ИЗВЕСТИЯ

КРЫМСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Год основания издания – 1947

Том 85

МОСКВА "НАУКА"
1992

УДК 523

Известия Крымской астрофизической обсерватории. Т. 85. – М.: Наука, 1992. – 166 с. – ISBN 5-02-000292-5.

В 85-м томе "Известий Крымской астрофизической обсерватории" публикуются 18 оригинальных статей, содержащих результаты выполненных в обсерватории исследований солнечных недр методами гелиосейсмологии, некоторых характеристик солнечных вспышек и активных областей на Солнце, результаты изучения колебаний яркости Солнца по измерениям на КА "Фобос", солнечного магнетизма, а также фотометрических и спектральных исследований переменных звезд и активных галактик, гамма-астрономических исследований; приводятся данные о яркости ночного неба в обсерватории; предложены новые ахроматические оптические системы, дано их описание и расчеты.

Для специалистов в области астрономии и астрофизики.

The 85-th volume of the "Bulletin of the Crimean Astrophysical Observatory" presents the publication of 18 original papers on the results of the investigations carried out at the Observatory. They are as follows: helioseismology of solar interior, solar flares and active regions on the Sun, solar brightness oscillations measured on board Phobos spacecraft, solar magnetism, photometrical and spectroscopic study of variables and active galaxies, gamma-ray astronomical research, night sky brightness at the site of the Observatory, advanced achromatic optical schemes with computations.

The collection of papers is intend for specialists in astronomy and astrophysics.

И $\frac{1605040000-184}{042(02)-92}$ Без объявл.

ISBN 5-02-000292-5

УДК 523.9

К ИЗУЧЕНИЮ СОЛНЕЧНЫХ НЕДР: ПУЛЬСАЦИЯ СОЛНЦА И 22-ЛЕТНИЙ ЦИКЛ

В.А. Котов, В.И. Ханейчук, Т.Т. Цап

Анализ крымских наблюдений солнечных осцилляций 1974–1988 гг. показывает существование глобальной пульсации Солнца с периодом P_0 = 160,0101 мин. Результат подтверждается рассмотрением аналогичных данных, полученных в 1976–1986 гг. в Солнечной обсерватории им. Уилкокса, а также независимым анализом временной последовательности солнечных вспышек 1935–1980 гг.

160-минутная осцилляция обнаруживает дублетную тонкую структуру основного пика в спектре мощности. Последняя отражает, по-видимому, действие двух основных физических механизмов внутри звезды: глобальная пульсация (с периодом P_0) и бегущая волна, распространяющаяся по поверхности Солнца почти с тем же самым периодом (P_1 = 160,0124 мин). Указывается, что период биений между P_0 и P_1 равен 21,2±1,3 год, что согласуется со средней длительностью цикла магнитной активности Солнца.

Средняя амплитуда P_0-осцилляции значительно уменьшилась в последние годы (1983–1987 гг.); это сопровождалось сильным рассеянием фазы осцилляции. Уменьшение P_0-амплитуды совпало по времени с уменьшением, примерно на 0,4 мкГц, частот солнечных *p*-мод (обнаруженным в недавних гелиосейсмологических работах) и с уменьшением на 0,1% солнечной иррадиации (установленным по данным спутников). Предполагается, что все эти изменения имеют одну общую причину, корни которой кроются глубоко внутри Солнца. Вероятно, они сопровождают существенные изменения внутреннего строения Солнца, которые, в свою очередь, могут быть тесно связаны с изменением полярности общего магнитного поля Солнца в ходе 22-летнего цикла. Делается заключение, что детальное изучение 160-минутной пульсации может улучшить наше понимание вариаций полного излучения Солнца.

TO THE PROBING OF THE SOLAR INTERIOR: PULSATION OF THE SUN AND 22-YEAR CYCLE, *by V.A. Kotov, V.I. Haneychuk and T.T. Tsap.* Analysis of the 1974–1988 Crimean observations of solar oscillations shows the presence of the Sun's global pulsation with a period of P_0 = 160.0101 min. The result appears to be confirmed also by analysis of similar data acquired from 1976 through 1986 at the Wilcox Solar Observatory, and by independent analysis of the time sequence (1935–1980) of solar flares.

The 160-min oscillation exhibits a doublet fine structure of the primary peak seen in the power spectrum. This fine structure reflects perhaps the existence of the two major physical mechanisms operating inside the star: global pulsation (with a period of P_0) and a running wave circling the Sun's surface with nearly the same period (P_1 = 160.0124 min). It is pointed out that the beat period of P_0 and P_1 equals to 21.2 ± ± 1.3 year, in good agreement with the average duration of the solar magnetic activity cycle.

The 160-min pulsation reveals a remarkable decrease of a yearly-mean amplitude during several last years (1983–1987); it is accompanied by significant scattering of the oscillation phase. This decrease of P_0-amplitude has coincided with the decrease, by about 0.4 microHz, of the frequencies of solar *P*-modes (as discovered by recent helioseismological studies), and with the 0.1%–decrease of the solar irradiance (found from the satellite data) for the same time span. We suggest that all these changes might be related to one and the same common source, the nature of which are hidden in the deep solar interior. They plausibly reflect significant change of the internal structure of the Sun which, in turn, might be closely associated with a reversal of the magnetic field's overall polarity in the course of the 22-year cycle. In is concluded that the detailed study of the 160-min pulsation should allow an improved understanding of the total solar irradiance variation.

1. Введение

Истинные причины 11 (22)-летнего цикла Солнца до сих пор во многом не ясны, поскольку солнечные недра недоступны прямому наблюдению. Из элементарных частиц только нейтрино несет информацию о состоянии вещества в центре звезды; для фотонов требуется время $\sim 10^6$ лет, чтобы дойти из центра до фотосферы.

Новые возможности для изучения недр Солнца представляет гелиосейсмология [1] – наука об измерении и анализе глобальных осцилляций звезды, – поскольку волны (акустические, p-моды, или так называемые волны тяжести g-моды) дают информацию о структуре звезды на всем пути распространения в глубине. Время прохождения таких волн через все Солнце – порядка 1 ч.

По теоретическим оценкам время затухания нормальной моды (g-моды) осцилляций Солнца $\sim 10^5$ лет. При расчетах, однако, звезда считается сферически симметричной и, конечно, не учитываются циклические изменения. На деле сферическая симметрия нарушается, например, из-за магнитного поля и вращения. Изменения внутренней структуры могут происходить и в ходе 22-летнего цикла магнитной активности Солнца. Это, в свою очередь, должно приводить к изменению спектра мощности (СМ) колебаний Солнца и к сокращению времени жизни отдельных мод. При этом звезду можно сравнить с маятником, у которого медленно качается точка закрепления: при неизменных ("теоретических") длине и массе маятника его колебания будут меняться в зависимости от амплитуды, частоты и фазы колебаний точки прикрепления (изменение граничных условий).

Изменение частот p-мод с циклом активности уже более или менее надежно установлено (уменьшение частот примерно на 0,4–0,5 мкГ от максимума к минимуму для низкой степени l [2–4]). Что касается g-мод, то, несмотря на многообещающие попытки их зарегистрировать [5–8], данные разных авторов пока не находятся в таком согласии с теорией и между собой, чтобы на их основании искать тонкие эффекты, обусловленные, скажем, вращением Солнца или циклом. Особое место, однако, может занимать пульсация Солнца с известным периодом P_0 = 160,0101 (±1) мин.

Впервые мысль о том, что Солнце пульсирует с периодом 160 мин (1/9 сут), была высказана в 1946 г. французским астрономом Э. Сэвэн [9]. Она была основана на числовом анализе планетных орбит (заметим, например, что время распространения света от Солнца до Юпитера, Сатурна и Урана составляет $\sim$40, 80 и 160 мин соответственно). Но фактически 160-минутная пульсация была открыта только в 70-х годах [10–12]. Вопрос о природе ее до сих пор остается дискуссионным [13]. Обнаружение периода P_0 в последовательности хромосферных вспышек 1947–1980 гг. [14] явилось убедительным свидетельством солнечной природы периодичности, а также долговременной стабильности (в среднем) как величины периода, так и начальной фазы.

В то же время отмечались сильные вариации амплитуды и фазы P_0-пульсации на отдельных интервалах времени [15]. Появление дополнительных компонент в СМ ("расщепление" периода) [14, 15] открывает, по-видимому, новый метод диагностики внутреннего строения и циклической активности Солнца.

Наблюдения P_0-осцилляции ведутся почти с "нулевым" пространственным разрешением, поэтому регистрируются моды с низкими степенями l, вплоть до $l = 0$, которые должны проникать в самую глубину Солнца, к его центральному ядру. В то же время имеются серьезные свидетельства того, что механизм 11 (22)-летнего цикла кроется глубоко под конвективной зоной (см., например, [16]) и даже может быть связан с состоянием ядра. Напомним, что некоторые авторы указывают на связь вариаций потока нейтрино с ходом 11-летнего цикла; тогда надо заключить, что само ядро "участвует" в цикле (?).

2. Наблюдательный материал

Измерения глобальных осцилляций Солнца в КрАО ведутся с 1974 г. дифференциальным методом: регистрируется разность лучевых скоростей между центральной зоной солнечного диска (радиусом 0,66 $R_\odot$, где $R_\odot$ – видимый радиус Солнца) и остальной зоной диска (подробнее см. [15, 17]). Сигнал скорости усредняется в каждом 5-минутном интервале; медленные дневные тренды фильтруются с помощью полиномов второго порядка.

Таблица 1

Список крымских наблюдений 1974–1988 гг.

Год	Интервал наблюдений	Число			Δ, м/с
		дней	часов	5-минутных точек	
1974	4.VIII–9.X	14	76	912	5,11
1975	16.III–14.X	32	171	2048	4,31
1976	26.IV–15.X	32	163	1955	4,28
1977	11.III–24.X	59	280	3362	5,62
1978	22.IV–21.X	78	471	5651	4,28
1979	20.III–30.XII	60	381	4566	5,36*
1980	14.I–26.VII	50	304	3653	5,73*
1981	27.IV–15.IX	82	522	6264	5,77
1982	17.VIII–29.XI	66	352	4219	5,93
1983	4.VI–18.XII	89	570	6841	6,87
1984	18.VII–10.X	55	338	4059	3,96
1985	13.V–10.XII	84	555	6661	4,77
1986	1.IV–9.XII	117	839	10066	5,39
1987	29.V–28.X	84	590	7084	5,39
1988	7.VI–27.X	85	585	7018	6,04
Все 15 лет	1974–1988 гг.	987	6197	74359	5,44

* Без учета 17 дней наблюдений 1979–1980 гг.

В табл. 1 содержатся данные о наблюдениях скорости в 1974–1988 гг.; в последнем столбце указаны стандартные отклонения Δ для каждой временной последовательности: отдельно для каждого года и в целом за 15 лет.

3. Применение двухлинзового объектива

Среднеквадратичное значение остатков "измерения минус тренд" для всего 15-летнего (1974–1988 гг.) ряда составляет 5,44 м/с. Это в 3,3 раза больше, чем для измерений в Станфорде [18], которые делаются аналогичным дифференциальным методом (Δ = 1,66 м/с для 1977–1979 гг.). Различие обусловлено в основном разной чувствительностью инструментов к модам разной степени l (из-за различной геометрии зон на диске Солнца, т.е. из-за разного усреднения лучевой скорости фотосферы). Частично это связано также с калибровочными факторами и различием отношений сигнал/шум (R): световой поток в Станфорде раз в 20 больше, чем в КрАО.

Поскольку для наблюдений солнечных осцилляций на БСТ-1 (КрАО) применяется только группа плоских целостатных зеркал, коллиматор спектрографа заполняется светом лишь наполовину (диаметр светового пятна на нем составляет 9,3 см при диаметре коллиматорного зеркала 22 см). Для почти полного заполнения коллиматора и, тем самым увеличения в 3–4 раза светового потока I по предложению академика А.Б. Северного в 1984 г. был изготовлен* двухлинзовый объектив (рис. 1). Он состоит из двух линз, имеющих фокусные расстояния $F_1 > 0$ и $F_2 < 0$; расстояние между ними $d = 6$ см. Эквивалентное фокусное расстояние такой телескопической системы

$$F = F_1 F_2 / (F_1 + F_2 - d),$$

* Объектив был рассчитан и изготовлен Г.М. Поповым и Л.Ф. Бежко, которым мы выражаем глубокую признательность.

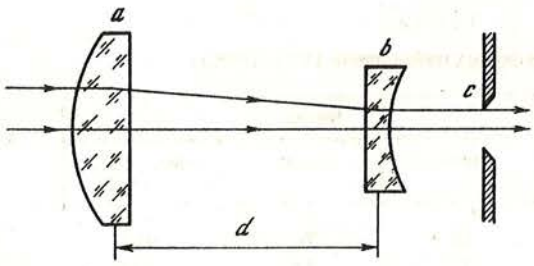


Рис. 1. Расширяющая оптическая система, устанавливаемая перед щелью спектрографа С
a, *b* – положительная и отрицательная линзы с диаметрами 2,8 и 1,8 см соответственно, $d = 6$ см – расстояние между линзами

F_1, F_2 и d подобраны такими, чтобы на выходе, как и на входе, пучок света был почти "параллельным". С этим объективом диаметр светового пятна на коллиматоре увеличивается почти вдвое, а уровень светового потока примерно в 3,5 раза (увеличивается поток света, падающего на входную щель спектрографа, см. рис. 1). Соответственно короткопериодические (с усреднением 1 мин) шумы при измерении скорости уменьшаются в 1,8 раза.

Применение объектива несколько изменяет характер медленных дневных трендов – из-за тепловых поводок крепежного узла объектива. Объектив был испытан в 1984 г., но регулярные записи с ним были сделаны только в 1988 г. (в интервале 14.IX – 27.X). Интересно, что для медленных вариаций сигнала скорости (с усреднением 5 мин) среднеквадратичное значение Δ осталось практически неизменным: $\Delta = 5{,}40$ м/с для указанных измерений с объективом, что близко к значениям в табл. 1. Это говорит о: 1) более сложной, чем $R \sim I^{-1/2}$, зависимости шумов от светового потока и 2) реальном солнечном происхождении некоторой части вариаций скорости с характерными временами $\tau \gtrsim 5$ мин.

4. Анализ среднегодичных фаз для периода 160 мин

Хеннинг и Шеррер [18] сообщили о значительных отклонениях фазы периода 160,01 мин в станфордских измерениях после 1980 г. Мы знаем в то же время, что поведение фазы очень важно: отличие P_0 от 1/9 сут и долговременная стабильность (в среднем за много лет) начальной фазы до сих пор являлись решающими аргументами в пользу солнечной природы периодичности (см. также дискуссию о реальности периода P_0 в [19, 20]).

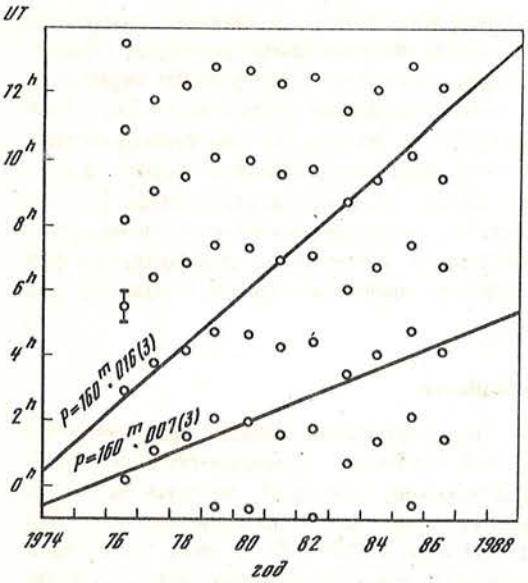
Для массива данных каждого года в отдельности строилась средняя кривая с периодом, точно равным 1/9 сут (160,0000 мин), затем для синусоиды, вычисленной для каждой такой кривой методом наименьших квадратов (МНК), определялась гармоническая амплитуда A_h и время UT максимума (t_0) скорости "расширения" Солнца. Нулевая фаза при построении средних кривых всюду соответствует моменту UT 00^h00^m, 1.I 1974 г.

Таблица 2

Моменты t_0 для периода 160,000 мин согласно измерениям в Станфорде*

Год	t_0 (UT)	Год	t_0 (UT)	Год	t_0 (UT)
1976,6	$10^m \pm 8^m$	1980,5	117 ± 34	1984,5	84 ± 19
1977,5	63 ± 27	1981,5	93 ± 18	1985,6	126 ± 41
1978,5	89 ± 28	1982,5	105 ± 18	1986,6	86 ± 35
1979,4	123 ± 32	1983,6	43 ± 24		

* Часть данных о t_0 сообщена нам Ф. Шеррером.



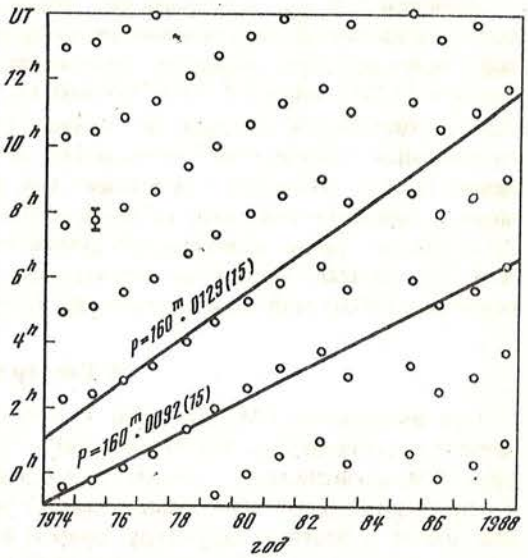


Рис. 2. Фазовая диаграмма для станфордских данных 1976–1986 гг.
Вертикальной черточкой указана типичная ошибка ($\pm\sigma$) моментов t_0 для периода 160.000 мин; точки соответствуют моментам UT максимума скорости (т.е. моментам t_0)

Рис. 3. Фазовая диаграмма для крымских данных, 1974–1988 гг.
Обозначения см. на рис. 2.

Времена t_0 для станфордских данных 1976–1986 гг. опубликованы [18, 21]. Они приведены в табл. 2 (в первом столбце – центральные эпохи годичных массивов, во втором – моменты t_0 в минутах), а также на фазовой диаграмме (рис. 2). В интервале UT 0^h–2^h40^m по вертикали точками отмечены времена t_0 согласно табл. 2; эти эпохи, в соответствии с периодом свертки 160,000 мин, повторены 4–5 раз по вертикали – для каждого года отдельно; см. также [18].

