

УДК 522.61

АСТРОФИЗИКА

Б. О. Карапетян, В. С. Осканян

К расчету информационных характеристик
 астрономической наблюдательной системы

(Представлено академиком В. А. Амбарцумяном 12/V 1979)

В работе (1) была рассмотрена в общем виде передача оптической информации при астрономических наблюдениях, определены обобщенные информационные характеристики наблюдательной системы, включающей в себя все звенья тракта, по которому проходит информация о наблюдаемом объекте. Такими звеньями являются, в частности, межзвездная среда и земная атмосфера, телескоп, оптический прибор-анализатор, светоприемник и регистратор. Было показано, что количество информации может служить обобщенным критерием, позволяющим учитывать влияние отдельных звеньев на информационные свойства системы в целом. В настоящей работе выводятся некоторые расчетные выражения, связывающие информационные характеристики системы с условиями наблюдений и параметрами оптических инструментов и приемной аппаратуры.

Если входное сообщение и шумы характеризуются максимальной неопределенностью, то количество информации на выходе осесимметричной системы

$$H = A \cdot H' = 2\pi A \int_0^{\infty} \log_2 [1 + m(o) \cdot T^2(\nu)] \nu \cdot d\nu \text{ бит,} \quad (1)$$

где H' — удельное количество информации, бит · мм⁻², A — площадь изображения, мм²; ν — пространственная частота, мм⁻¹; $T(\nu)$ — частотно-контрастная характеристика (ЧКХ), $m(o)$ — число различных градаций уровня сигнала при нулевой пространственной частоте.

В случае, когда приемная поверхность делится на n изопланетических областей, отличающихся друг от друга по ЧКХ,

$$H = 2\pi \sum_{i=1}^n A_i \int_0^{\infty} \log_2 [1 + m(o) \cdot T_i^2(\nu)] \nu \cdot d\nu \text{ бит,} \quad (2)$$

где A_i , $T_i(\nu)$ — соответственно площадь и ЧКХ i -ой области.

Как было отмечено в (1), носителями информации на выходе системы являются так называемые «сигнальные события» (электрические импульсы, почерневшие зерна фотоэмульсии, вспышки на экране ЭОП или ЭЛТ, деления шкалы измерительного прибора и т. д.), число которых в линейной системе пропорционально входному числу квантов и зависит от таких факторов, как экстинкция и рассеяние в атмосфере и в оптике, световая эффективность оптики, квантовый выход, чувствительность и коэффициент усиления приемника и т. д.

Согласно (2), если приход сигнальных и шумовых событий описывается распределением Пуассона, то число различимых градаций уровня сигнала

$$m(o) = \frac{\sqrt{k^2 + 8(\bar{N}_c + \bar{N}_ш)} - \sqrt{k^2 + 8\bar{N}_ш}}{2k} \quad (3)$$

где \bar{N}_c и $\bar{N}_ш$ — соответственно число сигнальных и шумовых событий, k — коэффициент достоверности, характеризующий точность измерений, т. е. определяющий вероятность того, что энергия сигнала находится в некотором интервале значений ΔW .

Определим \bar{N}_c и $\bar{N}_ш$ на выходе системы, рассматривая последовательно влияние отдельных звеньев.

Среднее число квантов, приходящих от звезды (или элементарного разрешаемого участка наблюдаемого протяженного объекта) за время экспозиции t сек и собираемых в фокальной плоскости телескопа, равно

$$\bar{N}_{зв} = \bar{N}_m \frac{\pi}{4} D^2 p q t \text{ квантов,} \quad (4)$$

где \bar{N}_m — средняя плотность излучения от звезды m -й величины в заданном спектральном интервале на границе земной атмосферы, квант \cdot мм⁻² сек⁻¹; D — диаметр апертуры телескопа, мм; p — коэффициент прозрачности атмосферы; q — коэффициент пропускания оптики телескопа.

От фона неба на площадке в фокальной плоскости, занятой изображением звезды, соберется в среднем

$$\bar{N}_\phi = \bar{N}_{m\phi} \frac{\pi^2}{16} D^2 p q \frac{\delta^2}{M^2} t \text{ квантов,} \quad (5)$$

где $\bar{N}_{m\phi}$ — число квантов фона, приходящих с одной квадратной секунды дуги на единичную площадку на границе земной атмосферы, квант \cdot мм⁻² сек⁻¹ (сек. дуги)⁻²; δ — диаметр изображения звезды, мм; M — масштаб, мм \cdot (сек. дуги)⁻¹.

