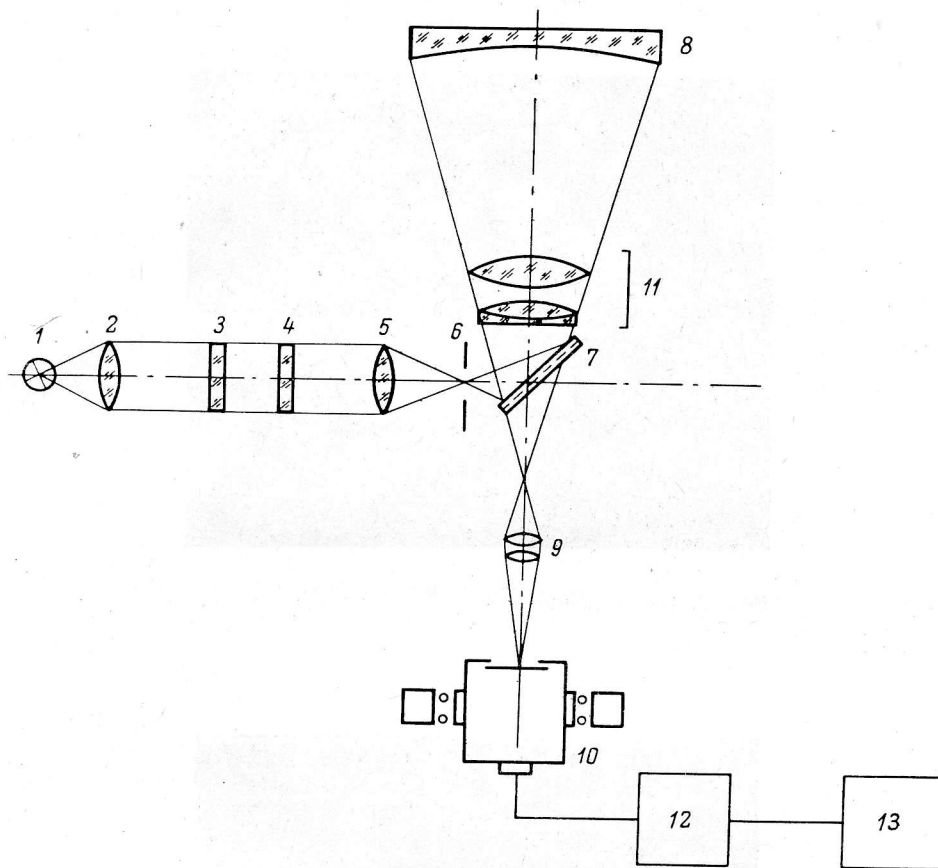


Рис. 1. Оптическая схема и блок-схема электронной части установки.

— источник света; 2 — конденсор; 3 — нейтральный фильтр; 4 — интерференционный фильтр; 5 — объектив; 6 — точечное отверстие диаметром 0.02 мм; 7 — полупрозрачная пластинка; 8 — исследуемое зеркало; 9 — микрообъектив; 10 — передающая трубка в поворотном устройстве; 11 — нуль-корректор; 12 — монитор; 13 — осциллограф.

Методика обработки результатов измерений

Поскольку в процессе обработки поверхность зеркала далека от идеальной, распределение интенсивности в кружке рассеяния является весьма сложной функцией координат точки в фокальной плоскости. По этой причине различные диаметральные фотометрические сечения могут значительно отличаться друг от друга.

Для вычисления светового потока, проходящего в фокальной плоскости через кольцо определенной ширины и определенного диаметра, достаточно заменить интенсивности света в различных точках кольца их средними значениями. В этом случае мы заменяем набор из шести фотометрических сечений точки одним средним фотометрическим сечением. Для вычисления среднего сечения в плоскости изображения точки построим набор равноотстоящих окружностей (рис. 4) с диаметрами $2a$, $4a$, $6a$, \dots , $2Na$, где a — выбранный шаг, N — номер окружности, вдоль ко-

торой интенсивность практически равна нулю. Для каждой окружности вычисляем среднее значение интенсивности по формуле

$$I_i = \left[\sum_{j=1}^n I_j(a) + \sum_{j=1}^n I'_j(a) \right] / 2n, \quad (1)$$

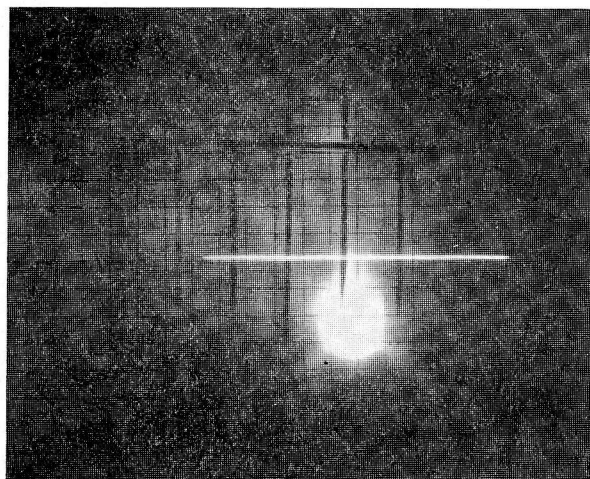


Рис. 2. Изображение кружка рассеяния на экране монитора.