Затем плоскость t_0 (год) $\equiv y(x)$ покрывалась прямыми $y = a + bx$ для диапазонов $0 \leqslant a < 160$ (мин), $-132 \leqslant b \leqslant 132$ (мин/год); пределы для a соответствуют области проверяемых периодов P от 159,96 до 160,04 мин. Оказалось, что среди этого семейства прямых линейной регрессии только четыре имеют уровень значимости $\mathcal{P} > 2{,}2\sigma$ (от $2{,}3\sigma$ до $2{,}4\sigma$). Среди них имеются две прямые со значимостью $2{,}3\sigma$, которые отвечают периодам 160,007 (±3) и 160,016 (±3) мин. Измерения в Станфорде, таким образом, не противоречат утверждению о наличии периода 160,01 мин (скорее, даже подтверждают его с достоверностью около $2{,}3\sigma$). Имеется также период, отвечающий суточной гармонике, $P = 159{,}999$ (±3) мин; его значимость $2{,}4\sigma$.

Таблица 3

Крымские данные за 1974–1988 гг. (для периода 160,000 мин) *

Год	A_h, м/с	t_0(UT), мин	Год	A_h, м/с	t_0(UT), мин	Год	A_h, м/с	t_0(UT), мин
1974,66	1,42±0,21	135±4	1979,47	0,56±0,15	119±7	1984,68	0,04±0,14	—
1975,58	0,81±0,18	145±6	1980,50	0,45±0,13	156±8	1985,63	0,28±0,09	38±9
1976,54	0,36±0,13	9±9	1981,51	0,47±0,07	30±4	1986,54	0,34±0,08	151±7
1977,51	0,78±0,19	35±6	1982,76	0,69±0,15	62±6	1987,63	0,45±0,14	17±8
1978,56	0,48±0,09	84±5	1983,66	0,50±0,18	19±9	1988,61	0,23±0,11	61±10

*Ошибки имеют формальный смысл и вычислены по рассеянию 16 точек средней кривой относительно синусоиды. Данные для 1979 и 1980 гг. приведены без учета 17 дней наблюдений зимой 1979 – 1980 гг.

Значения t_0 и A_h для крымских данных приведены в табл. 3. Фазовая диаграмма показана на рис. 3. Для указанного выше диапазона анализируемых периодов (наклонов прямых) три наиболее достоверные прямые отвечают следующим периодам: 160,009 (±2); 160,013 (±2) и 159,960 (±2) мин с уровнями значимости 3,8 σ, 3,3 σ и 3,3 σ соответственно (первые две прямые показаны на рис. 3). Третий период является годичным "сателлитом" периода 160,009 мин; последний, в свою очередь, в пределах ошибки совпадает с P_0 и имеет, как мы видим, наивысшую статистическую значимость для крымских данных. Период 160,000 мин имеет весьма низкую значимость: 2,1 σ. (Важно также заметить, что суммарный массив крымских и станфордских фаз для периода 160,000 мин дает практически нулевую значимость (0,3 σ), тогда как для периода ≈ 160,01 мин значимость около 3,5 σ).

5. Спектр мощности

При вычислении СМ для всего 15-летнего ряда крымских данных разрешение по частоте составляет $\Delta\nu_0 \approx 1/2L \approx 1{,}0$ нГц; здесь L = 15 лет – длительность временного ряда. СМ, вычисленный с шагом $\Delta\nu$ = 0,5 нГц в районе периода P_0, показан на рис. 4. Главный пик 160,009 (±1) мин достигает уровня значимости ≈ 6,5 σ. Видно также, что пик имеет дублетную структуру, причем второй пик, 160,014 (±1) мин, согласуется с периодичностью 160,013 мин, найденной выше на основе фазовой диаграммы. Амплитуда пика, отвечающего суточной гармонике (160,001 мин), пренебрежимо мала. Поэтому нет никаких оснований отождествлять период P_0 с 9-й гармоникой суток.

Очень интригует следующее нетривиальное обстоятельство. Пик 160,009 мин имеет только один низкочастотный (годичный) сателлит, 160,057 мин; по непонятным причинам правый, высокочастотный, сателлит отсутствует. В то же время пик 160,014 мин имеет сильный правый сателлит (159,967 мин), а также два левых сателлита: годичный 160,062 мин и полугодичный 160,011 мин. Возможно, что такое весьма пекулярное распределение мощности между сателлитами обсуловлено тем, что пики 160,009 и 160,014 мин относятся к двум разным модам P_0-пульсации; не исключено также, что они имеют разную физическую природу: например, основной пик 160,009 мин ($\sim P_0$)

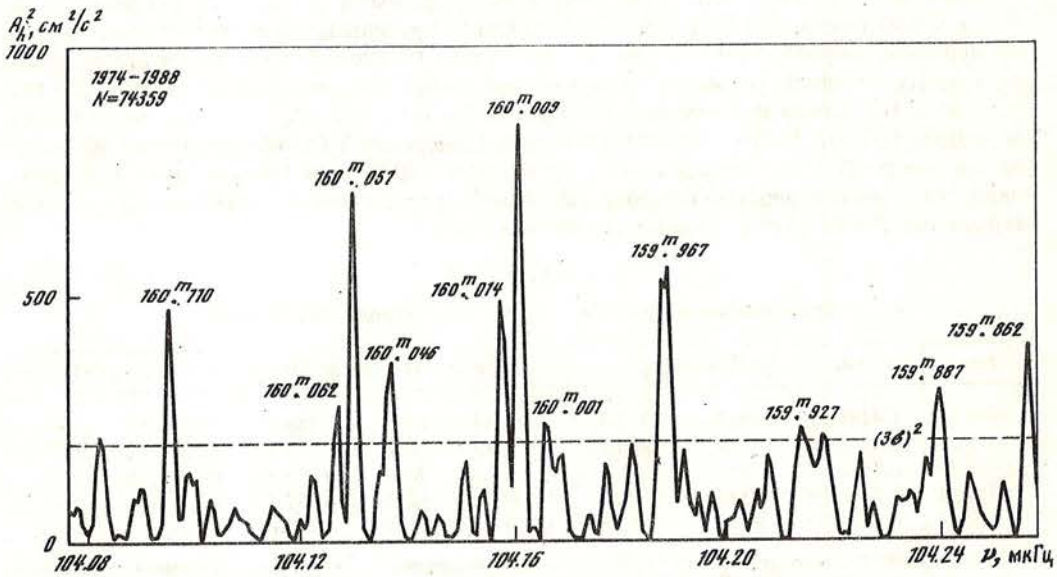


Рис. 4. Спектр мощности осцилляций Солнца для крымских данных, 1974–1988 гг. Число отдельных 5-минутных измерений скорости N = 74359

характеризует собственно пульсацию Солнца, а появление его сателлита (160,014 мин) обусловлено 11 (22)-летним циклом и/или быстрым вращением центрального ядра (взаимодействие между колебаниями Солнца и вращением). Заметим, что расщепление – примерно 3,3 нГц – соответствует периоду биений 10 ± 3 г.

6. Мультиплетная структура P_0-осцилляции

Наиболее точное значение периода P_0 вместе с тонкой структурой СМ получено в [14] на основе анализа 18877 хромосферных вспышек 1947–1980 гг. Уточненные значения периодов впоследствии были нами получены из анализа более обширной последовательности (начальных моментов) 24411 вспышек балла $B \geqslant 1$ за интервал 1935–1980 гг*., см. табл. 4.

Все три независимых ряда данных подтверждают наличие периода P_0. Кроме того, как крымские, так и станфордские измерения лучевой скорости говорят о присутствии второго периода около 160,014 мин.

В силу большей длительности ряда вспышек и метода анализа (вычисление СМ с помощью критерия χ^2 вместо фурье-преобразования) вспышки дают наиболее точные значения периодов (см. табл. 4 и [14]): P_0 = 160,0101 и P_1 = 160,0124 мин. Для периода биений получаем

$$\Pi = (P_0^{-1} - P_1^{-1})^{-1} = 21{,}2 \pm 1{,}3 \text{ (год)},$$

что в пределах ошибки совпадает со средней длительностью магнитного цикла Солнца. (Заметим, что в XX в. средний цикл составляет 21,0 ± 0,4 год). Это дает основание предполагать, что между P_0-осцилляцией и магнитным циклом Солнца имеется физическая связь, корни которой уходят далеко в глубь звезды.

Таблица 4

Значения периодов по различным наблюдательным данным

Вспышки, 1935–1980 гг.		Осцилляции Солнца			
		Крым, 1974–1988 гг.*		Станфорд, 1976–1986 гг.**	
P, мин	$\mathcal{P}$	P, мин	$\mathcal{P}$	P, мин	$\mathcal{P}$
160,0056 (±2)	3,9σ	–	–	–	–
160,0101 (±1)	4,0σ	160,009 (± 1)	6,5σ	160,007 (± 3)	2,3σ
160,0124 (±1)	3,5σ	160,014 (± 1)	4,8σ	160,016 (± 3)	2,4σ
160,0152 (±1)	3,1σ				

*По спектру мощности. **На основе фазовой диаграммы.

7. Средние кривые

Кривая скорости колебаний Солнца с периодом P_0 за 1974–1988 гг. (N = 74359) показана на рис. 5, *а*. На рис. 5, *б* – кривая изменения дифференциальной (центр–край) яркости фотосферы, построенная по всем крымским измерениям 1976–1987 гг. (N = = 31925, см. [22]). Внизу (рис. 5, *в*) показана средняя кривая относительных вариаций δ блеска (в оптическом и/или рентгеновском диапазонах спектра) девяти внегалактических объектов – активных ядер галактик (АЯГ) за интервал наблюдений 1968–1988 гг.: NGC 4051, NGC 4151, NGC 6814, NGC 7469, 3C 371, Mrk 335, Mrk 421, OJ 287, MCG-6-30-15 (согласно [23]).

Параметры четырех средних кривых (включая кривую для общего магнитного поля

* Мы благодарны Л.С. Левицкому, составившему каталог вспышек на основе мировых данных.

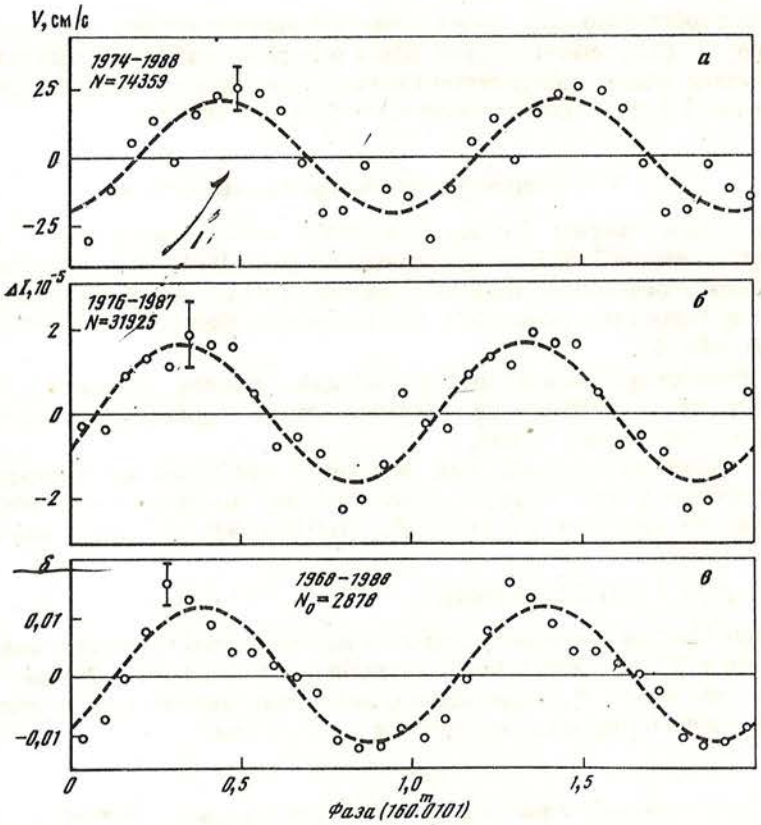


Рис. 5. Средние кривые осцилляций Солнца за 1974–1988 гг. (*а*), изменения дифференциальной яркости Солнца за 1976–1987 гг. (*б*) и P_0-вариации блеска девяти АЯГ по данным оптических и рентгеновских наблюдений за 1968–1988 гг. (*в*)

Точки – усредненные значения в пределах фазового интервала 10 мин (*а*, *б*) или 20 мин (*в*). Вертикальными черточками указаны типичные стандартные ошибки средних значений. Пунктирные линии – синусоиды, вычисленные МНК. Истинное время каждого отдельного измерения приведено к Солнцу. Нулевая фаза соответствует моменту UT $00^h\ 00^m$ 1.I 1974 г.

Таблица 5

Средние кривые Солнца (дифференциальные скорость, яркость и магнитное поле) и девяти АЯГ (период P_0 = 160,0101 мин; время каждого отдельного наблюдения приведено к Солнцу)

Объект	Интервал наблюдений (г.)	A_h	φ_h	$\mathcal{P}$
Солнце				
скорость	1974–1988	21 ± 4 см/с	0,45 ± 0,03	6,5σ
яркость	1976–1987	~(1,7 ± 0,3) · 10^{-5}	0,33 ± 0,03	3σ
магнитное поле	1975–1988	1,2 ± 0,3 мкТ	0,46 ± 0,04	4σ
АЯГ	1968–1988	1,2 ± 0,2%	0,38 ± 0,03	5σ

Солнца) приведены в табл. 5; здесь φ_h – фаза максимума синусоиды. В среднем колебания яркости опережают по фазе колебания скорости на 0,12 периода (около 19 мин). Видно также, что вариации блеска АЯГ происходят в пределах ошибок синхронно с колебаниями яркости Солнца. Мы воздерживаемся от какой-либо интерпретации этого

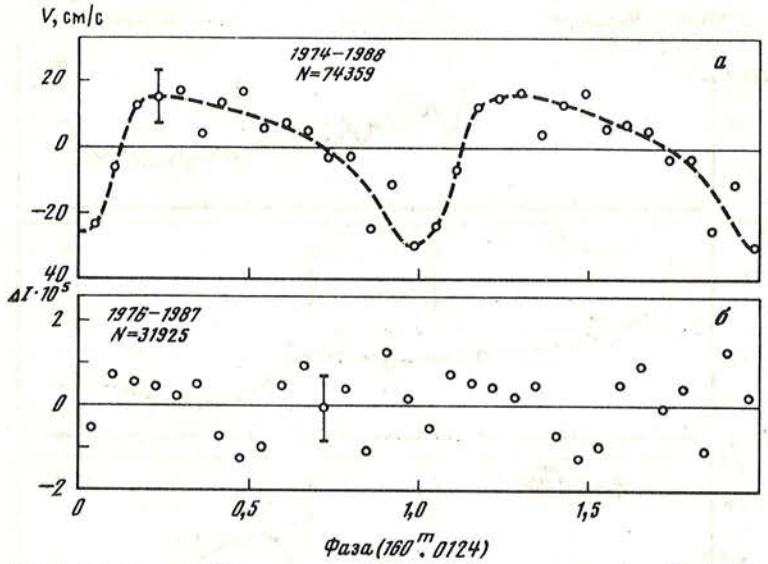


Рис. 6. Средние кривые скорости (*а*) и яркости Солнца (*б*) для периода P_1 =160,0124 мин Интервал усреднения по фазе соответствует 10 мин; пунктирная линия (*а*) через точки проведена "от руки". Нулевая фаза соответствует моменту UT 00^h 00^m 1. I 1974 г.

удивительного факта и интересующихся отсылаем к [13, 23, 24], где излагается космологическая гипотеза о происхождении P_0-осцилляции.

На рис. 6 показаны средние кривые изменения скорости и яркости Солнца, построенные для второго периода, P_1 = 160,0124 мин (кривая яркости получена на основе N = = 31925 измерений и построена методом [22]). В отличие от вариации с периодом P_0, P_1-вариация яркости практически отсутствует, в среднем, на протяжении всего 12-летнего интервала. Форма кривой скорости по виду негармоническая, что существенно отличает ее от кривой для P_0-осцилляции. Эти факты могут свидетельствовать в пользу того, что P_0- и P_1-периодичности имеют различную физическую природу. Не исключено, что P_1-период скорости обусловлен бегущей волной, которая распространяется в фотосфере с востока на запад с периодом P_1 (к мысли о бегущей волне приводит вид кривой скорости).

8. Вариации, обусловленные циклом (?)

Одним из наиболее важных достижений в физике Солнца за последнее десятилетие явилось наблюдательное доказательство того, что поток излучения Солнца меняется с циклом солнечной активности (рис. 7, *а*).

Измерения солнечной радиации в 1979–1987 гг. сделаны радиометром ERB на спутнике Нимбус-7 и прибором ACRIM на спутнике СММ [25–27]. Полная "пиковая" амплитуда изменения иррадиации с циклом солнечной активности составляет около 0,08%; наибольшие значения потока соответствуют эпохе максимума солнечной активности. Эти изменения во много раз больше в области ультрафиолета (200–300 нм), где они составляют несколько процентов [25]. Дополнительные исследования, с коррекцией иррадиации I за изменение потока, вызванное суммарным эффектом пятен, показали, что основным источником 11-летней вариации I являются факелы. Вариации излучения последних, в свою очередь, связаны с изменениями магнитного поля, проникающего из фотосферы в хромосферу. Некоторые авторы полагают, вместе с тем, что существенная часть вариаций I обусловлена глобальными осцилляциями Солнца или температурными вариациями фотосферы [26].

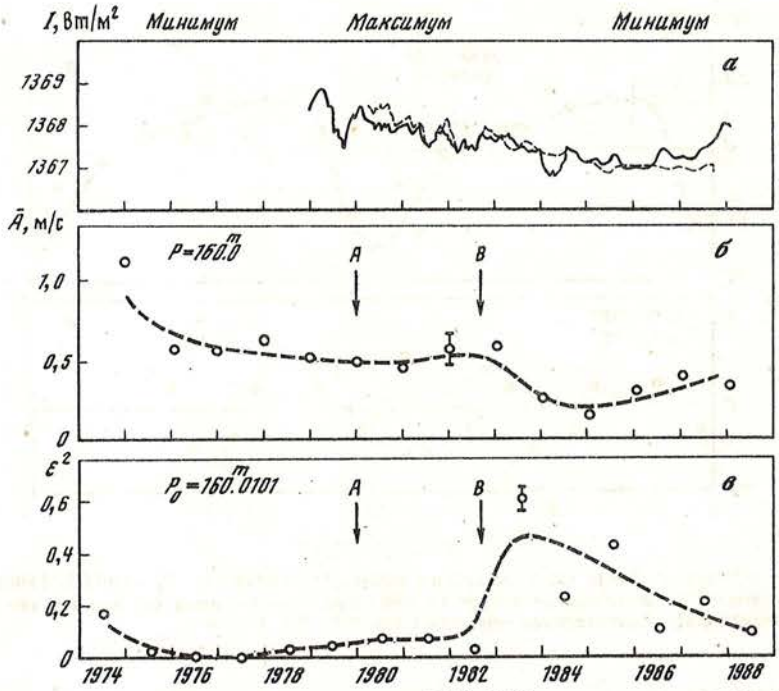


Рис. 7. Изменение солнечной иррадиации за период 1979–1987 гг. по данным спутников Нимбус-7 (сплошная линия) и СММ (штриховая) [25] (*а*), ход амплитуды $\bar{A}$ (скользящее среднее за два года) (*б*) и параметра рассеяния фаз ϵ^2 (*в*) 160-минутной пульсации Солнца

Пунктирные линии (*б*, *в*) через точки проведены "от руки". Стрелками обозначены эпохи переполюсовки полярного магнитного поля (*A*) и предполагаемой переполюсовки общего магнитного поля Солнца (*B*)

Ранее неоднократно указывалось на значительные флуктуации амплитуды, а порой и фазы 160-минутных осцилляций Солнца, см. например, [15, 22]. Нет ли здесь закономерности, связанной с циклом?

