

ПОРОГОВАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ

Е. С. АГАПОВ, В. Ф. АНИСИМОВ, Р. И. КИЛАДЗЕ, С. И. СИНЕНОК и
А. Ш. ХАТИСОВ

Пороговая чувствительность приемника излучения характеризуется наименьшим количеством радиации, которая может быть обнаружена с заданной вероятностью при единичном наблюдении. Если приемник является идеальным, то он имеет квантовый выход $\varepsilon=1$, в нем отсутствуют внутренние шумы и имеется достаточное усиление для регистрации каждого эффективно поглощенного кванта. Пороговая чувствительность такого приемника, выраженная средним числом квантов полезного излучения \bar{N}_0 , эффективно поглощенных и зарегистрированных, пропорциональна среднему квадратичному отклонению $\sqrt{\bar{N}_\phi}$ соответствующего числа квантов фона (L_1).

С учетом флуктуаций полезного излучения (L_2) в случае вероятности обнаружения $p(N_0 + N_\phi \geq N_\phi + 1) = 0.84$ флуктуационный критерий порога приобретает следующий вид:

$$\bar{N}_0 = 1 + \sqrt{0.75 + 2\bar{N}_\phi}. \quad (1)$$

На рис. 1 приведена кривая 1 зависимости порогового числа \bar{N}_0 эффективно поглощенных квантов от уровня фона \bar{N}_ϕ , построенная по формуле (1). Там же показана кривая 2 зависимости порогового контраста

$$K = \frac{\bar{N}_0}{\bar{N}_\phi} \text{ от величины фона.}$$

Современные фотоэлектрические приемники характеризуются квантовым выходом, значительно меньшим единицы, и наличием внутренних шумов, создаваемых термоэлектронной и автоэлектронной эмиссией фотокатода, благодаря чему регистрируется не каждый эффективно поглощенный квант. Легко показать, что выражение абсолютного порога для фотоаппаратуры с квантовым выходом $\varepsilon < 1$, не имеющей собственных шумов, может быть записано в следующей форме:

$$\bar{N}_0 = \frac{1 + \sqrt{0.75 + 2\bar{N}_\phi \cdot \varepsilon}}{\varepsilon}. \quad (2)$$

Кривые пороговой чувствительности и контраста квазиидеального приемника с таким фотокатодом, вычисленные с учетом выражения (2), показаны на рис. 1 (кривые 3 и 4 соответственно). В качестве реального

фотокатода был выбран типовой сурьмяно-цеизиевый фотокатод, расчет интегрального квантового выхода которого, приведенный в таблице 1, производился для излучения со спектральным распределением энергии, аналогичным солнечному (L_0), по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\sum N_{\lambda}}{\sum N_{\lambda}} \cdot \frac{\Delta \lambda_n}{\Delta \lambda_1}, \quad (3)$$

Кривые рис. 1 показывают, что приемники с реальным сурьмяно-цеизиевым фотокатодом даже при отсутствии внутренних шумов имеют значительно меньшую чувствительность по сравнению с идеальным.

