

К. Г. АРУТЮНЯН

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Введение. Современные астрономические наблюдения проводятся с помощью различных приемников излучения, каждый из которых обладает своими преимуществами и недостатками.

Эффективность различных методов астрономических наблюдений зависит от ряда факторов: от диаметра телескопа, от продолжительности экспозиции, а также от параметров приемника излучения. Такими параметрами являются квантовый выход, случайная ошибка измерения и др.

С целью сравнительного анализа приемников излучения в настоящей работе предпринята попытка количественной оценки информативности некоторых приемников, используемых в астрономии.

Из определения количественной меры информации, введенного К. Шенноном [1], можно получить следующее выражение для количественной оценки информативности источника:

$$I(A) = \lg_2 p, \quad (1)$$

где p — количество возможных состояний источника A (подробнее см. [2, 3]). Все дальнейшие вычисления будут основываться на этом выражении.

Астрофотография. Предельная звездная величина. Информативность астрофотопластинки. Если принять точность определения звездной величины в астрофотографии $\Delta m = 0^m,05$, то нетрудно получить минимальное количество проявленных зерен фотоземли, необходимое для определения звездных величин примерно равное 400.

Учитывая, что на тех уровнях освещенности, с которыми имеет дело астрономическая фотография, на образование одного проявленного зерна требуется ~ 1000 квантов [4], можно записать следующее равенство:

$$f \cdot q \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot t \cdot \Delta \lambda \cdot k = 4 \cdot 10^5, \quad (2)$$

где f — поток излучения, падающего на эмульсию, q — коэффициент пропускания оптики, D — диаметр телескопа, t — продолжительность экспозиции, $\Delta \lambda$ — полоса пропускания системы, k — количество квантов, проходящихся на 1 эрг.

Преобразуя выражение (2) и принимая $q = 0,8$, можно получить выражение для предельной звездной величины m_L . Например, в спектральной области В

$$m_L = 0,85 + 5 \lg D + 2,5 \lg t. \quad (3)$$

Здесь D выражается в сантиметрах, t — в секундах.

Для эмульсий средней чувствительности

$$m_L - m^L \approx 4, \quad (4)$$

где m^L — звездная величина предельно ярких объектов, которые еще не попали в область передержек [4].

Теперь, воспользовавшись таблицей чисел звезд на квадратный градус [5], несложно определить количество N_m «информативных» звезд, т. е. звезд, попавших в область нормальных почернений фотоэмульсии. А поскольку количество информации — аддитивная величина, достаточно знать информативность изображения одной звезды I_0 , чтобы подсчитать информативность всей фотопластинки $I = N_m \cdot I_0$.

Но так как динамический диапазон фотопластинки, согласно выражению (4), составляет 4 звездные величины, а точность определения звездной величины равна $0^m 05$, каждая из тех звезд, изображения которых получены в области нормальных почернений, может находиться в одном из 80 состояний. Тогда информативность одного изображения

$$I_0 = \lg_2 80 = 6,32 \text{ бит.} \quad (5)$$

Таблица 1

Зависимость информативности фотопластинки средней чувствительности от диаметра телескопа с полем зрения в 1° при продолжительности экспозиции в 1 с.

D (см)	10,72	16,98	26,92	42,66	67,61	107,15	169,82	269,15	426,58	676,08
I (бит)	0,43	1,26	3,48	9,67	25,92	69,67	178,78	458,85	1124,04	2564,49

Таблица 2

Зависимость информативности фотопластинки средней чувствительности от продолжительности экспозиции для метрового телескопа с полем зрения в 1° .

t (с)	1,1	2,9	7,2	18,2	45,7	114,8	288,4	724,4	1819,7	4570,9
I (бит)	69,67	178,78	458,85	1124,04	2564,49	5855,05	13047,38	26445,83	47581,42	87470,89

Теперь, пользуясь этим значением и значениями N_m , можно получить зависимость информативности фотографических изображений от диаметра телескопа (табл. 1) или от экспозиции (табл. 2).

Информативность фотографических спектров. При фотографировании спектра получается выигрыш в количестве информации по сравнению с прямыми снимками за счет увеличения числа регистрируемых элементов. С другой стороны, проигрыш в предельной звездной величине, который происходит из-за того, что энергия, излучаемая звездой, распределяется по большей поверхности, ведет к потере информации. С этой точки зрения интересна количественная оценка информативности снимков с объективной призмой, которая дает возможность сравнения информативности прямой фотографии с информативностью изображения спектров звезд.

Если регистрируется участок спектра $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$, то полное число минимальных разрешаемых спектральных элементов $n = \frac{\Delta\lambda}{\delta\lambda}$, где $\delta\lambda$ —

минимальный спектральный интервал между близкими линиями λ и $\lambda + \delta\lambda$, которые спектрограф позволяет разрешить. Полное число состояний спектра одной звезды равно произведению числа спектральных элемен-

гов n и числа регистрируемых энергетических элементов X , а информативность спектра одной звезды

$$I_0 = \lg_2 n x. \quad (6)$$

Учитывая, что динамический диапазон фотопластинок средней чувствительности составляет 4 звездные величины, можно показать, что при точности определения звездной величины $\Delta m = 0^m 05$ $x = 75$. При регистрируемом участке спектра $\Delta \lambda = 2000 \text{ \AA}$ и разрешении $\delta \lambda = 100 \text{ \AA}$ полное число минимальных разрешаемых спектральных элементов $n = 20$.