Нами проанализированы среднегодичные амплитуды A_h, вычисленные для периода 160,000 мин (см. табл. 3). Поскольку поведение фаз t_0 за весь 15-летний интервал соответствует периоду ~ 160,01 мин, а не 9-й гармонике суток, разумно полагать, что и поведение A_h в значительной мере отражает реальный ход со временем амплитуды 160-минутной пульсации.

На рис. 7, *б* показан ход $\bar{A}$ – скользящих средних за каждые два года значений амплитуд A_h, приведенных в табл. 3. Видно, что начиная с 1983 г. амплитуда в среднем уменьшилась примерно в два раза по сравнению с интервалом 1975–1982 гг.

Ранее отмечалось [15], что в основном, изменения амплитуды по-видимому, связаны со сдвигами фазы. Поэтому большой интерес представляет ход среднегодичных фаз, показанных на рис. 7, *в*. Они построены на основе значений t_0, содержащихся в табл. 3. Для 1984 г. фаза t_0 не определена (средняя амплитуда близка к нулю); однако ранее нами были определены (для периода 160,000 мин) t_0 и A_h отдельно для первой и второй "половин года": для интервала 18.VII–31.VIII ($N = 1431$; число дней наблюдений $N_d = 22$): $A_h = 0{,}43 \pm 0{,}22$ м/с, $t_0 \to \mathrm{UT}\,01^h 09^m \pm 13^m$; для интервала 1.IX–10.X ($N = 2628$, $N_d = 33$): $A_h = 0{,}16 \pm 0{,}11$ м/с, $t_0 \to \mathrm{UT}\ 02^h\ 28^m \pm 17^m$ (видно, что осцилляции двух частей 1984 г. находились практически в противофазе). Затем для средней эпохи каждого массива вычислялись фазы P_0-осцилляции согласно эфемериде (см. рис. 5, *а*):

$$\varphi_0 = 80^m (\pm 5^m) + EP_0\ (\mathrm{UT}),\ E = \mathrm{INT}\ (\Delta t / P_0)\ ,$$

где E – число целых циклов, Δt – временной интервал между центральной эпохой и

начальным моментом UT $00^h\ 00^m$, 1.I 1974 г. Наконец, для каждого года находился параметр, характеризующий рассеяние фаз:

$$\epsilon^2 = 4((t_0 - \varphi_0)/P_0)^2$$

(при условии, что $|t_0 - \varphi_0| < P_0/2$; для 1984 г. взято среднее значение $|t_0 - \varphi_0|$ для первой и второй частей года).

Мы видим (см.рис. 7,*в*), что после 1982 г. сильно увеличилось рассеяние фазы 160-минутных осцилляций. Это подтверждает вывод о том, что уменьшение среднегодовых значений амплитуды обусловлено в основном рассеянием фаз.

9. Заключение

Уменьшение амплитуды и рост рассеяния фазы P_0-осцилляции в 1983–1986 гг. соответствуют переходу к минимуму солнечной активности и падению уровня солнечной иррадиации. Это свидетельствует в пользу гипотезы о физической связи вариации I с изменениями $\bar{A}$ и ϵ^2 P_0-пульсации Солнца в течение цикла.

Ход кривых $\bar{A}$ и ϵ^2 говорит также о том, что цикл их вариации составляет не 10–11, а скорее 20–22 г., т.е. соответствует *магнитному циклу* Солнца. В связи с этим на рис. 7,*б*, *в* стрелкой А отмечена эпоха изменения знака полярного магнитного поля, происшедшая, согласно измерениям в Станфорде [28], около 1980, 0 год.

Однако, как видно из рис. 7, резкое изменение P_0-пульсации наступило примерно на 2,5 года позже изменения знака поля на полюсах Солнца. Известно также, что циклические эффекты в глобальном магнитном поле Солнца могут происходить с запаздыванием по отношению к смене знака на полюсах. В свое время Уилкокс и Шеррер [29] обнаружили, например, что так называемый эффект Розенберга–Колмена в знаке преобладающей полярности межпланетного магнитного поля (обусловленный, согласно [29], годичным изменением гелиошироты Земли) изменяет знак, в среднем, спустя 2,7 год относительно эпох максимума солнечной активности (у нас, следовательно, по отношению к эпохе 1979,9 год). Эпоха предполагаемой "переполюсовки" глобального магнитного поля Солнца, ~1982,7 год, обозначена на рис. 7 стрелкой *В*. Эта эпоха совпадает с началом флуктуаций фазы и уменьшения амплитуды P_0-пульсации Солнца и с началом минимума I. Можно также заключить, что изменения – с циклом – характера 160-минутной пульсации, а также, по-видимому, и изменение иррадиации I имеют тесную физическую связь с переменой знака глобального магнитного поля Солнца – явлением, давно привлекающим внимание астрофизиков и до сих пор далеким от ясности (см. [28–31]).

Поскольку P_0-осцилляция характеризует все Солнце в целом, а измерения (скорости) делаются практически с "нулевым" пространственным разрешением (низкая степень колебания, по-видимому, l = 0–2), то эти колебания должны проникать к самому центральному ядру звезды. Следовательно, вариации с циклом амплитуды и фазы колебаний, ассоциирующиеся, кроме того, с вариацией иррадиации, служат серьезным аргументом в пользу того, что механизм цикла кроется в глубине звезды, дальше основания конвективной зоны. (Такой же точки зрения придерживается, например, Гаф [16]). Это говорит против динамо-теорий цикла, в которых основные гидромагнитные процессы происходят в пределах конвективной зоны (и где допускается довольно-таки произвольная корректировка статистических параметров турбулентности). Более привлекательными Гаф [16] (и мы присоединяемся к его мнению) считает другие, также популярные теории, в основе которых лежит представление о глобальных осцилляциях Солнца, контролируемых магнитным полем.

Важно отметить, что магнитное поле играет значительную роль, по-видимому, и в механизме P_0-пульсаций: недавно обнаружено [32], что общее магнитное поле Солнца как звезды показывает вариацию с периодом P_0 и средней амплитудой 1,2 мкТ, причем с сохранением начальной фазы на протяжении по крайней мере 14 лет.

Поверхностная структура Солнца не зависит от полярности магнитного поля, и если

бы процессы, вызывающие цикл, ограничивались конвективной зоной, то поток излучения, активные процессы и все геофизические явления показывали бы периодичность 11 лет, а не 22 года. Однако, к удивлению геофизиков, многие процессы на Земле, в частности, частота засух в отдельных регионах, подчиняются 22-, а не 11-летней периодичности. Объяснение Гафа [16] – в следующем. Солнце реагирует на смену знака магнитного поля (как бы "чувствует" различие между "+" и "–" – полярностями). Поэтому разумно предполагать, что внутри звезды имеется некоторое "не обращающее знак" магнитное поле, которое может быть сконцентрировано в лучистой зоне и тесно связано с осциллирующим полем выше этой зоны.

Далее, поскольку и глобальное магнитное поле Солнца, и 160-минутная пульсация (см. рис. 7) испытывает колебания с периодом ~22 года, а не 11 лет, то можно сделать вывод, что и колебания иррадиации I должны иметь периодичность ~22 года. Происходит перераспределение глубинного магнитного поля в ходе 22-летнего цикла, и оно тесно связано с изменениями распределения температуры под конвективной зоной и скорости конвекции. Это, в свою очередь, должно приводить к модуляции иррадиации, проявляющейся также и в геофизических процессах. Согласно Фрелиху [33] 22-летняя вариация действительно обнаруживается в измерениях "солнечной постоянной", выполненных за пределами земной атмосферы в 1967–1984 гг.

Заслуживает внимания также идея о быстровращающемся солнечном ядре, которое может обладать сверхсильным магнитным полем, $\sim 10^7 - 10^9$ Гс [23, 32]. Гипотеза о быстром, с периодом до нескольких часов, вращении ядра высказывалась многими авторами [13, 14, 34], и она не противоречит некоторым эволюционным моделям Солнца [35] и, по-видимому, современным данным гелиосейсмологии [1].

С быстрым вращением центрального ядра Солнца может быть связано появление второго пика, ~ 160,014 мин, в СМ солнечных осцилляций. Особый интерес тогда может представлять средняя кривая периодичности 160,0124 мин (рис. 6, *а*), сходная с профилем бегущей волны.

Авторы благодарны Д.Н. Рачковскому за предоставление программ для ЭВМ, С.А. Бондаренко, Е.И. Лиморенко и Н.Г. Сунице за помощь в обработке материала. Мы глубоко признательны проф. Ф. Шерреру за дополнительные данные о станфордских наблюдениях колебаний Солнца.

26 марта 1990 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Christensen-Dalsgaard J., Gough D., Toomre J.* // Science. 1985. Vol. 229. P. 923–931.
2. *Woodard M.F., Noyes R.W.* // Nature. 1985. Vol. 318. P. 449–450.
3. *Gelly B., Fossat E., Grec G.* // Seismology of the Sun and Sun-like stars: Proc. Symp. ESA. Noordwijk, 1988. P. 275–277.
4. *Palle P.L., Régulo C., Roca Cortes T.* // Progress of seismology of the Sun and stars: Oji intern. seminar: List of abstracts. Tokyo, 1989. P. 34.
5. *Delache P., Scherrer P.H.* // Nature. 1983. Vol. 306. P. 651–653.
6. *Isaak G.R., van der Raay H.B., Palle P.L.* et al. // Mem. Soc. Astron. Ital. 1984. Vol. 55. P. 91–97.
7. *Kotov V.A., Severny A.B., Tsap T.T.* // Ibid. P. 117–122.
8. *Gu Y., Hill H.A., Rosenwald R.D.* // Seismology of the Sun and Sun-like stars: Proc. Symp. ESA. Noordwijk, 1988. P. 399–401.
9. *Sevin E.* // C. r. Acad. sci. 1946. Vol. 222. P. 220–221.
10. *Severny A.B., Kotov V.A., Tsap T.T.* // Nature. 1976. Vol. 259. P. 87–89.
11. *Christensen-Dalsgaard J., Gough D.O.* // Ibid. P. 89–92.
12. *Brookes J.R., Isaak G.R., van der Raay H.B.* // Ibid. P. 92–95.
13. *Kotov V.A.* // Solar Phys. 1985. Vol. 100. P. 101–113.
14. *Котов В.А., Левицкий Л.С.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1987, Т. 77. С. 51–72.
15. *Котов В.А., Цап Т.Т., Дидковский Л.В.* // Там же. 1990. Т. 82. С. 138–146.
16. *Gough D.* // Nature. 1986. Vol. 319. P. 263–264.
17. *Котов В.А., Северный А.Б., Цап Т.Т.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1982. Т. 65. С. 3–34.
18. *Henning H.M., Scherrer P.H.* // Advances in helio- and asteroseismology: Proc. IAU Symp. N 123. Dordrecht, 1988. P. 29–32.
19. *Kuhn J.R., Libbrecht K.G., Dicke R.H.* // Nature. 1986. Vol. 319. P.128–131.

20. *Elsworth Y.P., Jefferies S.M., McLeod C.P.* et al. // Astrophys. J. 1989. Vol. 338. P. 557–562.
21. *Scherrer P.H., Wilcox J.M., Kotov V.A.* et al. // Nature. 1979. Vol. 277. P. 635–637.
22. *Котов В.А., Дидковский Л.В., Ханейчук В.И.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1991. Т. 83. С. 34–49.
23. *Kotov V.A.* // Lect. Notes Phys. 1990. Vol. 367. P. 235–240.
24. *Котов В.А., Лютый В.М.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1988. Т. 79. С. 139–157.
25. *Lean J.* // Science. 1989. Vol. 244. P. 197–200.
26. *Willson R.C., Hudson H.S.* // Nature. 1988. Vol. 332. P. 810–812.
27. *Willson R.C., Hudson H.S., Fröhlich C., Brusa R.W.* // Science. 1986. Vol. 234. P. 1114–1117.
28. *Hoeksema J.T., Scherrer P.H.* // The hydromagnetics of the Sun: Proc. 4th Europ. meeting on solar physics. 1984. P. 269–270.
29. *Wilcox J.M., Scherrer P.H.* // J. Geophys. Res. 1972. Vol. 77. P. 5385–5388.
30. *Котов В.А., Левицкий Л.С.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1985. Т. 71. С. 32–53.
31. *Григорьев В.М., Демидов М.Л.* // Астрон. циркуляр. 1988.. № 1531. С. 21–22.
32. *Котов В.А., Демидов М.Л., Григорьев В.М.* и др. // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1990. Т 84.
33. *Fröhlich C.* // J. Geophys. Res. 1987. Vol. 92. P. 796–800.
34. *Roxburgh I.W.* // Nature. 1974. Vol. 248. P. 209–211.
35. *Pinsonneault M.H., Kawaler S.D., Sofia S., Demarque P.* // Astrophys. J. 1989. Vol. 338. P. 424–452.

УДК 523.75

СВЕЧЕНИЕ ЛИНИЙ ИОНИЗОВАННОГО ЖЕЛЕЗА В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ

Е.В. Курочка, Э.А. Барановский

Рассчитаны три модели вспышек, которые одновременно интерпретируют наблюдаемые профили бальмеровских линий H_α, H_β H_σ и линий нейтрального и ионизованного железа для трех вспышек балла 1, 2, 3. Получено, что эмиссия в линиях FeI и FeII образуется значительно глубже, чем бальмеровские линии – на глубине, где число атомов в столбе над 1 см^2 $N = 3 \cdot 10^{23}$, т.е. в фотосфере. Согласование теоретических и наблюдаемых профилей для линий FeI и FeII одновременно оказалось возможным только при условии значительного уменьшения плотности в моделях фотосферных слоев вспышек. Рассчитанные модели имеют большую протяженность фотосферных слоев по высоте – до 1000–2000 км.

THE EMISSION OF FeI AND FeII LINES IN SOLAR FLARES, by *E. V. Kurochka and E.A. Baranovsky.* Three flare models are calculated simultaneously interpreting the observed profiles of Balmer lines H_α, H_β, H_σ and FeI and FeII lines for three flares of importance 1, 2, 3. It is obtained that the emission of FeI lines originates considerably deeper than Balmer lines emission – in the depth where the column number $N = 3 \cdot 10^{23}$ cm^{-2}, i.e. the photosphere. An agreement between theoretical and observed profiles for FeI and FeII lines was found possible only for the flare models with decreased density of photospheric layers. The derived models have very extended photospheric layers – up to 1000–2000 km.

Для изучения солнечных вспышек используются чаще всего спектры бальмеровских линий водорода. Исследования по линиям металлов до последнего времени имели качественный характер. Эмиссия металлов наблюдается практически во всех вспышках балла 2–3. Наиболее многочисленными являются линии железа.

Наблюдений вспышечной эмиссии в линиях металлов опубликовано много, но количественной интерпретации фактически не было. Считалось, что металлы, так же как и бальмеровские линии, светятся в хромосфере. Высоты областей свечения различных линий оценивались по лимбовым вспышкам. Не учитывалось при этом, что вспышка, видимая над лимбом может быть только верхней частью всей вспышки.

Приближенно глубина залегания эмиссии металлов для вспышки на диске рассчитана в 1980 г. Динхом [1]. Определение глубины сделано по полной эмиссии в линиях металлов, по содержанию металлов с применением формулы Больцмана. Получено $N = 4 \cdot 10^{22}$, где N – число атомов водорода над 1 см^2 выше данного уровня. Это соответствует верхней фотосфере.

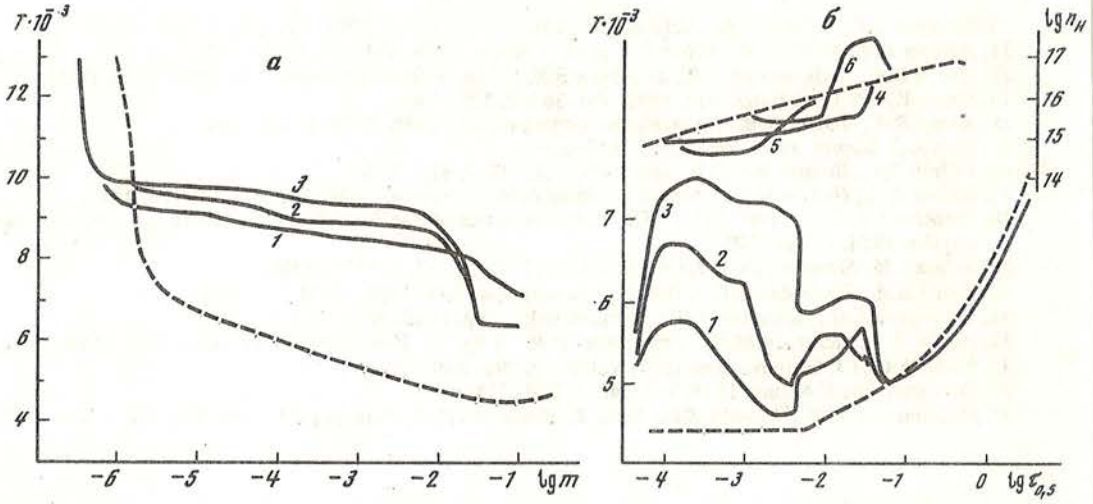


Рис. 1. Температура T (*1, 2, 3*) и плотность n_H (*4, 5, 6*) в моделях 1, 2, 3 для вспышек балла 1, 2, 3 соответственно

а – хромосфера, *б* – фотосфера. Пунктир – значения параметров в невозмущенной области, m – масса вещества над 1 см^2

На протяжении 80-х годов было опубликовано еще несколько работ, из которых следовало, что во время вспышек фотосферные слои претерпевают существенные изменения и вносят немалый вклад в эмиссию вспышек [2–5].