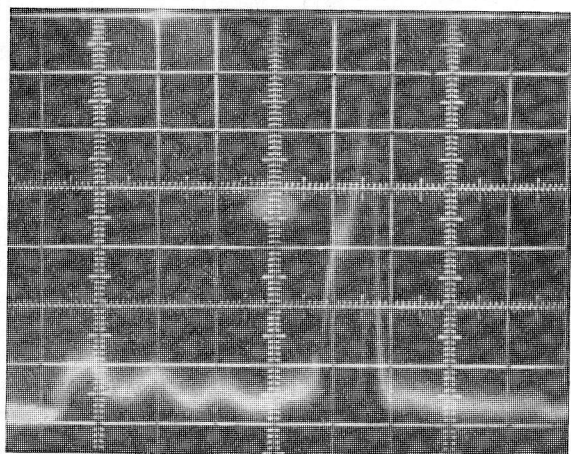


Рис. 3. Пример фотометрического сечения кружка рассеяния.

где n — число сечений (в нашем случае $n=6$), I_j и I'_j — интенсивности данного сечения по обе стороны от центра изображения точки.

Пример усреднения показан на рис. 5. Точность построения среднего сечения пропорциональна числу выбранных разрезов и возрастает с уменьшением шага a .

Для вычисления относительной величины светового потока в кружках разного диаметра применим численное интегрирование методом прямоугольников:

$$\Phi [(2k+1)a] = \left(I_0 + 8 \sum_{i=0}^k i I_i \right) / \left(I_0 + 8 \sum_{i=0}^N i I_i \right), \quad (2)$$

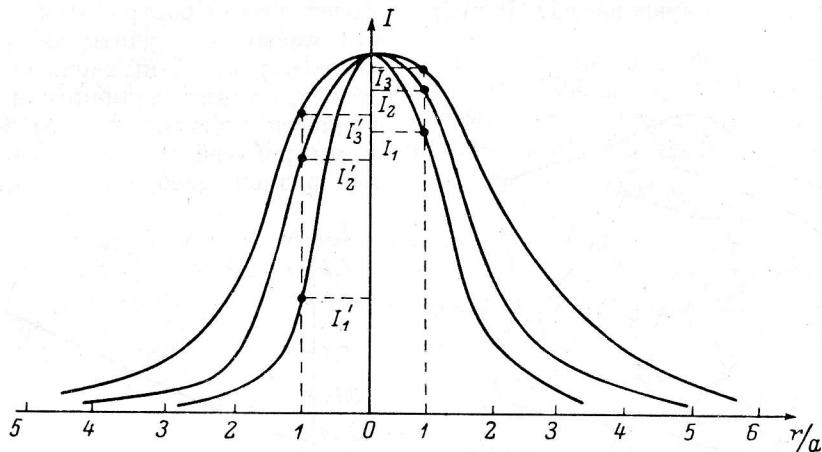


Рис. 4. К нахождению усредненного фотометрического сечения.

где $\Phi [(2k+1)a]$ — световой поток в кружке диаметром $(2k+1)a$ (здесь $k=1, 2, \dots, N$) по отношению к полному световому потоку; I_0 — интенсивность в центре изображения точки.

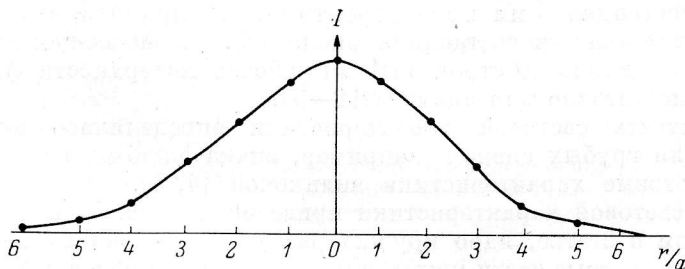


Рис. 5. Пример усредненного симметричного фотометрического сечения изображения кружка рассеяния.

Рассмотрим получение изофотометрических сечений изображения точки. Разобьем осциллограммы фотометрических сечений точки по амплитуде на одинаковое для всех сечений число отрезков. Нанесем на плане точки фотометрических сечений, для которых интенсивности одинаковы, и соединим их плавной линией. Таким образом получим серию изофот. Пример такого построения показан на рис. 6. По изофотам изображения точки можно судить о степени симметрии изображения, о характере «крыльев» в изображении, легко можно оценить концентрацию света в кружках разного диаметра.