Подстановка численных значений x и n в выражение (6) дает:

$$I_0 = \lg_2 1500 = 10,55 \text{ бит}. \quad (7)$$

Проделав далее рассуждения, аналогичные проведенным выше, получим следующее выражение для предельной звездной величины в случае снимков с объективной призмой:

Таблица 3

Зависимость информативности фотографических спектров от диаметра телескопа (поле зрения телескопа 1° , $t = 1 \text{ с}$)

$D(\text{см})$	26,92	42,66	67,61	107,15	169,82	269,15	426,58	676,08
m_L	4	5	6	7	8	9	10	11
$I(\text{бит})$	0,11	0,21	0,74	2,11	5,80	16,14	43,26	116,26

Таблица 4

Зависимость информативности фотографических спектров от экспозиции (поле зрения 1° , $D = 1 \text{ м}$)

$t(\text{с})$	1,1	2,9	7,2	18,2	45,7	114,8	288,4	724,4	1819,7	4570,9
m_L	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$I(\text{бит})$	2,11	5,80	16,14	43,26	116,26	298,35	765,72	1875,79	4279,61	9770,88

$$m_L = -3,15 + 5 \lg D + 2,5 \lg t, \quad (8)$$

откуда, воспользовавшись таблицей чисел звезд [5], можно определить количество звезд, спектры которых получаются в области нормальных почернений фотоэмульсии. Затем, умножив количество звезд на величину информативности одного спектра (7), получим полную информативность фотографии, полученной с объективной призмой.

Таблицы 3 и 4 показывают зависимость информативности фотографических спектров от диаметра телескопа и от продолжительности экспозиции.

Сравнивая эти таблицы с результатами, полученными для прямых снимков, можно убедиться, что информативность снимков с объективной призмой гораздо меньше информативности прямых фотографий,

несмотря на то, что информативность спектра одной звезды (7) больше информативности прямого изображения одной звезды (5).

Эта потеря информации обусловлена ухудшением предельной звездной величины, что связано с тем, что, как указывалось выше, при фотографиях, полученных с объективной призмой, энергия звезды распределяется по большей поверхности, чем в случае прямых снимков.

Заметим, что отношение информативностей прямых снимков и снимков с объективной призмой растет с увеличением диаметра телескопа и падает с увеличением экспозиции.

Информативность фотоэлектрических приемников излучения. В качестве примера фотоэлектрического приемника излучения нами был исследован фотоумножитель ФЭУ-104.

С помощью испытательного стенда был получен динамический диапазон фотоумножителя, откуда, перейдя к звездным величинам, можно определить информативность фотоумножителя, которая, как и в предыдущих случаях, определяется величиной $\frac{m_L - m^L}{0^m 05}$.

Полученная зависимость информативности фотоумножителя от диаметра телескопа при экспозиции $t=1c$ показана в табл. 5. Из таблицы видно, что для фотоумножителя зависимость информативности

Таблица 5

Зависимость информативности фотоумножителя ФЭУ-104 от диаметра телескопа при продолжительности экспозиции $t=1c$

D(см)	m_L	m^L	I (бит)
10	10.75	1.80	178.8
20	12.25	3.30	179.2
50	14.35	5.29	181.0
100	16.25	6.80	189.2
150	18.80	7.68	222.4

от диаметра телескопа слабее, чем для фотографических методов, хотя при малых диаметрах применение фотоумножителей приводит к некоторому выигрышу в информативности. Но при дальнейшем увеличении диаметра фон неба ограничивает предельную звездную величину и информативность фотоумножителя падает.

Автор выражает благодарность Г. М. Товмасыну и Ю. К. Мслик-Алавердяну за полезное обсуждение и критические замечания.

Կ. Հ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

ԱՍՏՂԱԳԻՏԱԿԱՆ ԴԻՏՈՒՄՆԵՐԻ ՏԱՐԲԵՐ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԻ ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ

Ա մ փ ո փ ո մ

Փորձ է արված աստղագիտության մեջ կիրառվող ճառագայթման տարրերի տիպի ընդունիչների էֆեկտիվությունները համեմատել ինֆորմատիվություն տեսակետից:

Դիտարկված են դիտումների երեք եղանակներ՝ ուղղակի լուսանկարում, սպեկտրալ դիտումներ և դիտումներ ֆոտոբազմապատկիչի կիրառությամբ: Ցույց է տրված, որ այդ երեք տիպի դիտումներից ամենաինֆորմատիվը ուղղակի լուսանկարումն է: Սակայն պետք է նշել, որ, ինչպես երևում է աղ- լուսակներ 1, 3 և 5-ի համեմատումից, շատ կարճատև լուսակայումների և ~1,5 մ-ից փոքր տրամագծով դիտակների դեպքում ֆոտոբազմապատկիչի կիրառությամբ դիտումների ինֆորմատիվությունը գերազանցում է լուսանկարչական եղանակների ինֆորմատիվությանը:

K. H. HARUTUNIAN

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF INFORMATIVITY FOR DIFFERENT METHODS OF ASTRONOMICAL OBSERVATIONS

Summary

An attempt is made to compare the efficiencies of different detectors of radiation used in astronomy from the informativity point of view.

The results for three methods of astronomical observations—direct photography, spectral photography and observations with a photomultiplier tube are compared.

It is shown that the direct photography is the most informative of considered methods. Though, as one can see from the comparison of the Tables 1, 3 and 5, the informativity of the observations with a photomultiplier tube becomes higher than for the photographic methods in the case of small telescopes (smaller than ~1,5m) and very short exposures.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Шеннон, Работы по теории информации и кибернетике, М., ИЛ, 1963.
2. И. А. Липкин, Основы статистической радиотехники, теории информации и кодирования, М., Сов. радио, 1978.
3. А. М. Яглом, И. М. Яглом, Вероятность и информация, М., Наука, 1973.
4. В. И. Малышев, Введение в экспериментальную спектроскопию, М., Наука, 1979.
5. К. У. Аллен, Астрофизические величины, М., Мир, 1977.