Здесь мы продолжаем исследование, начатое в [6], где было найдено, что для одновременной интерпретации наблюдаемой эмиссии бальмеровских линий и линий железа необходимо принять увеличение температуры (по сравнению с невозмущенной) не только в хромосфере, но и в фотосфере. Однако вычисленная величина эмиссии в линиях FeII по моделям, полученным в [6], оказалась заниженной по сравнению с наблюдаемой. В [6] измерялась эмиссия только двух линий FeII для двух вспышек. Здесь мы взяли большее количество линий FeII для трех вспышек балла 1, 2, 3 и попытались найти такие модели фотосферы, которые дали бы наилучшее согласие теоретических и наблюдаемых профилей и для FeI и для FeII. Профотометрированы следующие линии: H_α, H_β, H_σ, FeI 5124, FeI 5269, FeI 5328, FeII 4924, FeII 5018, FeII 5169, FeII 5198, FeII 5233, FeII 5235.Спектры вспышек были получены на БСТ Крымской астрофизической обсерватории 08.VII 1959 г. и 11.X 1960 г. с помощью эшельного спектрографа. Вспышки расположены в полутени пятен на расстояниях от центра диска Солнца ρ = 0,6; 0,7 и 0,74. Фотометрия сделана на микрофотометре в прямых интенсивностях.

Теоретические профили рассчитывались с применением программы не-ЛТР синтеза спектра, реализованной нами на ЭВМ ЕС-1033. Слабые линии железа рассчитывались по упрощенному варианту программы, в котором по не-ЛТР вычисляется только ионизация элементов, а населенность уровней – по формулам ЛТР.

Для всех линий FeI и FeII рассчитываются сначала профили для стандартной модели невозмущенной фотосферы. Сравнение теоретических профилей с наблюдаемыми позволило уточнить величины сил осцилляторов и уширения Ван-дер-Ваальса. Модели для вспышек определялись путем подбора (метод проб и ошибок). При этом оказалось, что изменением только температуры фотосферных слоев можно получить согласие теоретических и наблюдаемых профилей для бальмеровских линий и линий FeI. Но расчетная эмиссия для линий FeII всегда получается меньше наблюдаемой. Необходимо, по-видимому, увеличить отношение $n_{\mathrm{FeII}}/n_{\mathrm{FeI}}$, т.е. увеличить ионизацию железа. Сделать это посредством значительного увеличения температуры нельзя, так как в этом случае нарушается согласие расчетных и наблюдаемых далеких крыльев бальмеровских

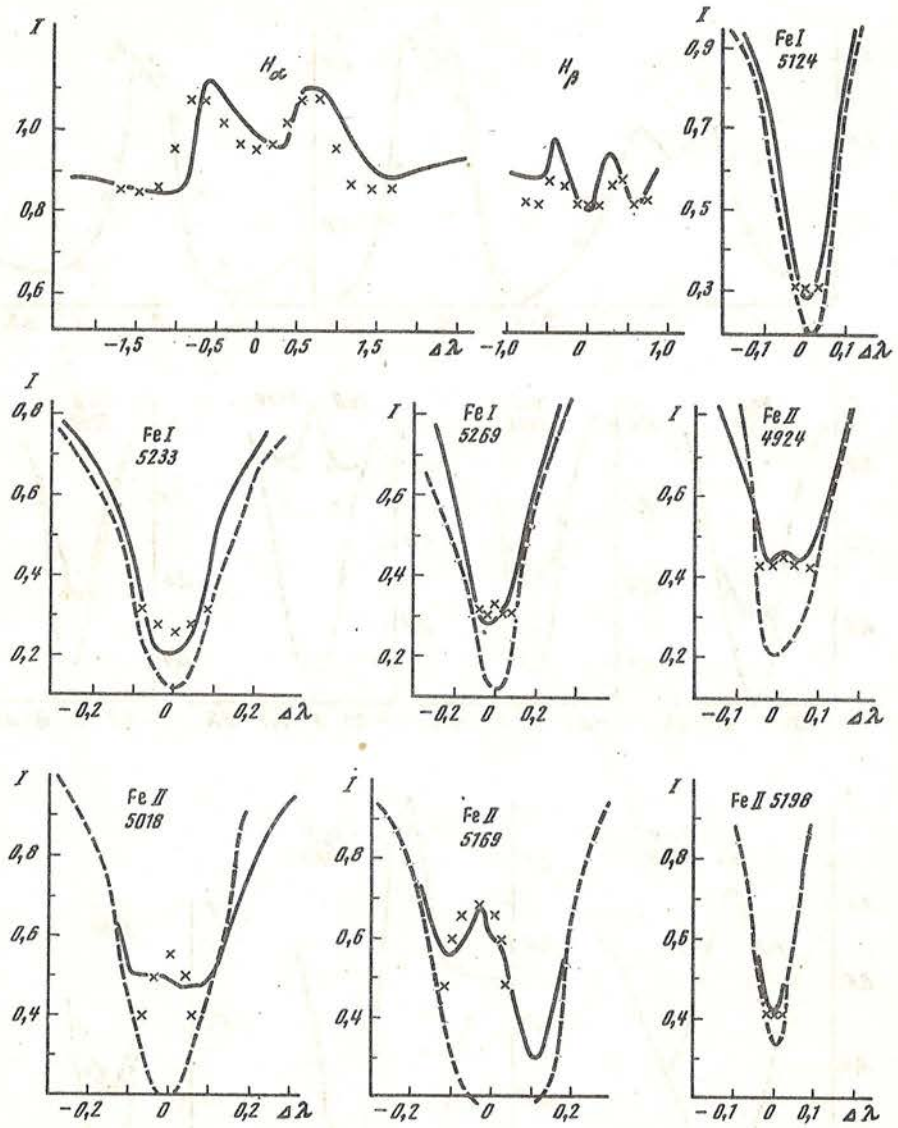


Рис. 2. Теоретические (крестики) и наблюдаемые (сплошная линия) профили для вспышки балла 1

Пунктир – невозмущенные профили

линий. Более подходящими оказались модели с низкой плотностью фотосферных слоев. Модели, с которыми получено наилучшее согласование всех профилей используемых линий, показаны на рис. 1. Для линий железа мы добивались согласования только по величине эмиссии, не обращая внимания на ширину профилей. Плотность в области свечения линий металлов уменьшена в 5–10 раз и составляет около 10^{15} см$^{-3}$. В модели для самой яркой вспышки наряду с областью низкой плотности имеется также область повышенной (в ~20 раз) плотности (см. рис. 1). Сравнение теоретических и наблюдаемых профилей показано на рис. 2–4.

Бо́льшая величина наблюдаемой эмиссии FeII (по сравнению с эмиссией FeI) не является, по-видимому, особенностью только изученных нами вспышек. В [7] отмеча-

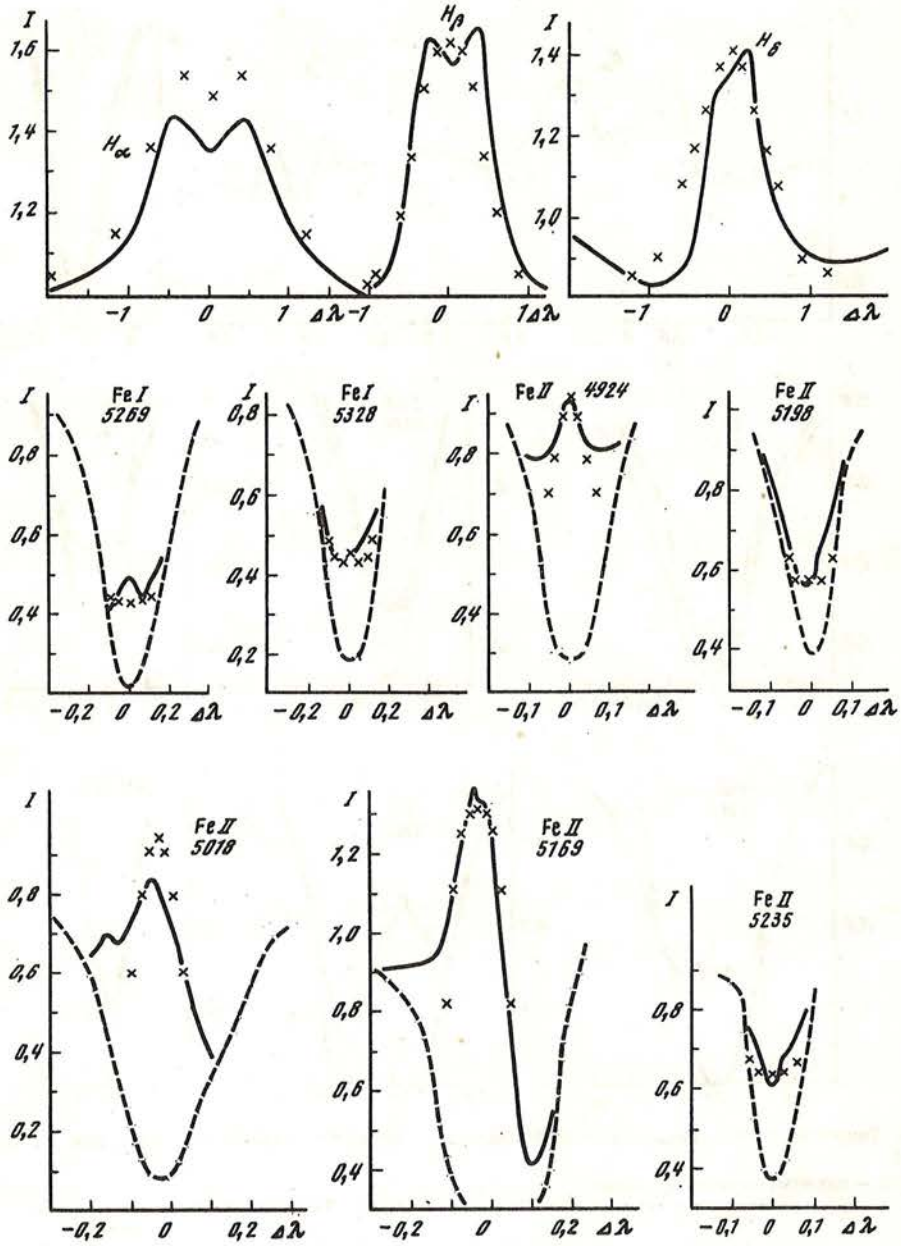


Рис. 3. Профили для вспышки балла 2
Обозначения см. на рис. 2

лось, что эмиссия вспышки в линиях FeII занимает большую площадь, чем в линиях FeI. Автором [7] было высказано предположение, что области преимущественного свечения вспышки в линиях FeII имеют низкую плотность и вследствие этого высокую ионизацию железа. В [8] рассматривается последовательность возгорания линий разных элементов в солнечных вспышках и утверждается, что эмиссия в линиях FeII появляется раньше, чем эмиссия FeI. Таким образом, можно думать, что имеются

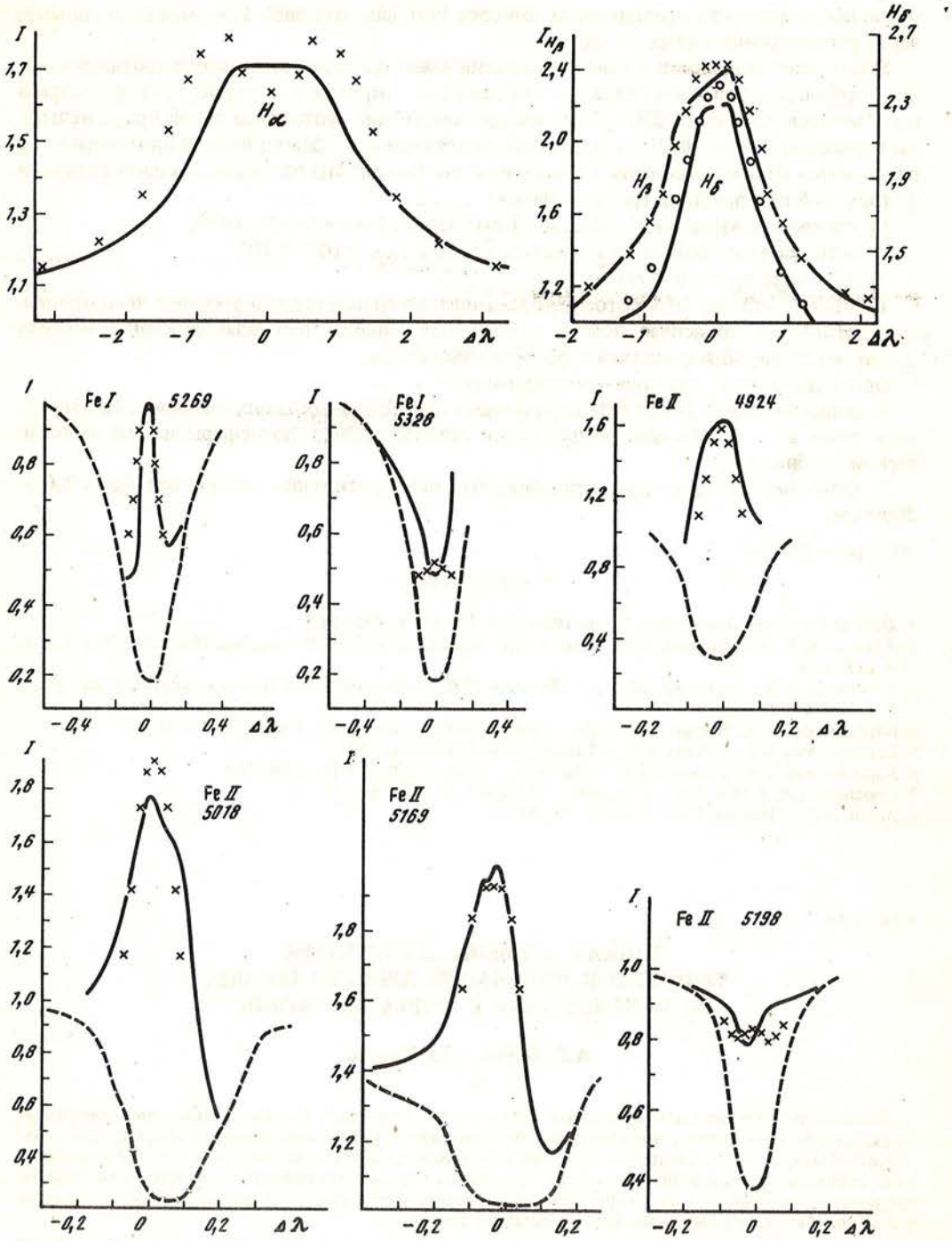


Рис. 4. Профили для вспышки балла 3
Обозначения см. на рис. 2

вспышки, у которых преобладание эмиссии FeII над эмиссией FeI выражено сильнее, чем у рассмотренных нами вспышек.

Уменьшение плотности в области эмиссии имеет следствием большую протяженность фотосферы. Для вспышек балла 1, 2 (модели 1, 2 – кривые *1, 2* на рис. 1, *б*) фотосфера простирается до высот 1200 и 2100 км соответственно. Фотосфера самой яркой вспышки приподнята всего на 200 км, так как протяженность области низкой плотности компенсируется наличием области повышенной плотности. Мы называем эти слои вспышки фотосферой на основании трех признаков:

1) количество атомов водорода над 1 см^2 этого уровня $N \geqslant 3 \cdot 10^{23}$;
2) оптическая глубина в непрерывном спектре $\tau_{0,5} = 10^{-4} \div 10^{-2}$;
3) плотность $n_H \approx 10^{15}$ см$^{-3}$.

То обстоятельство, что фотосфера вспышки возвышается над уровнем невозмущенной фотосферы, объясняет, почему у лимбовых вспышек наблюдается иногда эмиссия линий металлов, образующихся в фотосферных слоях.

Основные результаты нашего исследования:

1. Эмиссия линий FeI и FeII образуется в фотосферных слоях вспышек. Плотность этих слоев в 5–10 раз меньше плотности невозмущенной фотосферы на той же оптической глубине $\tau_{0,5}$.

2. Фотосферные слои вспышки имеют большое протяжение по высоте (до 1000 – 2000 км).

20 апреля 1990 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Dinh Q.V.* // Publ. Astron. Soc. Japan. 1980. Vol. 32, N 3. P. 495–514.
2. *Alikaeva K.V., Kondrashova N.N., Polupan P.N., Redjuk T.I.* // Publ. Debrec. Hel. Obs. 1983. Vol. 5, N 1. P. 177–184.
3. *Аликаева К.В., Барановский Э.А., Полупан П.Н.* // Кинематика и физика небесных тел. 1986. Т. 2, № 4. С. 27–33.
4. *Барановский Э.А., Коваль А.Н.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1981. Т 64. С. 127–131.
5. *Барановский Э.А., Коваль А.Н.* // Там же. 1982. Т 65. С 35–42.
6. *Барановский Э.А., Курочка Е.В.* // Солнечные данные. 1989. № 10. С 98–103.
7. *Степанян Н.Н.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1963. Т. 29. С. 68–79.
8. *Банин В.Г.* // Там же. 1964. Т. 32. С. 38–42.

УДК 523.9

ТОНКАЯ ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА 5-МИНУТНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЯРКОСТИ СОЛНЦА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ С БОРТА КА "ФОБОС"

А.В. Брунс, С.М. Шумко

Излагаются результаты исследований 5-минутных колебаний Солнца с высоким временным разрешением. Установлено, что изменения амплитуды колебаний носят характер кратковременных, длительностью 5 ÷ 10 ч, всплесков и что эти изменения происходят неодновременно для различных мод. В общем поведении линий спектра отмечаются периоды спокойного состояния и активности продолжительностью от 2 до 10 сут. Зарегистрированы случаи быстрого, порядка суток, изменения частот колебаний. Величина изменений составляет 1 ÷ 3 мкГц.

THE SEQUENCE TIME RESOLUTION OF FINE STRUCTURE OF 5-MINUTES OSCILLATIONS OF SOLAR BRIGHTNESS OBSERVFD ON BOARD THE SPACE MISSION PHOBOS, *by A. Bruns, S. Shumko.* Results of the solar *p*-modes study with high time resolution (less than 1 day) are considered. It is determined that time variations of oscillation's amplitudes consist of quick (about 5÷10 hours) splashes and that those variations are inhomogeneus for different modes. In general spectral lines pattern shows quiete and active period during 2÷10 days. Rapid variations (about 1 day) of oscillation frequencies are obserbed. The frequences variation is 1÷3 mkHz.

В июле 1988 г. к Марсу были запущены два космических аппарата – "Фобос-1" и "Фобос-2". На борту каждого из них был установлен прибор "ИФИР" для исследования осцилляций яркости Солнца. Первые результаты обработки полученных данных [1] показали хорошее качество материала. Были отмечены значительные временные изменения амплитуд 5-минутных колебаний. Дальнейшая обработка выявила ряд новых интересных особенностей 5-минутных колебаний яркости Солнца.

1. Материалы наблюдений и методы их обработки

Данные наблюдений, полученных прибором "ИФИР", представляют собой практически непрерывный полугодовой ряд измерений яркости Солнца. Дискретность ряда 41 с. Регистрация проводилась одновременно на трех каналах в синей, зеленой и красной областях спектра на длинах волн 335, 500 и 862 нм.