Ошибки метода

В качестве преобразователя «свет—сигнал» в описанном методе применяется телевизионная трубка видикон. Светоприемникам этого типа свойственны определенные искажения при преобразовании сигнала,

из которых наиболее существенными считаются неоднородности чувствительности по полю в вертикальном и горизонтальном направлениях, нелинейность световой характеристики, снижение разрешающей способности по краям растра [1].

Неоднородность чувствительности видикона ЛИ 422 неоднократно исследовалась, величина ее составляет около 10% в вертикальном и горизонтальном направлениях. Размер рабочей части растра 10×10 мм², что позволяет, учитывая равномерно нарастающий характер искажения, принять величину неоднородности чувствительности 1% на 1 мм рабочей поверхности. Так как размер изображения кружка

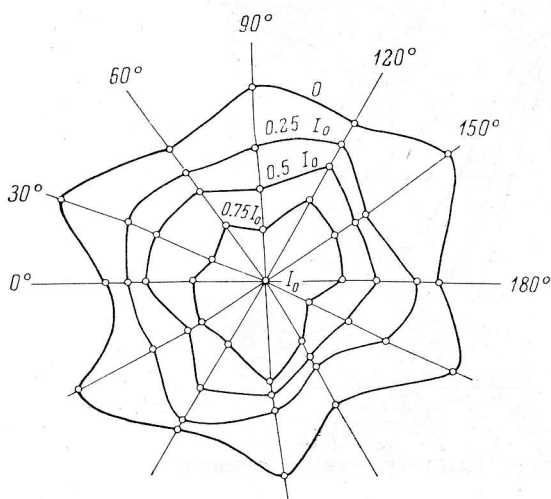


Рис. 6. Изофоты изображения кружка рассеяния.

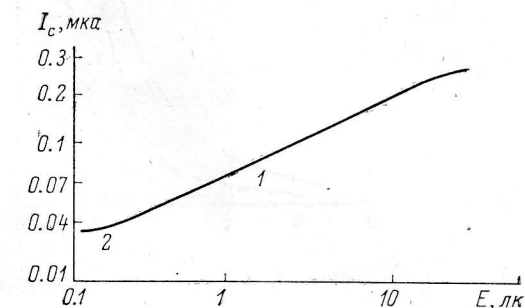


Рис. 7. Световая характеристика видикона ЛИ 422.

рассеяния составлял 5 мм в диаметре, то можно принять, что неоднородность чувствительности составляла около 5%. Разрешающая способность при этом составляла 50 строк на 1 мм рабочей поверхности фотокатода, что вполне достаточно для анализа [1—3].

Нелинейность световой характеристики определялась экспериментально, а для грубых оценок (например, знака ошибки) использовались типовые световые характеристики видиконов [4, 5].

График световой характеристики приведен на рис. 7. В случае, рассматриваемом в статье, ядро кружка рассеяния занимало положение 1, а наиболее удаленные части крыльев приходились на область 2. Очевидно, что в этом случае мы получаем искаженное представление о распределении энергии в кружке рассеяния, которое приводит к фиктивному повышению качества зеркала. Поскольку наши измерения проводились на линейном участке световой характеристики видикона, соответствующая погрешность не превышала (1—2)% от измеряемой амплитуды сигнала.

Среднеквадратичная ошибка измерений составляет около 5%.

Заключение

Описанный выше количественный метод исследования астрономической оптики является весьма эффективным при применении его в цеховых условиях. Основными его достоинствами являются наглядность и оперативность. Если до сих пор изофотометрия изображения точки могла быть выполнена только фотографическим путем с использованием эффекта Сабатье, то теперь использование свойств телевидения позволяет существенно ускорить получение этой информации. И еще одно преимущество: фотометрические сечения представляют собой аналоговый сигнал, что

позволяет легко ввести их в ЭВМ с целью существенного сокращения времени обработки.

В заключение приносим благодарность И. М. Копылову за помощь в организации работы и полезные дискуссии, А. И. Самойлову, В. И. Сиянскому — за изготовление некоторых узлов аппаратуры, В. А. Иванову — за помощь в эксперименте.

Л и т е р а т у р а

1. С. Б. Г у р е в и ч. Теория и расчет не вещательных систем телевидения. М., «Энергия», 1970.
2. А. Г. К о н д р а т ь е в, М. И. Л у к и н. Техника промышленного телевидения. Лениздат, 1970.
3. А. С о у л. Электроннооптическое фотографирование. М., Воениздат, 1972.
4. Ю. И. О м е л ь я н е н к о и др. Телевидение. Киев, «Техника», 1964.
5. Передающие телевизионные трубки. Проспект-каталог Министерства электронной промышленности. М., 1969.