В тех случаях, когда в фокусе телескопа находится диафрагма фотометра или щель спектрографа, световой поток, собранный телескопом, может быть использован не полностью, поэтому в расчетах сле-

дует учитывать только ту его часть, которая проходит через диафрагму или щель. Пусть, например, щель с размерами $2b \times 2c$ сцентрирована с изображением звезды (см. рис. 1). Распределение интенсивности в турбулентном изображении звезды в фокальной плоскости телескопа (функция рассеяния) при длительных экспозициях осесимметрично и удовлетворительно описывается гауссовой кривой ⁽³⁾: $f(x) = (1/\sigma\sqrt{2\pi}) \times \exp(-x^2/2\sigma^2)$, где σ — среднеквадратичное отклонение. Подставив $u = x/\sigma$, переходим к стандартизованному виду нормального распределения. Найдем связь параметра распределения σ с величиной диаметра изображения звезды δ . Если задавать разрешение размерами кружка, в котором сосредоточены 99,7% излучения звезды, собранного телескопом, то при нормальном распределении это будет соответствовать значению $U_{max} = 3,0$ ⁽⁴⁾. Отсюда $x_{max} = \delta/2 = 3\sigma$ и $\sigma = \delta/6$.

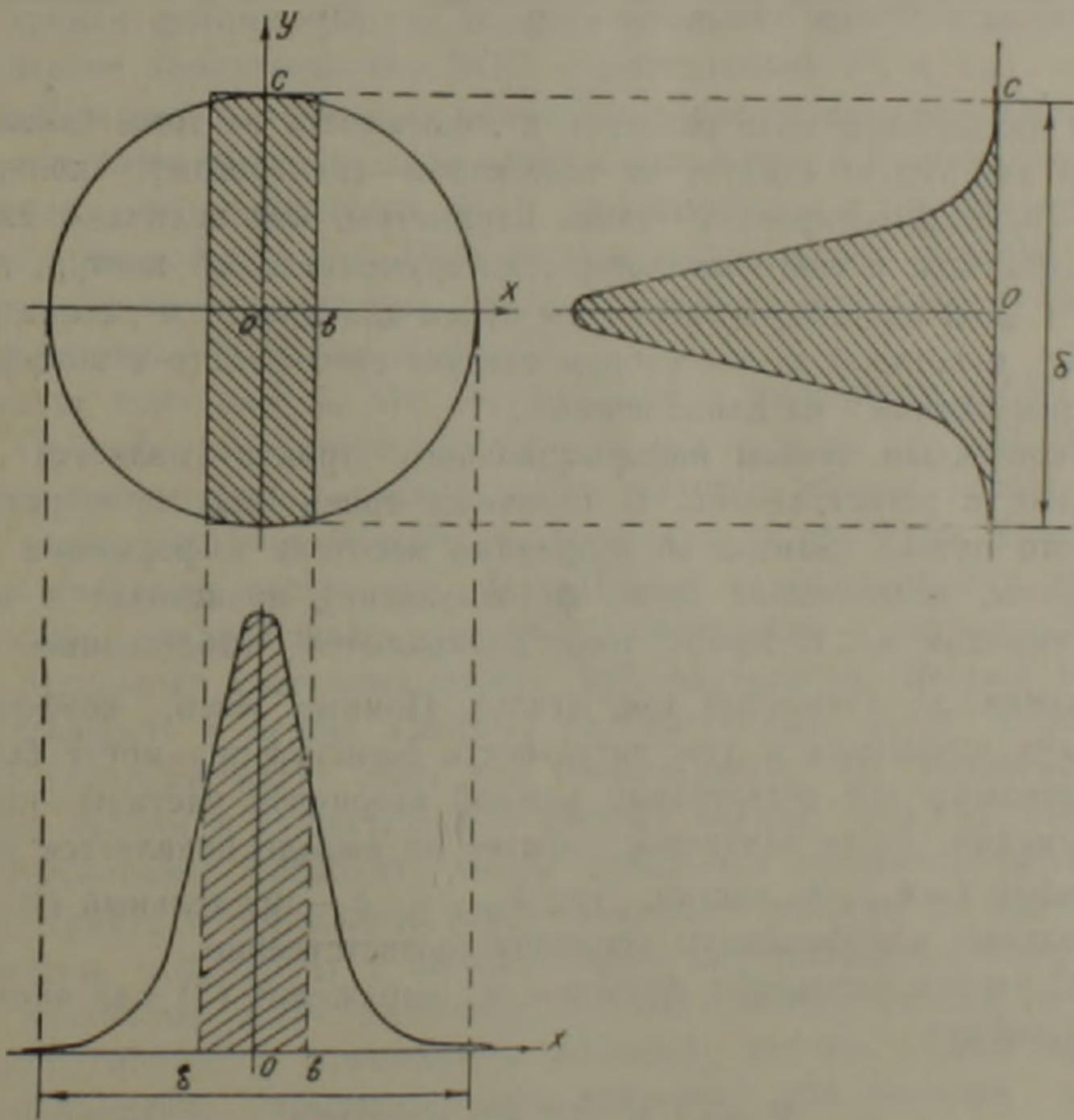


Рис. 1

Доля светового потока от звезды, пропущенная щелью

$$\eta = \int_{-b}^b f(x) dx \int_{-c}^c f(y) dy. \quad (6)$$

Если высота щели равна диаметру изображения звезды, $2c = \delta$,

то $\int_0^c f(y) dy \cong 1,0$ и $\tau_i = \int_0^b f(x) dx$. При подстановке $u = x/\delta$ получим:

$$\tau_i = \int_0^{b/\delta} f(u) du = \int_0^{6b/\delta} f(u) du = \Phi [u - 6b/\delta],$$

где $\Phi [u]$ — стандартизованный интеграл вероятностей.

Таким образом, число квантов от звезды, пропущенных щелью,

$$\bar{N}_{зв. ш.} = \tau_i \bar{N}_{зв} = \bar{N}_m \frac{\pi}{4} D^2 p q t \Phi [6b/\delta] \text{ квантов,} \quad (7)$$

и число квантов фона, пропущенных щелью с площадью $4 (b \times c) \text{ мм}^2$

$$\bar{N}_{ф. ш.} = \frac{\pi}{4} \bar{N}_{мф} \frac{D^2}{M^2} p q t 4 b c = \frac{\pi}{2} \bar{N}_{мф} \frac{D^2 \delta b}{M^2} p q t \text{ квантов,} \quad (8)$$