Измерения выявили сильную деградацию интерференционного фильтра синего канала, что не позволило использовать его данные. Была отмечена слабая деградация и на зеленом канале. Наблюдения показали заметную модуляцию сигнала, которая вызвана изменениями ориентации КА. Величина модуляции составляет 0,2–0,5% от всего сигнала и на 1–2 порядка превышает амплитуды 5-минутных колебаний. Периоды модуляции лежат в области 15 ÷ 40 мин.

Для исправления искажений сигнала, вызванных модуляцией, были применены различные методы обработки. В результате их сравнительного анализа мы остановились на следующем варианте, состоящем из двух этапов:

1. Исходный массив данных разбивался на отдельные участки от одного сильного всплеска до другого (A–B, B–C, C–D на рис. 1).

2. В каждом участке концы его линейно экстраполировались (см. рис. 1) и получившийся отрезок обрабатывался методом "скользящего среднего" с окном 6 мин.

В результате такой обработки нам удалось избавиться почти от всех всплесков сигнала, вызванных модуляцией.

Анализ привязки данных ко времени показал, что в среднем один раз за двое суток происходит сбой, в результате которого один из промежутков времени между измерениями уменьшается на 8 с, что вызывает временной сдвиг одного блока данных относительно другого. Такие сдвиги, вызванные, по-видимому, сбоями программного устройства прибора, накапливаясь, могут вызвать заметные ошибки при расчете высокочастотных спектров мощности для длинных (10 сут и более) рядов. Для обработки относительно коротких рядов или для выявления долгопериодических (20 мин и более) колебаний малые сдвиги несущественны.

Для частотного анализа коротких рядов мы применяли метод быстрого преобразования Фурье.

Рис. 1. Пример записи зеленого канала
Всплески A, B, C, D – результат модуляции сигнала, вызванный движениями аппарата

Пятиминутные солнечные колебания исследуются различными методами более 10 лет, так что частоты их известны с достаточной точностью (см., например, [2, 3]). Поэтому, при вычислениях уровня шума на спектрах мощности, мы, заведомо зная, что на данных частотах присутствуют солнечные колебания, исключили из рассмотрения эти и ближайшие к ним частоты, лежащие в контуре линии, так как они дали бы завышенную величину шума. Расчеты показали, что для 5-часовых спектров отношение сигнал/шум достигает 10 ÷ 15, а для 27-часовых – 20 ÷ 30.

2. Результаты расчетов амплитудных спектров

Обычно спектры мощности 5-минутных колебаний вычисляются для достаточно длинного периода наблюдений (10 дн и более). Это позволяет с высокой точностью определять частоты колебаний, величину расщепления и т.д. На рис. 2 приведен спектр 5-минутных колебаний за 160 дн наблюдений с борта КА "Фобос-2".

В нашей работе мы попытались выяснить другие параметры колебаний: характер их возникновения, поддержания и затухания. Это потребовало максимального сокращения отрезков времени, для которых вычисляется спектр мощности. Качество полученного материала, отсутствие влияния земной атмосферы и непрерывность ряда позволили довести это время до нескольких часов.

На рис. 3 приведено несколько характерных спектров для последовательных 27-часовых рядов. На графиках хорошо видно, что вид спектра сильно меняется со временем: линии то появляются, то исчезают, причем различные линии спектра возбуждаются неодновременно. Подобным же образом изменяются и 5-часовые спектры (на рис. 4 приведено четыре таких последовательных спектра). Характер поведения линий можно продемонстрировать на примере моды колебаний с частотой 3170 мкГц. В первый промежуток времени (спектр Б.1, отмечено стрелкой) ее мощность составляет 13 единиц, во второй – 60, а в третий – 10. Таким образом, за промежуток времени в несколько часов амплитуда колебаний изменяется в несколько раз.

Для исследования изменений мощности колебаний с высоким временным разрешением мы вычислили около 700 пятичасовых спектров мощности, общей продолжительностью 150 сут. На рис. 5 приведен пример графика изменений мощности некото-

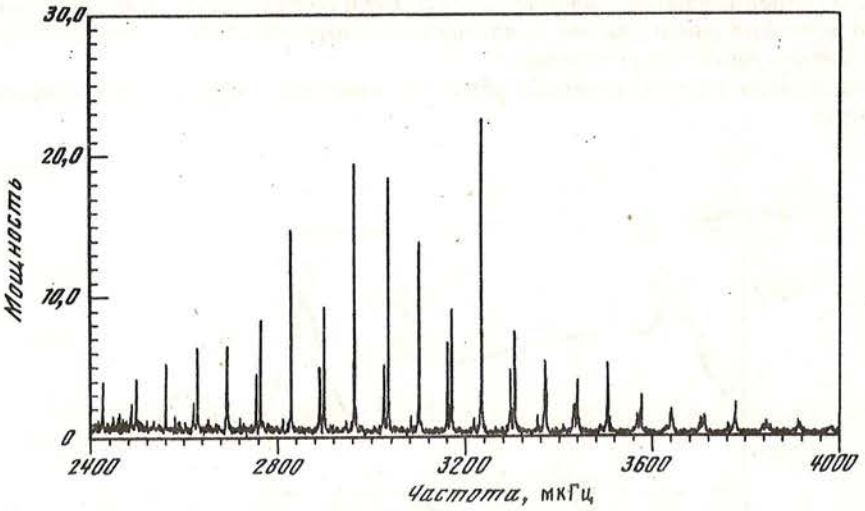


Рис. 2. Спектр мощности 5-минутных колебаний яркости Солнца

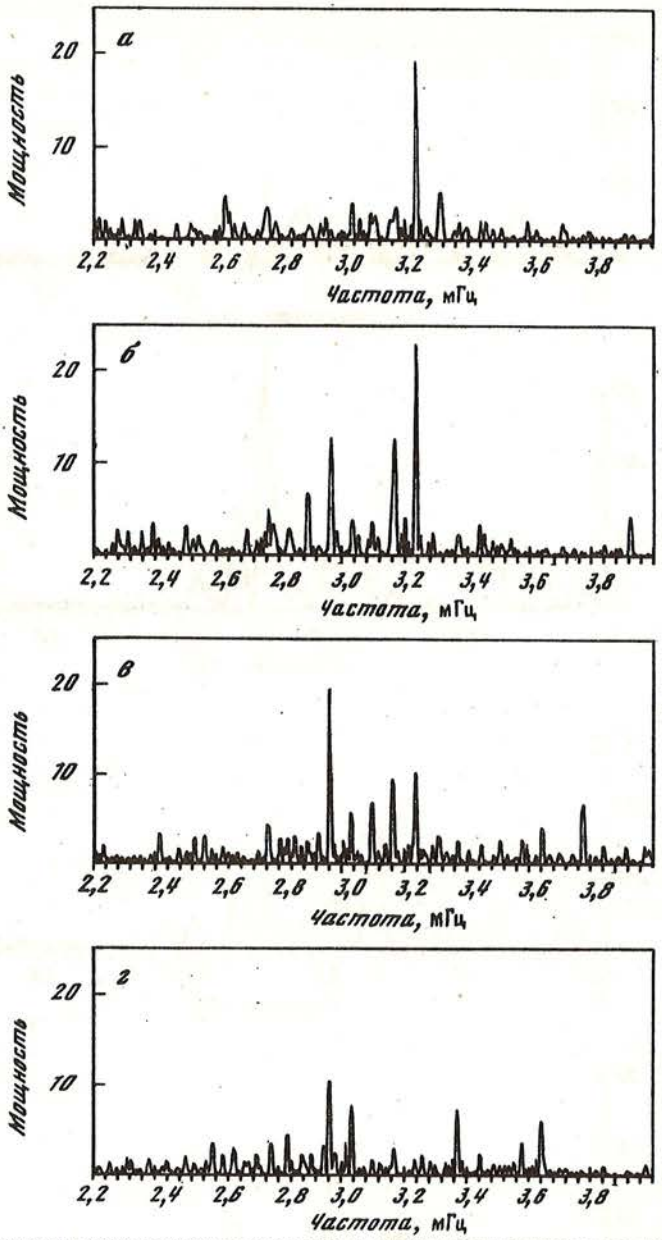


Рис. 3. Спектры мощности для четырех последовательных 27-часовых временных интервалов
Мощность на данном и последующих рисунках – в приборных единицах; яркость Солнца в этих единицах – $6 \cdot 10^5$

рых колебаний со временем для степеней гармоник $L = 0$ и $L = 1$. Над графиком приведена средняя ошибка одного измерения. Подобные графики построены для зеленого и красного каналов. Они выглядят практически идентично.

Видно, что изменения амплитуд колебаний носят характер кратковременных всплесков, длящихся несколько часов и попадающих либо на фон "затишья", либо на период активности. Продолжительность подобных периодов составляет несколько суток.

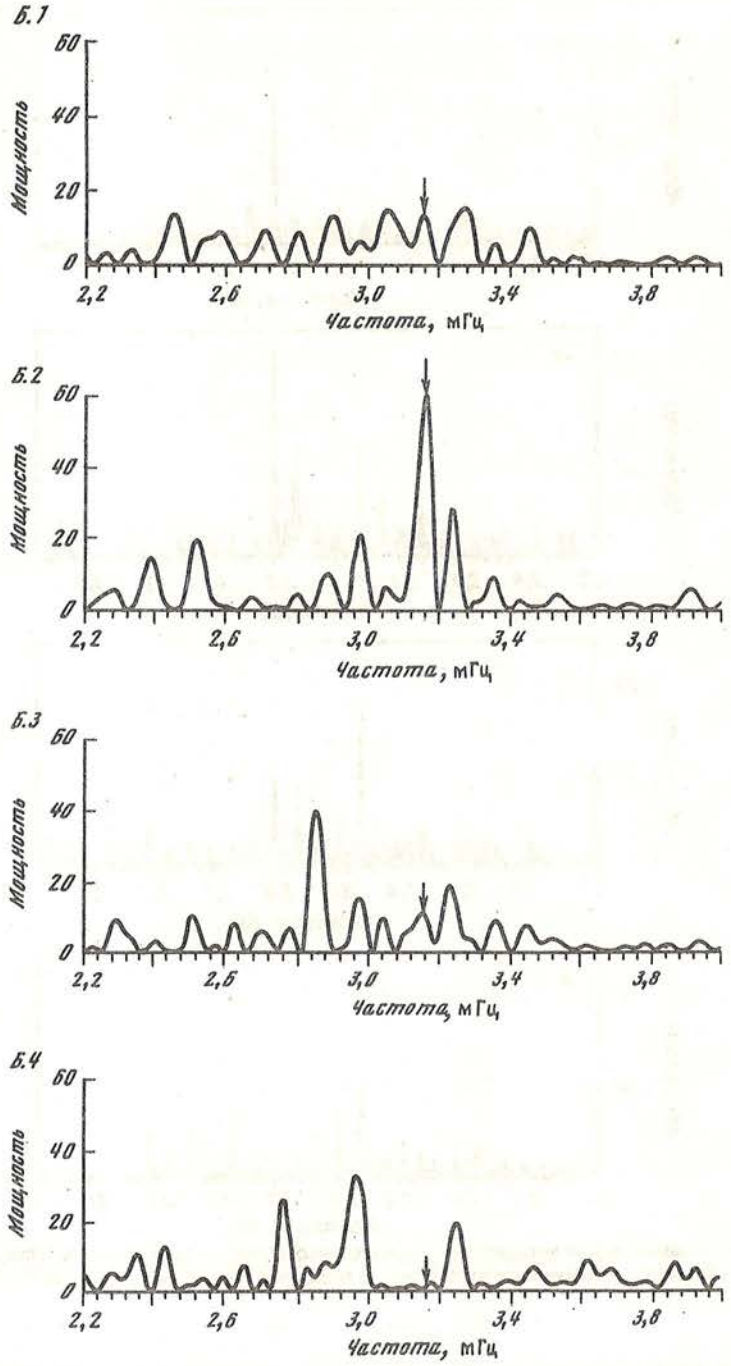


Рис. 4. Спектры мощности для четырех последовательных 5-часовых интервалов
Все интервалы внутри 27-часового ряда, для которого построен спектр Б (см. рис. 3)

Виден также различный характер активности у мод с $L = 0$ и $L = 1$. Активность колебаний с $L = 0$ состоит, в основном, из кратковременных всплесков, в то время как у мод с $L = 1$ есть периоды повышенной активности длиной до 10 сут.

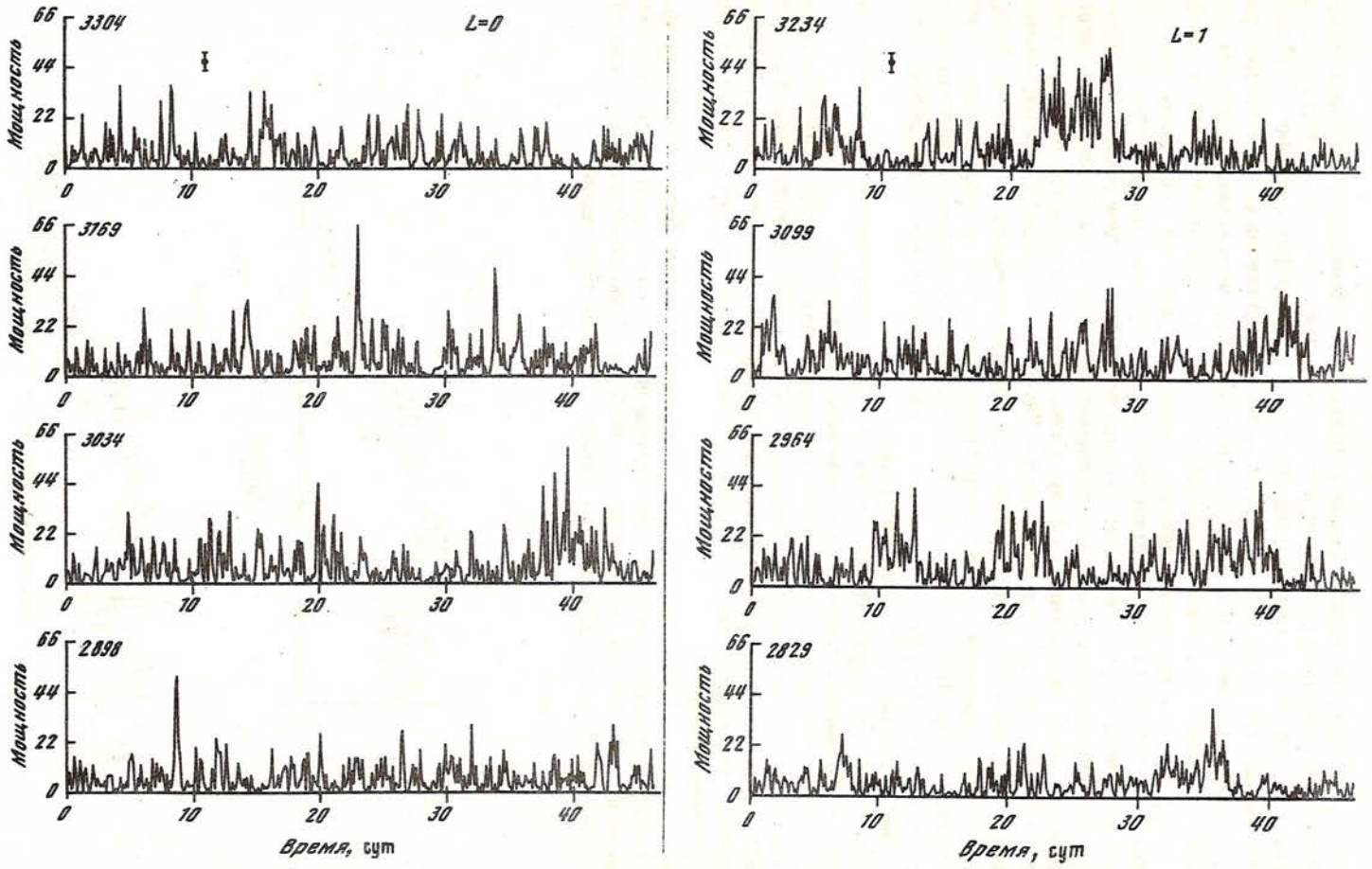


Рис. 5. Пример изменения мощности некоторых колебаний со временем для мод с $L = 0$ и $L = 1$
Цифры в левом верхнем углу каждого графика — частоты колебаний в микрогерцах

3. Результаты фазовых расчетов

Как было показано, рассчитанные нами амплитуды колебаний могут за короткое время изменяться в несколько раз и уменьшаться до уровня шумов. Это, естественно, еще не означает, что затухает и само колебание. Возможно, что оно, сохранив свою фазу, проявится на спектре вновь. Для проверки этого предположения были проведены расчеты фазы колебаний для различных временных отрезков. Фаза вычислялась с помощью Фурье-преобразования и рассчитывалась для тех же 5-часовых отрезков, что и амплитудные спектры. Все фазы привязывались к одному и тому же начальному моменту.

Оценка точности вычисления фазы обычно весьма затруднительна и спорна. Наша задача была облегчена тем, что мы имели два ряда независимых одновременных наблюдений Солнца, выполненных с борта разных космических аппаратов. Поэтому для оценки точности вычислений мы сравнивали фазу, вычисленную за один и тот же промежуток времени,по данным, полученным с бортов КА "Фобос-1" и "Фобос-2". На рис. 6 приведен график хода фазы для частоты 3234 мкГц по двум независимым рядам наблюдений. Расчеты показывают, что среднеквадратичное отклонение на данном участке записи составляет 0,3 рад. Эту величину можно считать оценкой точности вычисления фазы. При этом нужно отметить, что на тех участках, где амплитуда колебаний сильно уменьшается, ошибка в определении фазы возрастает.

На рис. 7 приведены графики хода фазы для двух мод колебаний с $L = 1$. При рассмотрении этого графика нужно учесть следующие соображения:

1. Если фаза со временем не меняется, то, следовательно, частота колебания совпадает с частотой, для которой фаза вычислялась ("реперной" частотой). Если же фаза изменяется, то это свидетельствует о том, что "реперная" и истинная частоты не совпадают, причем, чем быстрее меняется фаза (т.е. чем больше наклон на графике), тем больше разница по частоте.

2. Фаза может вычисляться в данном случае с точностью $2\pi n$. При монотонном ходе фазы это может привести к тому, что при переходе через 2π или 0 происходит "переброс" значений фазы от 2π к 0 или, соответственно, наоборот. Этим, по-видимому, можно объяснить сбой фазы на частоте 3234 мкГц в области 85-го дня наблюдений.