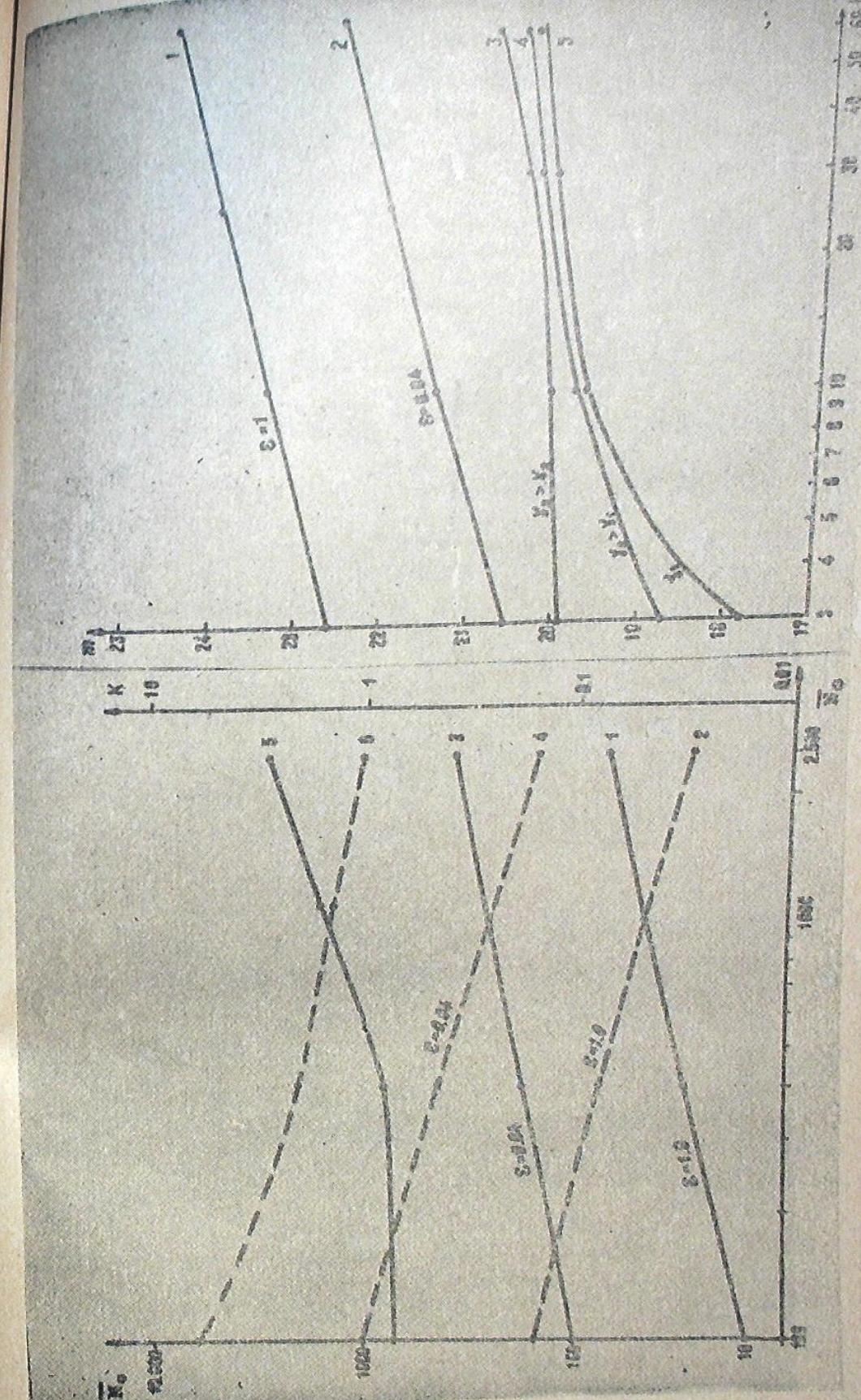
Таблица 1 *

$\lambda_1 - \lambda_2$ (μ)	λ_{cp} (μ)	f_{λ} эрг/ $\text{см}^2 \text{Å сек}$	W_{λ} эрг	n_{λ}	N_{λ}	ε_{λ}	$N_{e\lambda}$
				кв/ $\text{см}^2 \text{Å сек}$	кв/ $\text{мм}^2 \text{сек}$	эл./кв	эл./ $\text{мм}^2 \text{сек}$
0. 3—0.31	0.3	55	$6.66 \cdot 10^{-12}$	$8.24 \cdot 10^{12}$	$8.24 \cdot 10^{12}$	$2.4 \cdot 10^{-2}$	$1.97 \cdot 10^{11}$
0.31—0.33	0.32	74	$6.26 \cdot 10^{-12}$	$11.8 \cdot 10^{12}$	$23.6 \cdot 10^{12}$	$3.7 \cdot 10^{-2}$	$8.7 \cdot 10^{10}$
0.33—0.35	0.34	89	$5.9 \cdot 10^{-12}$	$15.1 \cdot 10^{12}$	$30.2 \cdot 10^{12}$	$5.4 \cdot 10^{-2}$	$1.62 \cdot 10^{11}$
0.35—0.37	0.36	104	$5.57 \cdot 10^{-12}$	$18.7 \cdot 10^{12}$	$37.4 \cdot 10^{12}$	$7.1 \cdot 10^{-2}$	$23.6 \cdot 10^{10}$
0.37—0.39	0.38	118	$5.27 \cdot 10^{-12}$	$22.4 \cdot 10^{12}$	$44.8 \cdot 10^{12}$	$8.3 \cdot 10^{-2}$	$37.2 \cdot 10^{10}$
0.39—0.41	0.4	144	$5.0 \cdot 10^{-12}$	$28.8 \cdot 10^{12}$	$57.6 \cdot 10^{12}$	$8.8 \cdot 10^{-2}$	$50.7 \cdot 10^{10}$
0.41—0.43	0.42	182	$4.77 \cdot 10^{-12}$	$38.2 \cdot 10^{12}$	$76.4 \cdot 10^{12}$	$8.6 \cdot 10^{-2}$	$65.6 \cdot 10^{10}$
0.43—0.45	0.44	202	$4.55 \cdot 10^{-12}$	$44.4 \cdot 10^{12}$	$88.8 \cdot 10^{12}$	$7.5 \cdot 10^{-2}$	$66.5 \cdot 10^{10}$
0.45—0.47	0.46	216	$4.35 \cdot 10^{-12}$	$49.7 \cdot 10^{12}$	$99.4 \cdot 10^{12}$	$6.2 \cdot 10^{-2}$	$61.6 \cdot 10^{10}$
0.47—0.49	0.48	217	$4.17 \cdot 10^{-12}$	$52 \cdot 10^{12}$	$104 \cdot 10^{12}$	$4.8 \cdot 10^{-2}$	$50 \cdot 10^{10}$