В дальнейшем ходе расчетов, в зависимости от того, какой оптический инструмент следует за телескопом — спектрограф, поляриметр и т. д. — будут фигурировать такие параметры, как величины световой эффективности и световых потерь, инструментальный контур, дисперсия и т. д. В настоящей работе мы будем для простоты рассматривать систему, в которой за телескопом следует светофильтр с коэффициентом пропускания τ на длине волны λ .

Оконченным звеном информационного тракта является светоприемник с регистратором. В реальных приемниках преобразование входного потока квантов во вторичные носители информации (фотоэлектроны, почерневшие зерна фотоэмульсии), происходит с квантовым выходом $\epsilon < 1$. Кроме того, добавляются собственные шумы приемника \bar{N}_n (темновой ток, вуаль). Помимо этого, коэффициент усиления приемника и чувствительность регистратора могут быть недостаточными для регистрации каждой вторичной частицы — носителя информации. Тогда единичное событие на выходе появляется при поступлении $l = k_{\text{пред}}/k_y$ частиц, где $k_{\text{пред}}$ и k_y — предельный (³) и действительный коэффициенты усиления соответственно.

С учетом указанных факторов в выражение (3) для числа градаций войдут

$$\bar{N}_c = \pi \cdot \bar{N}_m D^2 p q \tau \epsilon t / 16 l \quad (9)$$

и

$$\bar{N}_{ш} = \pi^2 t (\bar{N}_{мф} \pi D^2 p q \tau \epsilon / 4 M^2 + \bar{N}_n) / 4 l. \quad (10)$$

Для подсчета количества информации по формуле (1) или (2) необходимо знать ЧКХ отдельных звеньев, так как результирующая ЧКХ системы равна произведению ЧКХ последовательных звеньев. Определению аппаратной функции и ЧКХ различных составных частей системы (телескоп + турбулентная атмосфера, приемник изобра-

жения и др.) посвящена обширная литература, поэтому здесь этот вопрос подробно не рассматривается. Если aberrации и искажения в оптике невелики, то ЧКХ звена можно аппроксимировать кривой Гаусса

$$T(\nu) = \exp(-2\pi^2 \nu^2/a^2), \quad (11)$$

где параметр a соответствует условию $T(\nu_{max}) = 0,05$ при $\nu_{max} = R, \text{ м.м}^{-1}$ (R — разрешающая способность).