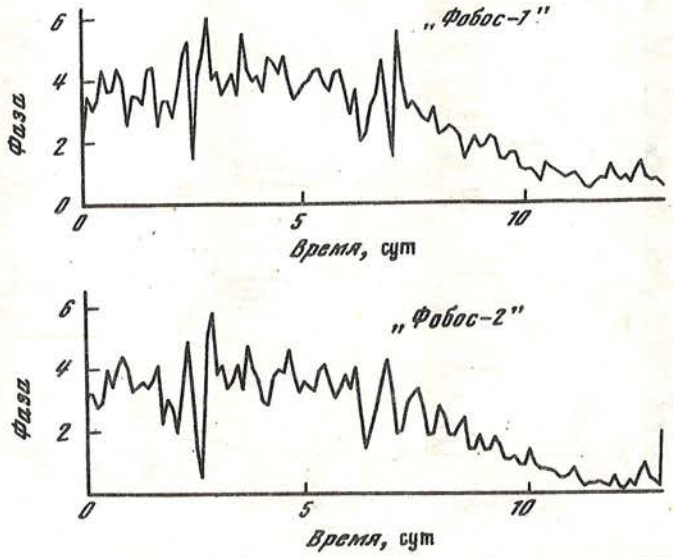


Рис. 6. Сравнительный ход изменений фазы (в радианах) колебания с частотой 3234 мкГц по данным, полученным с бортов КА "Фобос-1" и "Фобос-2"

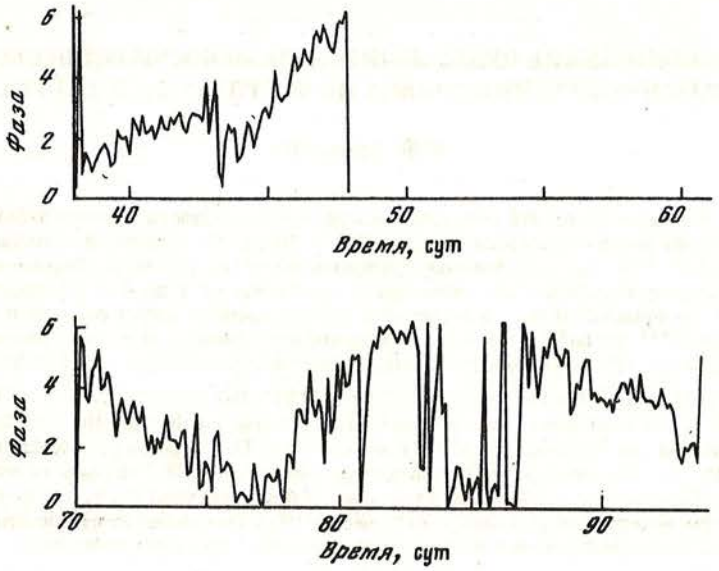


Рис. 7. Примеры изменений фазы для колебаний со средними частотами 3099 (сверху) и 3234 мкГц

Учет этих соображений приводит к выводу о том, что изменения наклона кривых хода фаз, приведенных на рис. 7, указывают на изменения частот солнечных колебаний. Если теперь по разнице углов наклона вычислить сдвиг частот, то выяснится, что у моды с частотой 3099 мкГц за время порядка суток произошло изменение частоты на 1,5 мкГц. У другой моды с частотой 3234 мкГц изменение, происшедшее в районе 75–77-го дня, еще больше – 3 мкГц. В дальнейшем частота этой моды меняется вновь. Наличие этих изменений подтверждается и расчетами частоты по максимумам на амплитудных спектрах, которые вычислялись для рядов, лежащих до и после момента изменения частоты, выявленного по фазовым расчетам.

4. Выводы

Проведенные нами исследования, основанные на наблюдениях с борта КА "Фобос", позволяют сделать следующие выводы:

1. Различные моды 5-минутных колебаний возбуждаются и изменяются неодновременно. Следствием этого является тот факт, что амплитудное распределение мод в спектре даже за длительные промежутки времени не может быть постоянным.
2. Частота каждой моды не фиксирована, а может изменяться со временем. Величина этих изменений оказалась неожиданно велика (1–3 мкГц), хотя и составляет менее 0,1% от самой величины частоты.
3. У 5-минутных солнечных колебаний существуют периоды активности и "затишья".
4. Амплитуды колебаний за время в несколько часов могут изменяться в несколько раз.
5. Моды с $L = 0$ и $L = 1$ имеют различный характер активности.

Авторы благодарны Д.Н. Рачковскому за помощь и консультации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Фрелих К., Боннэ Р.М., Брунс А.В.* и др. // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1989. Т. 83, С. 22–33.
2. *Jimenez A., Palle P.L., Perez J.C.* et al. // Advances in helio- and asteroseismology; Proc. Symp. IAU. Aarhus, 1986. P. 205–209.
3. *Jimenez A., Palle P.L., Andersen N.B.* et al. // Seismology of the Sun and Sun-like stars; Proc. Symp. ESA. Puerto de la Cruz, 1988. P. 163–168.

УДК 523.98

ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ПУЛЬСАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ВСПЛЕСКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА ЧАСТОТАХ 2,5 И 2,85 ГГц

Ю.Ф. Юровский

Обращается внимание на то, что во время всплесков радиоизлучения Солнца наблюдаются периодические колебания плотности потока с частотой 8 – 40 Гц. Колебания синхронны на "несущих" частотах 2,5 и 2,85 ГГц, т.е. они занимают диапазон не менее 350 МГц. Длительность интервала времени, на котором колебания сохраняют фазу, составляет от 1 до 4 с. Абсолютная амплитуда колебаний остается приблизительно постоянной в течение времени жизни события и лежит в пределах от 5 до $500 \cdot 10^{-22}$ Вт/(м^2·Гц), при этом относительная амплитуда во всех рассмотренных случаях составляла около 10% от уровня излучения, на фоне которого наблюдались события.

PERIODICAL PULSATIONS OF SOLAR RADIO BURSTS INTENSITY AT 2. 5 AND 2.85 GHz, *by Yu.F. Yurovsky*. It has been noted, that in course of radio bursts on the Sun, the periodical variations of the flux density with the frequency 8–40 GHz are observed. The variations are synchronous at carriers 2.5 and 2.85 GHz, i.e. they overlap the frequency range within 350 MHz. The phase of oscillations is kept during 1–4 sec. The absolute amplitude of oscillations is nearly constant during the lifetime of an event and is found within the limits of $(5 + 500) \cdot 10^{-22}$ Wt/(m^2·Hz), the relative amplitude being of about 10% from the radiation level, which has been adopted as a background of the events under study.

Миллисекундные (МС) пульсации радиоизлучения Солнца, обнаруженные в 1978 г. [1], содержат информацию о быстрых процессах, происходящих в активной области. Их изучение может дать дополнительные сведения для диагностики вспышечной плазмы. Предполагается [2], что МС пульсации могут быть обусловлены нелинейным режимом конусной неустойчивости плазменных волн во вспышечных петлях. При этом возможно возникновение периодической модуляции интенсивности излучения. Проводимые в Крымской обсерватории наблюдения свидетельствуют о том, что в некоторых случаях МС пульсации действительно имеют периодический характер. Ниже излагаются результаты изучения этих регулярных вариаций потока.

Регистрация МС событий проводилась на радиотелескопе с диаметром зеркала 3 м, на котором установлены 2 облучателя на частоты 2,5 и 2,85 ГГц [3]. Данные записывались на магнитную ленту с дискретностью отсчетов 8 мс. Программа обработки позволяла вычислять спектральную плотность амплитуд $S(f)$ и/или спектр мощности $G(f)$ по автокорреляционной функции $R(\tau)$.

МС пульсации, которые изучаются ниже, регистрировались во время всплесков радиоизлучения. Скоростная регистрация включалась при повышении плотности потока на 10% над фоновым уровнем. Нестационарный характер изменений потока во время всплеска существенно затрудняет выявление периодичности, поэтому для первых исследований были выбраны наиболее простые события. Их изучение проводилось с помощью относительно простых методов обычного фурье-анализа.

Рассмотрим всплеск радиоизлучения на частоте 2,85 ГГц, происшедший 12. II 1990 г. в интервале $11^h 12^m$ – $11^h 19^m$ UT, в течение всего времени жизни которого наблюдались МС пульсации потока. Всплеск был весьма умеренной интенсивности, поток в его максимуме не превосходил 60 СЕП (солнечных единиц потока, 1 СЕП = $=1 \cdot 10^{-22}$ Вт/(м^2·Гц), что составляло ~ 50% предвсплескового уровня. В интервале $11^h 17^m 0{,}2^s$ – $11^h 17^m 0.7^s$ UT поток всплеска изменялся незначительно, что упростило выявление периодичности его МС структуры. Общий вид обсуждаемого фрагмента приведен на рис. 1, *а*. Путем визуального анализа весь участок записи был разбит на 3 фрагмента (см. рис. 1, *а*, фрагменты *б, в, г*), содержащие существенно различную структуру пульсаций.

Спектральная плотность амплитуд $S(f)$, соответствующая этим фрагментам, показана на рис. 1, *д, е, ж*. Вертикальные линии обозначают не дискретный спектр, а значение величины спектральной плотности в отдельных вычисленных точках. Вид спектра свидетельствует о том, что в интервале $11^h 17^m 01^s{,}8$ – $11^h 17^m 03^s$ UT колебания

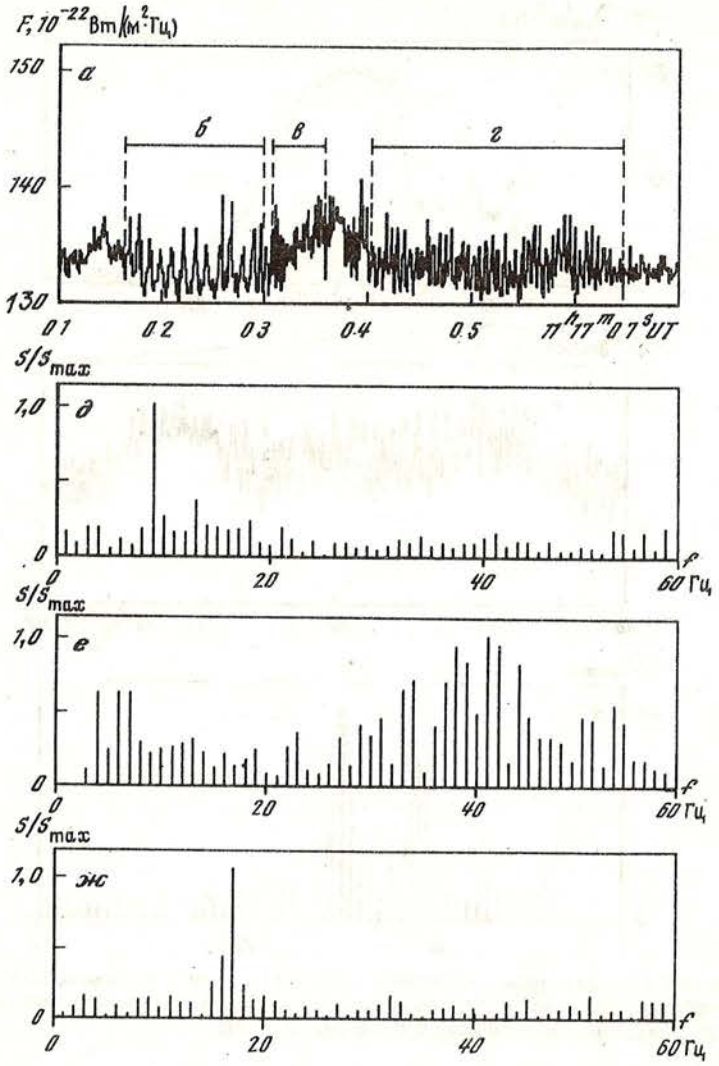


Рис. 1. Фрагмент всплеска радиоизлучения Солнца 12. II1990 г. на частоте 2,85 ГГц (*а*) и спектральная плотность амплитуды S (*f*) (*д, е, ж*), вычисленная по фрагментам записи *б, в, г*

интенсивности всплеска имели явно выраженный периодический характер с частотой 8,86 Гц. Будем оценивать характер периодичности колебаний с помощью отношения $Q = f/\Delta f$, где f – центральная частота "линии", Δf – ширина "линии" по уровню 0,7. Если отношение $Q \leqslant 1$, то изучаемый процесс апериодический [4]. Минимальное значение Δf определяется шириной "инструментального контура", равной $\sim 1/T$, где T – длина реализации изучаемого процесса. Поскольку в реальном случае $T < \infty$, то $Q < \infty$, если даже исследуется чисто монохроматическое колебание. В спектре, вычисленном по интервалу времени *б* на рис. 1, *а*, ширина "линии" оказалась равна ширине "инструментального контура", поэтому можно записать, что $Q_{8,85} \geqslant 10$.

Спектр, соответствующий интервалу $11^h\,17^m03^s{,}1 - 11^h\,17^m03^s{,}6$ UT, показан на рис. 1, *е*. В интервале частот около 40 Гц спектральная плотность амплитуд $S(f)$ максимальна, но контур этой "линии" настолько широк, что $Q \simeq 2$. Из этого следует, что колебания в интервале *в* на рис. 1, *а* можно признать периодическими лишь условно.

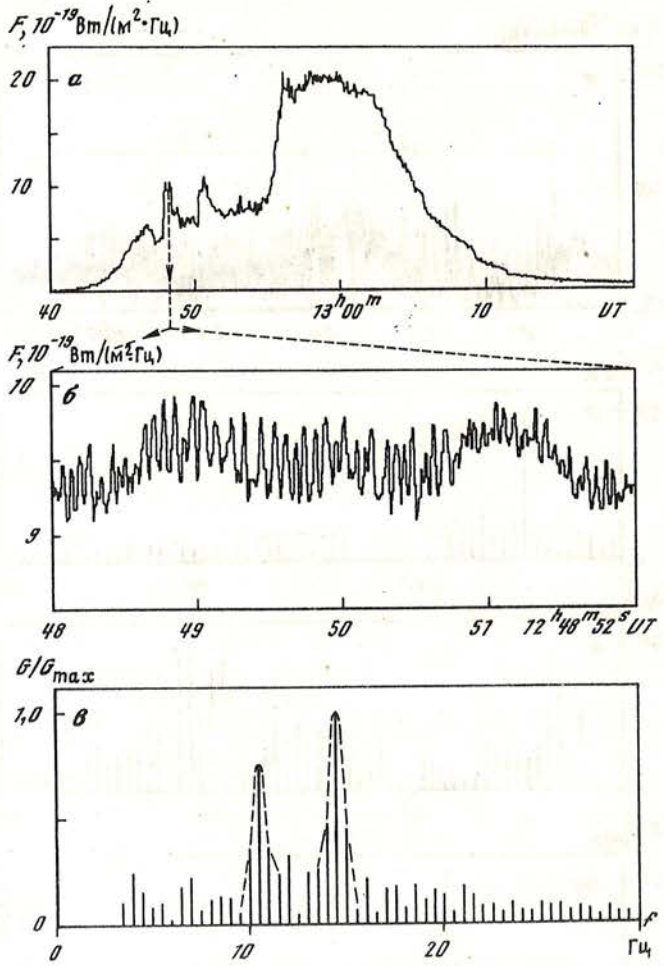


Рис. 2. Общий вид всплеска радиоизлучения Солнца 19. X 1989 г. на частоте 2,85 ГГц (*а*) и спектр мощности колебаний (*в*), вычисленный по фрагменту всплеска с периодическими пульсациями (*б*) Цена деления по оси ординат на графиках *а*, *б* – в тысячах СЕП

Спектр на рис. 1, *ж*, соответствующий участку записи *г* на рис. 1, *а*, содержит "линию" на частоте 17,5 Гц с $Q \simeq 40$, т.е. колебания в этом интервале времени были периодическими. Соотношение частот колебаний на участках *б* и *г* близко к 2, однако делать какие-либо заключения по единичному случаю наблюдений, по-видимому, рискованно. Амплитуда периодических колебаний во время всплеска 12. II 1990 г. не превышала 5 СЕП, но обладала примечательной устойчивостью на протяжении каждого исследованного интервала *б* и *г* (см. рис. 1, *а*).

Обратимся к изучению более мощного события, наблюдавшегося 19. X 1989 г. в интервале $12^h 40^m - 13^h 20^m$ UT (рис. 2, *а*). Поток в максимуме этого всплеска достигал $20 \cdot 10^3$ СЕП. На стадии роста потоков в $\sim 12^h 48^m$ возникли быстрые колебания уровня, длившиеся всего 5 с (рис. 2, *б*). Амплитуда этих колебаний достигала 500СЕП, т.е. более чем вдвое превосходила уровень излучения всего невозмущенного Солнца и оставалась приблизительно одинаковой на протяжении 4 с, выбранных нами для изучения.

Спектр мощности $G(f)$, соответствующий этому участку записи и построенный по автокорреляционной функции $R(\tau)$, показан на рис. 2, *в*. На нем достаточно четко

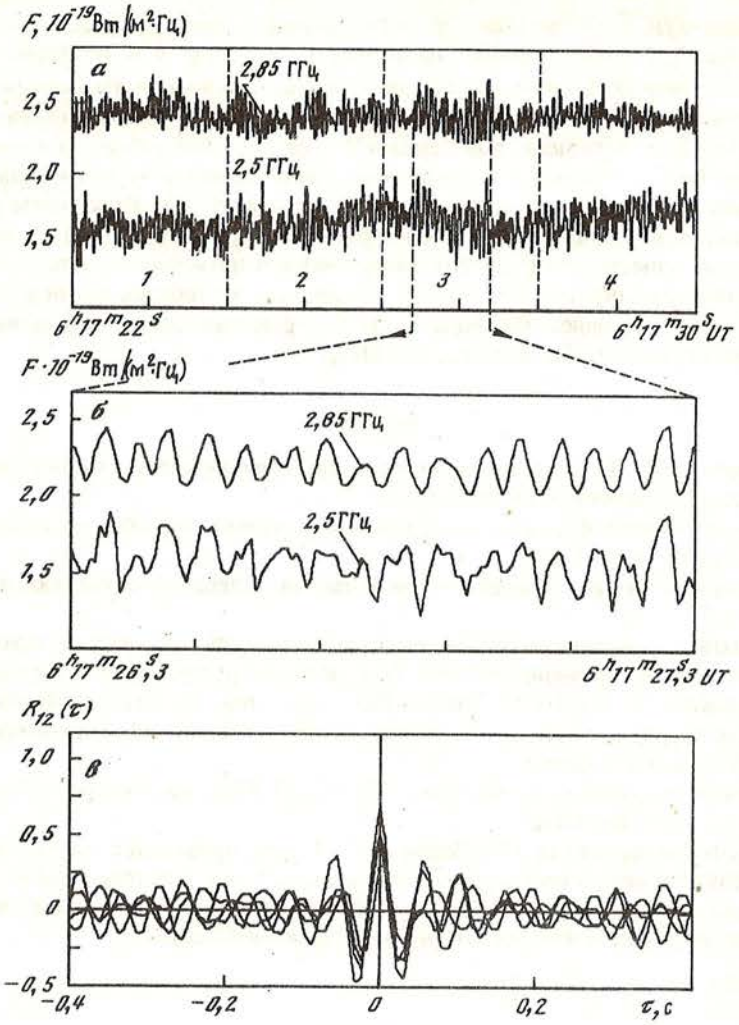


Рис. 3. Фрагмент всплеска радиоизлучения Солнца 01. IX 1989 г. на частотах 2,5 и 2,85 ГГц (*а*) и участок всплеска, для которого вычислялась спектральная плотность амплитуды S (*f*) (*б*)
в – функция взаимной корреляции колебаний на тех же частотах. Цена деления по оси ординат на графиках *а* и *б* – в тысячах СЕП

выделяются 2 спектральные "линии" на частотах 10,65 и 14,65 Гц. Как и в предыдущем случае, ширина "линий" определялась шириной "инструментального контура", поэтому можно указать лишь нижние пределы отношения $Q_{10,65} \geqslant 10$ и $Q_{14,65} \geqslant 14$. Каждый спектр, вычисленный отдельно для первой и второй половин интервала, тоже содержал обе частоты. Это дает основание полагать, что две частоты присутствовали на протяжении всего рассматриваемого интервала времени. Вполне справедливо также предположение о том, что центральная частота 12,65 Гц была модулирована с девиацией ± 2 Гц.