0.49—0.52	0.5	210	$4.0 \cdot 10^{-12}$	$52.5 \cdot 10^{12}$	$209 \cdot 10^{12}$	$3.5 \cdot 10^{-2}$	$73 \cdot 10^{10}$
0.53—0.57	0.55	196	$3.65 \cdot 10^{-12}$	$54 \cdot 10^{12}$	$216 \cdot 10^{12}$	$1.0 \cdot 10^{-2}$	$21.6 \cdot 10^{10}$
0.57—0.6	0.6	185	$3.34 \cdot 10^{-12}$	$55.5 \cdot 10^{12}$	$166.5 \cdot 10^{12}$	$0.7 \cdot 10^{-2}$	$16.2 \cdot 10^{10}$

$$\sum_{\lambda_1=0.3}^{\lambda_2=0.6} N_{\lambda} = 1.16 \cdot 10^{15} \quad \sum_{\lambda_1=0.3}^{\lambda_2=0.6} N_{e\lambda} = 4.96 \cdot 10^{13}$$

Из таблицы 1 следует, что поток излучения Солнца на поверхности Земли в области спектральной чувствительности сурьмяно-цеизиевого фотокатода ($0.3—0.6\mu$) составляет $N_e = 1.16 \cdot 10^{15}$ кв./ $\text{мм}^2 \text{сек}$. без учета потерь в атмосфере. Тогда число квантов от звезды m -ой величины спектрального класса $G2$ в фокальной плоскости телескопа, имеющего диаметр зеркала

* λ_{cp} — средняя длина волны в спектральном интервале $\lambda_1—\lambda_2$, f_{λ} — мощность излучения Солнца на единицу поверхности Земли в спектральном интервале 1Å без учета потерь в атмосфере, W_{λ} — энергия кванта излучения с длиной волны λ_{cp} , n_{λ} — число квантов, падающих на единицу поверхности за 1 сек, в полосе 1Å , N_{λ} — число квантов в спектральном интервале $\lambda_1—\lambda_2$, e — спектральный квантовый выход фотокатода, $N_{e\lambda}$ — число фотоэлектронов, выбиваемых квантами N_{λ} .