Важным критерием является информационная емкость системы, т. е. максимальное количество передаваемой информации. Предельное число градаций зависит от динамического диапазона, ограничиваемого сверху насыщением, а снизу — шумами. Наибольшая величина сигнала N_{max} , при которой достигается насыщение, должна определяться из характеристик вход-выход приемника, таких как характеристическая кривая фотоматериала, дифференциальная и интегральная фотометрические характеристики ЭОП с фотопленкой (6) и др.

По описанной методике авторами были рассчитаны информационные характеристики двух телескопов с идеальным и квазиидеальным приемниками, фотопластинкой, ФЭУ, однокамерным и многокамерным ЭОП, электронной камерой. Произведены также оценки информационной эффективности некоторых эксплуатационных методов улучшения качества изображения на телескопе.

Следует подчеркнуть, что обсуждаемые в настоящей работе и в работе (1) информационные критерии не могут и не должны занять место тех параметров и характеристик, которые обычно используются для оценки астрономических инструментов и приборов. Вместе с тем они являются достаточно обобщенными и объективными характеристиками, отражающими сложные взаимосвязи и влияние параметров отдельных составных частей наблюдательной системы на ее информативность в целом. Поэтому рассмотренные здесь информационные критерии могут стать тем необходимым, но недостающим пока еще звеном в существующей системе оценок, которое позволит более обоснованно проводить выбор отдельных элементов наблюдательного тракта и определять соответствующие режимы их работы.

Заметим, что наряду с исследованием информационных характеристик различных астрономических наблюдательных систем, оптических инструментов и приемников, большой интерес представляет также применение информационных критериев при решении таких вопросов, как оценка методики наблюдений и обработки данных, избыточность, кодирование, стоимость астрономической информации и т. д.

Авторы выражают благодарность академику В. А. Амбарцумяну за обсуждение настоящей работы и ценные замечания.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Армянской ССР
Бюраканская астрофизическая обсерватория
Академии наук Армянской ССР

Աստղագիտական դիտողական համակարգի ինֆորմացիոն բնութագրերի
հաշվարկի մեթոդիկան

Աստղագիտական դիտումների ժամանակ համատեղ օգտագործվող տար-
բեր օպտիկական և էլեկտրոնային սարքերը դիտարկվում են որպես մի ամ-
բողջական համակարգ, որի տեղեկատվությունը գնահատվում է ընդհանրաց-
ված ինֆորմացիոն բնութագրերի օգնությամբ: Որպես հիմնական բնութագիր
օգտագործվում է հաղորդվող ինֆորմացիայի քանակը (հրկնիչ թվանշաններով
-բիտերով):

Ներկա աշխատանքում դուրս են բերված բանաձևեր, որոնք արտահայ-
տում են այդ ընդհանրացված բնութագրերի կախումը դիտողական համակար-
գում ընդգրկված առանձին սարքերի բնութագրերից: Այդ բանաձևերը թույլ
են տալիս թվային հաշվարկի միջոցով գնահատել ամեն մի սարքի և ամբողջ
համակարգի կողմից բաց թողնվող տեղեկության քանակը:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Բ. Օ. Կարապետյան, Վ. Ս. Օսկանյան, ДАН Арм. ССР, т. 67, № 5 (1978). ² Բ. Օ. Կարա-
պետյան, Վ. Ս. Օսկանյան, «Оптико-механическая промышленность», № 11, 1976 ³ Дж.
Койлер, Б. Миддлхерст (ред.), Телескопы, М., ИЛ, 1963. ⁴ Г. Корн, Г. Корн, Спра-
вочник по математике, М., «Наука», 1977. ⁵ Е. К. Завойский, М. М. Бутслов, Г. Е.
Смолякин, ДАН СССР, т. III, стр. 966 (1956). ⁶ Г. Е. Смолякин, Е. А. Стриганова,
«Приборы и техника эксперимента», № 3, 1972.