Всплеск радиоизлучения 01. IX 1989 г. произошел в интервале $6^h 00^m - 7^h 20^m$ UT. Интенсивность потока в максимуме достигала величины $3{,}5 \cdot 10^3$ СЕП, т.е. всплеск можно отнести к сравнительно мощным событиям. На стадии роста потока в интервале $6^h 17^m - 6^h 18^m$ UT наблюдались быстрые вариации интенсивности с амплитудой около 400 СЕП. На рис. 3, *а* показан фрагмент записи этого события, выбранный для обработки в связи с тем, что амплитуда быстрых флуктуаций в это время была наибольшей.

Спектр амплитуд $S(f)$ на обеих частотах, вычисленный для участка записи, показанного на рис. 3, *б*, имеет "линию" на частоте 17,5 Гц и $Q \cong 6$. Из этого следует, что колебания на рассматриваемом участке не очень монохроматичны (или не были "разрешены" соседние "линии"), но процесс в целом можно рассматривать как периодический. Затем весь фрагмент, показанный на рис. 3, *а*, был разбит на 4 участка (1–4) длительностью по 2 с каждый и для каждого участка была вычислена функция взаимно корреляции $R_{12}(\tau)$ колебаний на частотах 2,5 и 2,85 ГГц. Результаты расчета приведены на рис. 3, *в* в виде наложения всех четырех кривых $R_{12}(\tau)$. В районе $\tau = 0$ обнаруживается существенная, до 0,6, корреляция в изменениях потока на двух частотах. Это свидетельствует о том, что периодические колебания происходят синхронно в полосе частот не менее 350 МГц (а из соображений симметрии можно полагать, что полоса частот равна ± 350 МГц, т.е. 700 МГц).

Выводы

1. На частоте 2,85 ГГц во время всплесков радиоизлучения Солнца наблюдались периодические колебания плотности потока.

2. Частота колебаний потока в исследованных случаях менялась от события к событию в пределах от 8 до 40 Гц.

3. Длительность интервала времени, на котором колебания сохраняют фазу, составляла от 1 до 4 с.

4. Абсолютная амплитуда периодических колебаний оставалась приблизительно постоянной в течение времени события (см., например, рис. 2, *б*) и в разных случаях лежала в пределах $5–500 \cdot 10^{-22}$ Вт/(м^2·Гц). При этом их относительная амплитуда во всех рассмотренных случаях составляла около 10% от уровня излучения, на фоне которого наблюдалось событие.

5. Колебания синхронны на частотах 2,5 и 2,85 ГГц, т.е. "несущая" частота занимает полосу не менее 350 МГц.

6. Период наблюдавшихся колебаний в 2–3 раза превышает оценку периода колебаний огибающей плотности энергии плазменных волн, приведенную в [2], однако результаты могут быть согласованы путем выбора в разумных пределах величины концентрации электронов и температуры во вспышечной петле.

28 марта 1990 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Slottje C.* // Nature. 1978. Vol. 257. P. 520.
2. *Зайцев В.В., Степанов А.В., Стерлин А.М.* // Письма в АЖ. 1985. Т. 11. С. 463–468.
3. *Юровский Ю.Ф.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. Т. 84.
4. *Асеев Б.П.* Колебательные цепи. М.: Связьиздат, 1955. С. 81.

УДК 532.98

О КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЯХ МАГНИТНЫХ ТРУБОК

С.И. Гопасюк

Проведено изучение крутильных колебаний магнитной трубки с осевой симметрий, в которых напряженность поля и скручивание поля однородны по сечению.

Показано, что при таких условиях закручивание поля трубки происходит вдоль ее оси и является однородным. Циркулирующий вдоль оси электрический ток, меняющийся по величине и знаку, порождается вихревыми движениями плазмы. Знание данных о полном векторе магнитного поля силовой трубки на поверхности Солнца наряду с характеристиками о крутильных колебаниях (период, амплитуда колебаний) расширяет возможности исследования параметров ее в подфотосферных слоях.

ON TORSIONAL OSCILLATIONS OF MAGNETIC TUBES, *by S.I. Gopasyuk.* Torsional oscillations of magnetic tubes with axial symmetry where the intensity and the twist of the field are homogeneous in cross-section have been investigated.

It has shown that under such conditions the magnetic tube twist is homogeneous along its axis, too. Electric current circulating along the magnetic tube caused by vortex motions of plasma is alternating. The data on total vector of the magnetic field tube on the surface on the Sun alongside with the signatures of torsional oscillations (its period and amplitude) allow us a wide scope of possibilities to investigate the parameters of magnetic tube in subphotospheric layers.

Крутильные колебания пятен были обнаружены нами по данным наблюдений поля скоростей, и результаты опубликованы в [1]. Там же было показано качественное соответствие результатов по вращению пятен, полученных по наблюдению лучевых скоростей и фотогелиограммам. Установление такого соответствия расширило возможности изучения вращения пятен. Определение вращения пятен по лучевым скоростям – задача чрезвычайно трудоемкая. Расширить статистику изучения этого явления позволяют фотогелиограммы: они более доступны и обработка данных по ним намного проще.

Наиболее полное изучение крутильных колебаний пятен было представлено в [2], где по фотогелиограммам были приведены определения периодов и амплитуд колебаний 131 пятна. Это были пятна одиночные и простые по структуре в сложных группах. Согласно [2] крутильные колебания не уникальное, а скорее характерное состояние пятен. Спектр этих колебаний довольно широкий: периоды заключены в пределах 2–26 сут. а амплитуды – 4–68°. Однако наиболее часто встречаются пятна с периодом колебаний примерно 6 сут. и амплитудой около 18°. Удивительным является то, что между периодом и амплитудой колебаний пятен выявляется в первом приближении линейная зависимость. Она возможна только в системах с неоднородными характеристиками (для систем с однородными характеристиками период и амплитуда колебаний независимы). Наличие крутильных колебаний пятен с периодом около 6 сут. находит все большее подтверждение [3–5]. Наряду с этими выявлены крутильные колебания в пятнах с перидом ~40 мин [6, 7].

Крутильные колебания в плазме с магнитным полем возможны благодаря упругим силам вмороженного магнитного поля, стремящимся возвратить смещенную массу газа в исходное положение. Вращение пятна приводит к закручиванию его магнитного поля и к раскручиванию уже закрученного в спираль, если вращение пятна противоположно закрученности спирали. Скорость закручивания (раскручивания) поля тем больше, чем с большей скоростью вращается пятно [8].

Всякое вращение магнитного поля сопровождается появлением электрического тока или изменением уже существующего тока. Здесь мы анализируем с позиций электрических токов крутильные колебания магнитных трубок и показываем возможности определения параметров магнитных трубок в подфотосферных слоях.

1. Рассмотрим магнитную силовую трубку, вышедшую частично на поверхность Солнца. Длину той части трубки, которая находится под фотосферой (от фотосферы до источника крутильных колебаний), обозначим через l. Предположим, что аксиальная составляющая напряженности поля H_l однородна по сечению. Вдоль трубки могут быть неоднородными магнитное поле и плотность плазмы. Пусть в некоторый момент времени на одном конце трубки (не важно каком) появляется возмущение в виде крутильной волны, которое приводит к закручиванию осевого поля. Возмущение закручивания (раскручивания) спирали поля будет распространяться вдоль магнитного поля со скоростью волны Альвена. Предположим, что возбуждены крутильные колебания и возмущение таково, что сечение трубки вращается как жесткое образование.

Известно [9], что если на одном конце трубки длиной l осевое магнитное поле закручивается на угол φ (в радианах) по отношению к другому концу, то создается азимутальное магнитное поле напряженностью

$$H_\varphi = r\frac{\varphi}{l} H_l. \qquad (1)$$

Присутствие этой составляющей поля означает, что электрический ток течет вдоль трубки, а однородность скручивания свидетельствует, что плотность тока постоянна по ее сечению. С другой стороны, на основании уравнения Максвелла азимутальная составляющая поля определяется через полный ток I_l, направленный вдоль трубки, в виде

$$H_\varphi = \frac{2}{cr} I_l, \tag{2}$$

где $I_l = \pi r^2 j_l$; j_l – плотность тока. Из выражений (1) и (2) мы находим, что угол поворота, отнесенный к единице длины трубки,

$$\frac{\varphi}{l} = \frac{2\pi}{c} \frac{I_l}{\Phi_l}, \tag{3}$$

$\Phi_l = \pi r^2 H_l$ – магнитный поток через сечение трубки. Хотя ток I_l меняется, как мы увидим далее, но для него справедливо условие квазистационарности. Он, как и магнитный поток, остается постоянным вдоль магнитной трубки. Поэтому φ/l – величина постоянная. Это означает, что закрученность магнитного поля не зависит от неоднородности параметров трубки по длине.

При крутильных колебаниях пятен один конец магнитной трубки, именно тот, который образует пятна на поверхности Солнца, испытывает во времени крутильные колебания с периодом T и амплитудой φ_0 [2]:

$$\varphi = \varphi_0 \sin \frac{2\pi}{T} t. \tag{4}$$

В соответствии с выражением (4) на основании (3) мы находим, что электрический ток в магнитной трубке меняется:

$$I_l = \frac{c}{2\pi} \frac{\varphi_0}{l} \Phi_l \sin \frac{2\pi}{T} t \tag{5}$$

и амплитуда тока

$$I_0 = \frac{c}{2\pi} \frac{\varphi_0}{l} \Phi_l. \tag{6}$$

2. Крутильные колебания магнитных трубок, очевидно, порождаются вихревыми движениями плазмы. Эти движения создают циркулирующий в магнитной трубке переменный по знаку и величине электрический ток. Время характерных изменений тока определяется периодом T. В то же время в обычных условиях в отсутствие вынуждающих сил время изменения тока и его магнитного поля определяется проводимостью плазмы и линейным размером данной неоднородности. Для размеров, соответствующих пятну, это время составляет многие годы [10].

В случае крутильных колебаний, как и при подъеме магнитных петель [11], происходят быстрые изменения электрических токов. По сравнению с подъемом магнитных петель, сопровождающимся только изменением величины тока, крутильные колебания силовых трубок порождают переменный и по направлению электрический ток.

Данные о полном векторе магнитного поля наряду с данными о характеристиках крутильных колебаний на поверхности Солнца (в фотосфере) расширяют возможности исследования параметров магнитных трубок в подфотосферных слоях. Действительно, на основании выражения (6) непосредственно находим длину магнитной трубки. Для лидирующего пятна группы 1961 г., детально изученной в [8, 12], $H_z \simeq 2800$ Гс; $\varphi_0 \simeq 1{,}22$ рад; $T \simeq 5{,}2 \cdot 10^5$ с; радиус пятна $R_П \simeq 10^9$ см и $I_0 \simeq 2 \cdot 10^{12}$ А. Длина магнитной трубки (от фотосферы до источника крутильных колебаний), которой было сформировано это пятно, по приведенным данным наблюдений составляет $l \simeq 9 \cdot 10^9$ см. Эта

величина оказалась близкой к той, которая была получена на основании оценок другим способом для пятен вообще [13].

Согласно исследованиям [2] для пятен период колебаний увеличивается с ростом их амплитуды. В первом приближении эта связь линейная, т.е. $T \simeq a\varphi_0$; $a = \text{const}$. При неоднородных плотности плазмы и напряженности осевой составляющей поля в магнитной трубке альвеновская скорость разная в различных местах. Расстояние, которое пройдет волна за время, равное периоду T, $l_1 = \bar{V}_A T \simeq a\varphi_0 \bar{V}_A$, где $\bar{V}_A$ – среднее значение скорости по трассе. Замена l на l_1 в выражении (6) позволяет определить среднее значение альвеновской скорости $\bar{V}_A$. Для пятна с приведенными выше параметрами $\bar{V}_A \simeq 2 \cdot 10^4$ см/с.

Итак, мы видим, что данный подход открывает новые возможности в исследованиях структуры магнитного поля и плазмы в подфотосферных слоях Солнца – в слоях, недоступных прямым наблюдениям.

29 марта 1990 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гопасюк С.И.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1981. Т. 64. С. 108–118.
2. *Гопасюк С.И., Лямова Г.В.* // Там же. 1987. Т. 77. С. 17–24.
3. *Певцов А.А., Саттаров И.С.* // Солнечные данные. 1985. № 3. С. 65–71.
4. *Наговицына Е.Ю., Наговицын Ю.А.* // Там же. 1986. № 6. С. 69–74.
5. *Гопасюк С.И., Лямова Г.В., Ханейчук В.И.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1988. Т. 79. С. 34–41.
6. *Гопасюк С.И.* // Там же. 1985. Т. 73. С. 9–15.
7. *Berton R., Royrole* // Astron. and Astrophys. 1985. Vol. 152. P. 219–228.
8. *Гопасюк С.И.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1965. Т. 33. С. 100–110.
9. *Альвен Г., Фельтхаммар К.Г.* Космическая электродинамика. М.: Мир, 1967. 260 с.
10. *Каулинг Т.* Магнитная гидродинамика. М.: Изд-во иностр. лит., 1959. 132 с.
11. *Абраменко В.И., Гопасюк С.И., Огирь М.Б.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1991. Т. 83. С. 3–11.
12. *Степанов В.Е., Гопасюк С.И.* // Там же. 1962. Т. 28. С. 194–223.
13. *Гопасюк С.И.* // Астрон. журн. 1984. Т. 61, № 1. С. 157–162.

УДК 523.98

ВСПЛЕСКИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ И МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ

И.Г. Моисеев, Н.С. Нестеров, П.С. Никитин, И.Д. Стрепка

Реализованы одновременные измерения спектра излучения активных областей на волнах 8 и 13,5 мм и поляризованной по кругу составляющей на 13,5 мм. Показано, что активная область, проходившая в феврале 1990 г. по диску Солнца, была оптически тонкой на волне около 10 мм. Напряженность магнитного поля в ней на уровне, с которого выходит 10-миллиметровое изучение, по поляризационным данным превышала 200 Гс. Четыре из пяти зарегистрированных в ней всплесков генерировались также оптически тонкими источниками с напряженностью поля в них от 330 до 1100 Гс. В одном из всплесков 26 февраля наблюдались периодические колебания интенсивности с периодом около 20 с, которые могут быть связаны с магнитогидродинамическими колебаниями в петле магнитного поля.

RADIO FLARES AND MAGNETIC FIELDS IN ACTIVE REGION DEDUCED FROM OBSERVATIONS AT MILLIMETER WAVELENGTHS, *by I.G. Moiseev, N.S. Nesterov, P.S. Nikitin and I.D. Strepka.* Simultaneous measurements of the emission spectrum of active regions at 8 and 13.5 mm and of circularly polarized component at 13 mm have been realized. It is shown, that active region appeared in February 1990 on the Sun was optically thin for wavelengths near 10 mm. As deduced from polarization measurements magnetic field at the level of 10 mm emission exceeded 200 Gs. Four flares out of 5 events registered in active region in the course of observations were generated by thermal optically thin sources having magnetic fields in the range of 330–1100 Gs. Intensity variations with period about 20 s had been observed in flare on 26 February. These variations might be caused by magneto-hydrodynamic oscillations in the flaring magnetic tube.

Введение

Для исследования механизмов солнечной активности требуются наблюдения в широком диапазоне волн в сочетании с поляризационными измерениями, дающими сведения о магнитных полях на Солнце. В этой связи приобретают важное значение поляриметрические наблюдения на волнах миллиметрового диапазона, позволяющие "видеть" наиболее глубокие слои возмущенной над активной областью солнечной атмосферы. Наличие быстропротекающих событий (всплесков) обусловливает необходимость одновременной регистрации излучения из одного направления на нескольких длинах волн. При наблюдениях на антеннах с высокой направленностью эта задача представляет определенные трудности.

В Крымской астрофизической обсерватории длительное время проводятся одновременные измерения парамеров Стокса I и V на нескольких волнах в диапазоне 1,9–3,5 см с помощью поляриметра [1], подключенного к общему для всех волн облучателю. Нами реализован прием интенсивности излучения на волнах 8,2 и 13,5 мм из одного направления с регистрацией поляризованной по кругу составляющей на волне 13,5 мм. Здесь мы описываем приемную аппаратуру и программное обеспечение, разработанные и применяемые для наблюдений Солнца на 22-метровом радиотелескопе Крымской обсерватории. С их помощью нам удалось, в частности, оценить напряженность магнитных полей в активных областях в спокойном состоянии и во время всплесков по данным измерений в феврале 1990 г.

Аппаратура и радиотелескоп

Схема подключения радиометров к облучателю показана на рис. 1. Деление мощности, поступающей от антенны, осуществляется с помощью Т-образного разветвления (волноводного тройника) в плоскости электрического вектора **E** в стандартном для волны 13,5 мм сечении волновода 11 X 5,5 мм. К одному плечу тройника подключается радиометр на волну 13,5 мм, а ко второму плечу – на волну 8,2 мм. В 8-миллиметровом тракте осуществляется плавный переход от сечения 11 X 5,5 мм к стандартному для диапазона 8 мм, а в 13-миллиметровом тракте установлен вафельный фильтр для подавления высоких частот.

Для измерения антенных температур применялись модуляционные супергетеродинные радиометры, схемы которых идентичны и подробно описаны в [2]. Флуктуационная чувствительность приемников, измеренная по перепаду температуры согласованной нагрузки, охлажденной до температуры жидкого азота, составила около 1 К при постоянной времени интегрирования 1 с. Уровень паразитного просачивания из канала I в канал V на волне 13,5 мм был около 0,2 %. Развязка между сигналами на принимаемых длинах волн оказалась лучше 30 дБ.