D , фокусное расстояние F и коэффициент пропускания света Q_λ с учетом среднего коэффициента пропускания атмосферы \bar{P}_λ за время t составит:

$$\begin{aligned} N_{38} &= N_e \cdot 10^{-(19.7+0.4m)} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \bar{P}_\lambda \cdot Q_\lambda \cdot t = \\ &= 1.75 \cdot 10^{(4-0.4m)} \cdot D^2 \cdot \bar{P}_\lambda \cdot Q_\lambda \cdot t_{\text{кв}}, \end{aligned} \quad (4)$$

а число квантов фона в изображении звезды диаметром δ мм:

$$\begin{aligned} N_\phi &= 1.75 \cdot 10^{(4-0.4m_\phi)} \cdot D^2 \cdot \bar{P}_\lambda \cdot Q_\lambda \cdot t \cdot \left(\frac{2.06 \cdot 10^5 \cdot \delta}{F} \right)^2 = \\ &= 7.44 \cdot 10^{(4-0.4m_\phi)} \cdot \bar{P}_\lambda \cdot Q_\lambda \cdot \frac{D^2}{F^2} \cdot \delta^2 \cdot t_{\text{кв}}, \end{aligned} \quad (5)$$

где m —звездная величина небесного тела, m_e —звездная величина Солнца, а m_ϕ —звездная величина фона, измеренного с одной квадратной секунды небесной сферы.

Для 70—сантиметрового менискового телескопа Абастуманской астрономической обсерватории ($D=700$ мм, $F=10^4$ мм, $\delta=0,1$ мм, $Q_\lambda=0,85$, $\bar{P}_\lambda=0,8$, $m_\phi=22,0$) выражения (4) и (5) могут быть упрощены

$$N_{38}=5.85 \cdot 10^{(9-0.4m)} \cdot t_{\text{кв}}, \quad (6)$$

$$N_\phi=39.3 \cdot t_{\text{кв}}, \quad (7)$$

а проникающая способность из выражения (6) определится как

$$m=\frac{9.77-\lg N_{38}+\lg t}{0.4}. \quad (8)$$

Пользуясь зависимостями (2), (6), (7) и (8), мы построили кривые проникающей способности (рис. 2) идеального приемника (кривая 1) и приемника с сурьмяно-цезиевым фотокатодом (кривая 2) для экспозиций от 3-х до 60-ти секунд, а также произведено сравнение вычисленных значений m с экспериментальными данными.

Экспериментальная работа по определению проникающей способности системы проведена в сентябре 1964 года в Абастуманской обсерватории, где качество звездных изображений, получаемых на менисковом телескопе, характеризуется значениями 1.5 сек. и меньше. На входе телевизионной системы был использован усилитель света с сурьмяно-цезиевым фотокатодом. Суммарное разрешение канала составило 15—16 штр/мм. Регистрация изображения звездного поля с экрана видео-контрольного устройства осуществлялась фотоаппаратом „Зенит—С“.

В процессе наблюдений фотографировалась площадка (Δ_4) в созвездии Дракона ($\alpha=17^h 19^m, 4^\circ \delta=57^\circ 58'$) с экспозициями 3, 10, 30 и 60 сек. при трех значениях гамма-характеристики канала. Диаметр изображений слабых звезд, измеренный на негативах, составил 2—3 угл. секунды, что объясняется трудностью точной установки фотокатода светоприемника в фокальной плоскости телескопа. Полученные изображения отождаствлялись

с фотометризованными звездами по шкале фотовизуальных величин. Результаты измерений приведены на рис. 2 (кривые 3, 4 и 5), а также на графиках рис. 1 (кривые 6 и 6) после соответствующего подсчета \bar{N}_ϕ и \bar{N}_Φ по формулам, приведенным выше.

Как видно из графиков, при экспозиции 3 секунды были получены изображения звезд до 19.7 зв. вел. с контрастом 6.0. Увеличение экспозиции до 60 сек. позволило зарегистрировать звезды до 20.7 зв. вел. с контрастом 1.1. Это на 1.5—2.0 зв. вел. отличается от теоретической пороговой чувствительности приемника с сурьмяно-цезиевым фотокатодом. Следует отметить, что наблюдения велись на зенитных расстояниях 40°—50°; следовательно, при тех же условиях в зените можно регистрировать звезды до 21.0 зв. величины.

Применение астрономической телевизионной системы позволяет значительно сократить время экспозиции для получения изображений слабых звезд инструментами средних размеров по сравнению с прямой фотографией. Проникающая способность такой системы ограничивается малым квантовым выходом сурьмяно-цезиевого фотокатода и внутренними шумами. Дальнейшее увеличение проникающей способности может быть достигнуто использованием современных фотокатодов (например, мультишарового) с большим квантовым выходом и введением охлаждения приемника, уменьшающего термоэлектронную эмиссию.

Декабрь, 1964.

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ТЕЛЕВИЗИОННАЯ СИСТЕМА
ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗВЕЗД

Д. С. АГАЕВ, В. Ф. АНИСИМОВ, Р. И. КИЛАДЗЕ,
А. Ш. ХАТИСОВ

THRESHOLD SENSITIVITY OF ASTRONOMICAL TELEVISION DEVICES

E. S. AGAPOV, V. F. ANISIMOV, R. I. KILADZE, S. I. SINENOK
AND A. SH. KHATISOV

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Rose A. J. Opt. Soc. Amer. 38, 196, 1948.
- Ратнер Е. С. Оптика и спектроскопия. IX, 1960, 101.
- Allen C. W. Astrophysical quantities, University of London, 1955.
- Baade W., Swope H. H. AJ, 66, 300, 1961.

К ВОПРОСУ О ПЕРИОДЕ ВРАЩЕНИЯ ПЛУТОНА

Р. И. КИЛАДЗЕ

В 1956 г. Уокером и Харди [1] был определен период вращения Плутона на основе фотоэлектрических наблюдений блеска. Ими было обнаружено колебание блеска в пределах 0.1 зв. величины с периодом равным 6.390 суток. Авторы дают следующие элементы кривой блеска:

$$JD = 2434800.26 + 6.390E. \quad (1)$$

На рис. 1 показана соответствующая кривая и точки, относящиеся к наблюдениям отдельных ночей.

Однако, вследствие того, что непрерывные наблюдения не могли продолжаться дольше нескольких часов (в течение которых изменение блеска сравнительно мало), наблюдения давали отдельные точки, повторяющиеся периодически, через сутки. Если объект наблюдения имеет период вращения, близкий к величине суток, то при этом могут наблюдаться биения периода, который будет приниматься за истинный период изменения блеска.

Наблюденный период P_1 при этом будет связан с истинным периодом

P соотношением:

$$\frac{1}{P} - 1 = \pm \frac{1}{P_1}, \quad (2)$$

где P и P_1 выражены в долях суток.

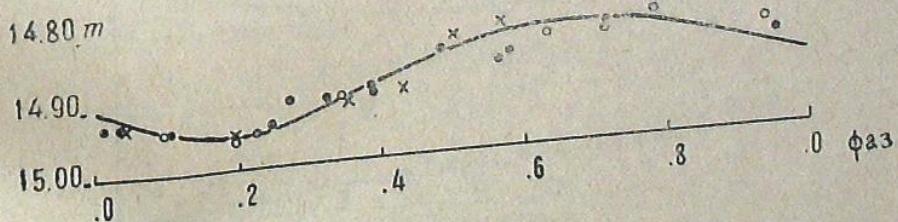


Рис. 1

Из выражения (2) с использованием (1) формально можно получить еще два периода вращения для Плутона:

$$P = 1^d. 18 \quad (3)$$

и

$P = 0^d. 87.$

Второй вариант должен быть отброшен, так как на соответствующей кривой разброс точек слишком велик.