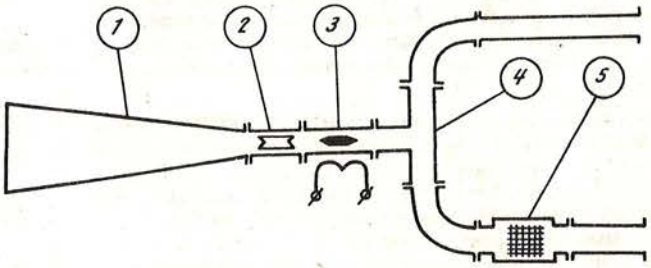


Рис. 1. Схема подключения радиометров к облучателю
1 – облучатель, *2* – четвертьволновая пластинка (λ 13,5 мм), *3* – ферритовый модулятор поляризованной составляющей излучения, *4* – волноводный тройник, *5* – вафельный фильтр

Облучение антенны осуществлялось с помощью рупорного облучателя, изготовленного для волны 13,5 мм. В результате антенна недооблучалась на волне 8 мм, поэтому размеры диаграммы направленности на обеих волнах оказались примерно одинаковыми – около 2,5 на уровне –3 дБ.

Методика наблюдений и регистрация сигнала

Процесс наблюдений и регистрации сигнала был автоматизирован при помощи измерительно-вычислительного комплекса ИВК-2 на базе ЭВМ СМ-4. Программа, написанная на Фортране и Ассемблере, позволяет наблюдателю (оператору) реализовать следующие основные режимы:

1. Сканирование вдоль диаметра Солнца. В этом режиме задаются: число сканов; длина скана в угловых минутах; позиционный угол (относительно северного края диска Солнца) диаметра, вдоль которого производится сканирование; шаг, с которым изменяется направление сканирования по позиционному углу после завершения очередного скана. Конечное значение позиционного угла определяется ЭВМ автоматически. Дискретизация выходных сигналов производится с шагом в 1/5 ширины диаграммы направленности антенны на уровне 0,5 . Этот режим позволяет исследовать области повышенной яркости у полюсов или другие особенности распределения радиояркости у лимба Солнца. С его помощью может быть снята карта распределения радиояркости в полярных координатах с началом координат в центре солнечного диска.

2. Сканирование по окружности. Этот режим полезен при исследовании неоднородностей радиояркости вблизи либма, ориентированных по радиусу, например, связанных с протуберанцами. Антенна в нем выводится на окружность заданного радиуса и движется по этой окружности, дискретно изменяя значение радиуса после окончания каждого скана в соответствии с заданными параметрами. Здесь исходными параметрами являются: число сканов, начальный и конечный позиционные углы, радиус окружности и шаг его изменения. Дискретизация сигнала в скане осуществляется с шагом в 1° по позиционному углу.

3. Режим слежения. Он необходим для длительной регистрации сигнала от избранной области, например, при слежении за локальным источником на Солнце. Здесь задается временной интервал, с которым должна производиться дискретизация сигнала. После заполнения буферной памяти данные записываются на диск.

4. Режим съема карты. В этом режиме антенна движется подобно лучу в телевизионной трубке, а ЭВМ производит сбор данных о распределении яркости по диску Солнца или телесному углу другого протяженного источника. Съем карты может быть произведен при ориентации просматриваемой площадки под любым позиционным углом.

Кроме этих основных режимов, в программе предусмотрен ряд сервисных функций. Общение наблюдателя с ЭВМ организовано в виде "меню", т.е. оператор выбирает с помощью функциональных клавиш необходимый ему режим, затем в режиме диалога задает все параметры, запрашиваемые ЭВМ. Для ускорения диалога предусмотрено присвоение значений параметров по умолчанию, если они удовлетворяют решаемой задаче. Программное обеспечение выполнено в блочном виде, поэтому с минимальной затратой труда и времени может быть составлена новая программа с несколько видоизмененными возможностями. Ранее, под временем дискретизации подразумевался интервал времени или угла между следующими друг за другом данными. В действительности ЭВМ производит съем отсчетов с максимально возможной частотой, а затем усредняет их в течение заданного отрезка времени или угла, т.е. осуществляет фильтрацию сигнала с помощью фильтра "прыгающего" среднего.

Прямая и обратная связь ЭВМ с радиометрами осуществляется через аппаратуру КАМАК. Аппаратные средства и программа позволяют вести последовательное преобразование в цифровой вид и ввод в ЭВМ сигналов от 8 каналов из 32 возможных. Номера необходимых каналов (до 8) и порядок их опроса задаются оператором при инициации программы.

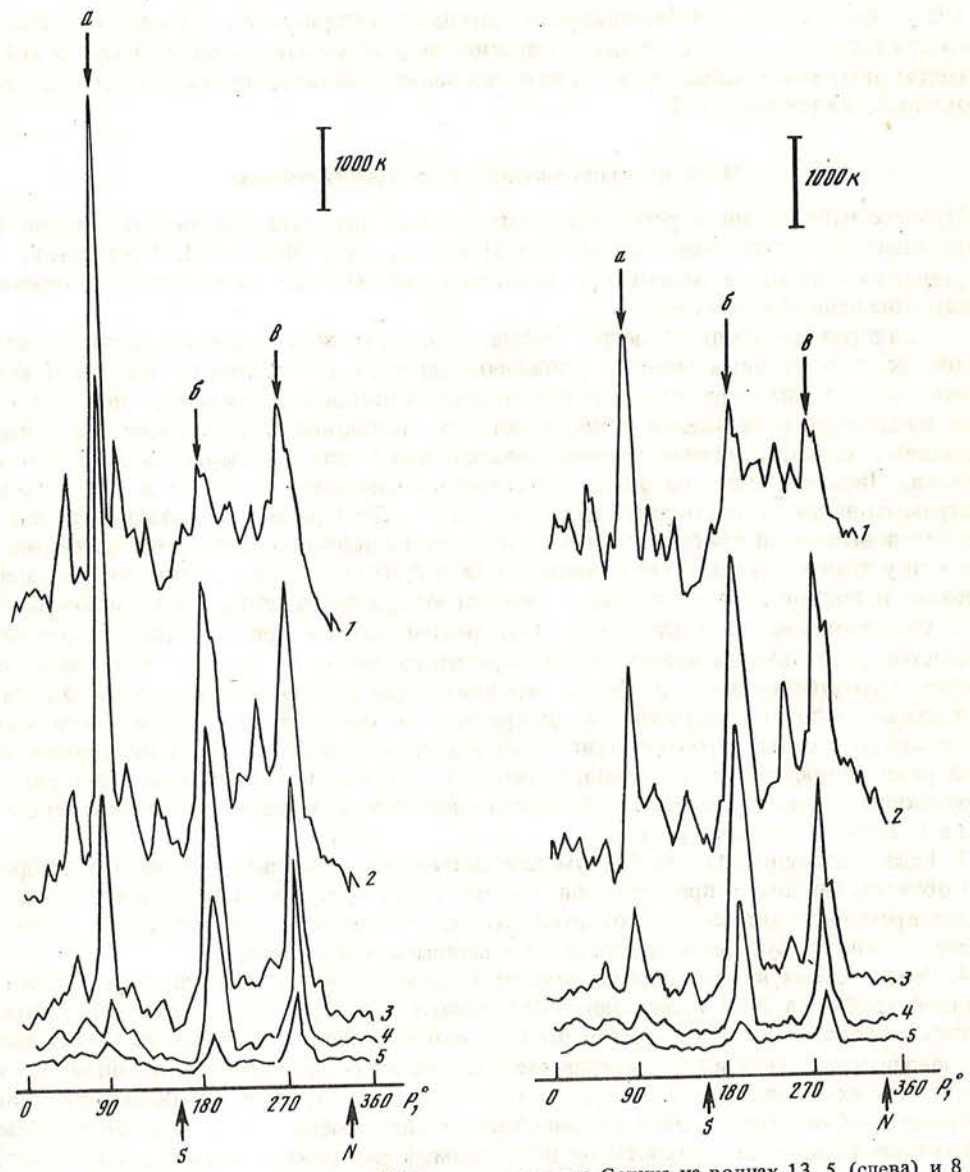


Рис. 2. Развертки сканов 18 февраля 1990 г. вокруг диска Солнца на волнах 13, 5 (слева) и 8 мм (справа) в зависимости от позиционного угла

Цифрами обозначены сканы на расстояниях от центра: *1* – 15′, *2* – 16′, *3* – 17′, *4* – 18′, *5* – 19′. Буквами со стрелками помечены: *а* – локальный источник, *б* и *в* – протуберанцы, S – положение южного полюса Солнца, N – северного. Вертикальными отрезками нанесены масштабы антенных температур

На рис. 2 в качестве примера приведена развертка кругового скана, выполненного 18 февраля 1990 г. На нем отчетливо выделяются источники излучения, связанные с активной областью и, видимо, с протуберанцами.

Результаты наблюдений и обработка

В феврале 1990 г. с помощью описанной аппаратуры и программного обеспечения были проведены наблюдения Солнца. В это время по его диску проходила довольно мощная группа пятен, которая 26 февраля находилась вблизи центрального меридиана в точке с координатами 07 W, 15 S. Структура группы показана на рис. 3, составленном по фотографии, снятой в момент $6^h 14^m$ UT. Как видно из рисунка, группа была сложной, но к 27 февраля ее структура упростилась. Полная протяженность

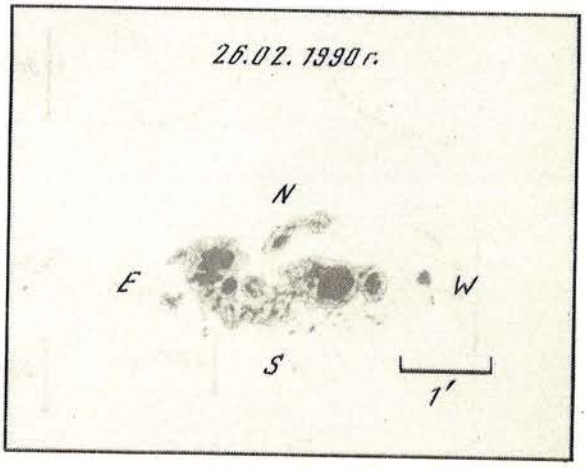


Рис. 3. Зарисовка активной области
Сплошной заливкой показаны тени пятен, штриховкой – полутени. Буквами помечены стороны света

ее была около 3′ в направлении восток–запад, что превышает размеры диаграммы направленности антенны (~2′,5) на наших волнах. Сведения о магнитных полях группы пока что (март 1990 г.) в печати отсутствуют, но согласно закону о полярности ведущее пятно должно иметь поле северной полярности, а ведомое – южной.

На рис. 4 нанесены регистрограммы скана по прямому восхождению через центр тяжести радиоизлучения активной области. Как следует из данных рис. 4, в ее радиоизлучении наблюдался широкий пьедестал, возможно связанный с флоккульным полем, и более компактная центральная часть, обусловленная излучением пятен. Поляризованный компонент излучения группы в этот день был сосредоточен в восточной части и имел левое направление вращения вектора E. Так как хвостовое пятно должно иметь поле S-полярности, знак поляризации соответствует преобладанию в излучении необыкновенной волны. Следует отметить, что, как и в предыдущих наблюдениях круговой поляризации излучения активных областей на миллиметровых волнах [3–5], в данном случае мы регистрировали одновременно поляризацию обоих знаков. Левополяризованный компонент при этом всегда располагался в восточной части области, т.е. был связан с хвостовой структурой области, а правополяризованный – в западной части, т.е. над ведущим пятном с предполагаемой N-полярностью. Относительная интенсивность этих компонентов изменялась в зависимости от гелиодолготы группы: к востоку от центрального меридиана более интенсивным был компонент с правой поляризацией, а после прохождения группой центрального меридиана стал преобладать левополяризованный. Аналогичное поведение поляризованного по кругу излучения локальных источников отмечалось и обсуждалось в [3–5]: оно может быть обусловлено мультиполярной структурой группы и наклоном магнитных силовых линий на 10–30° от ее центра к периферии в пятнах с разной полярностью поля.

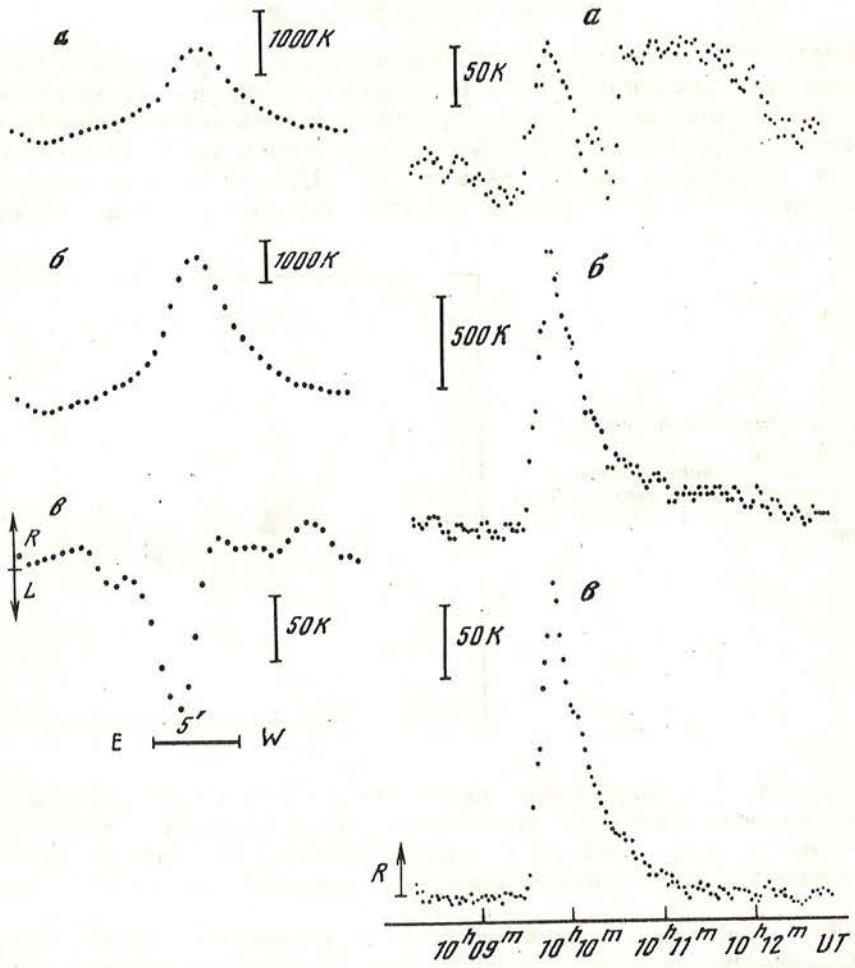


Рис. 4. Регистрограммы сканов через активную область по прямому восхождению 26 февраля в $7^h\ 20^m$ UT

а – интенсивность на волне 8 мм, *б* – то же, на волне 13 мм, *в* – поляризованная по кругу составляющая V (13). Вертикальные отрезки – масштабы антенных температур в соответствующих каналах, горизонтальный отрезок – угловой масштаб. Для параметра V стрелками даны знаки правой (R) и левой (L) поляризации

Рис. 5. Регистрограммы всплеска 24 февраля

Обозначения те же, что и на рис. 4, вместо угловой шкалы – временная

В процессе слежения за максимумом интенсивности излучения области 24–27 февраля были зарегистрированы несколько всплесков. Подавляющее большинство из них имело простую форму и длительность в несколько десятков секунд. На рис. 5 показан один из таких всплесков с фронтом нарастания интенсивности длительностью около 20 с во всех каналах: I (8), I (13) и V (13). Интересной особенностью этого всплеска является большое различие в амплитудах на близких волнах: амплитуда на 13 мм больше амплитуды на 8 мм примерно в 10 раз. Степень поляризации его излучения достигала 12%. После импульсной фазы всплеска, имевшей, видимо, нетепловой механизм излучения, наблюдалась тепловая фаза с примерно одинаковой амплитудой на обеих волнах. Рис. 6 иллюстрирует событие типа "медленное нарастание – медленное падение". Следует отметить, что, когда область находилась в восточной части солнечного диска, всплески в ней были поляризованы по правому кругу, а после прохож-

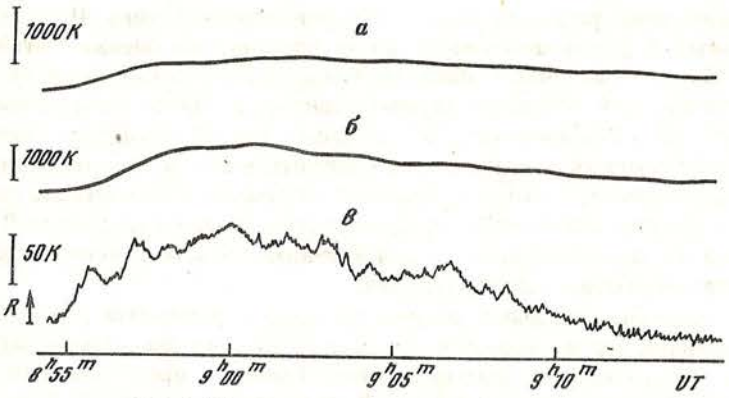


Рис. 6. Регистрограммы всплеска 25 февраля
Обозначения те же, что и на рис. 5

дения ею центрального меридиана поляризация всплесков сменила знак. Следовательно, знак поляризации всплесков соответствовал знаку поляризации доминирующего в области поляризованного компонента.

Простая форма и небольшая амплитуда большинства зарегистрированных всплесков позволяют отнести их к числу элементарных и считать, что события, вызвавшие их, затрагивали небольшую часть активной области, возможно, только отдельные арки (петли) магнитного поля. Такая модель предопределяет методику обработки и, в значительной степени, интерпретацию совокупности данных. Ниже мы обсудим методику применительно к локальным источникам и всплескам.

Поляризационные наблюдения активных областей и всплесков позволяют оценить напряженность магнитного поля вблизи уровня зарождения излучения, если данные указывают на его тепловой характер. Для этого необходимо знать степень круговой поляризации $p_c = V/I$ и спектральный индекс излучения по яркостной температуре T_b $\alpha = d\ln T_b / d\ln\lambda$, где λ – длина волны. Тогда напряженность магнитного поля для теплового источника может быть найдена из выражения [6]

$$B = 107\, p_c (\alpha\lambda |\cos\beta|)^{-1} \text{ (Гс)}, \qquad (1)$$

где λ измеряется в метрах, а β – угол между направлением магнитного поля и лучом зрения.

Спектральный индекс α в дальнейшем мы будем рассчитывать по антенным, а не по яркостным, температурам. Такое замещение возможно в нашем случае, так как угловое разрешение антенны было одинаковым на обеих волнах. Поэтому эффекты сглаживания и, следовательно, коэффициенты пропорциональности между антенными и яркостными температурами также должны быть примерно одинаковыми как для локальных источников, так и для всплесковых компонентов.

Степень круговой поляризации излучения всплеска или активной области $p_c = V/I = (R - L)/(R + L)$, где R и L – право- и левополяризованные составляющие излучения, мы определяли как отношение амплитуды сигнала в канале V к максимальному значению антенной температуры в канале I. В наших наблюдениях, как показывает рис. 3, отдельные пятна области не разрешались. Поэтому магнитное поле, определяемое из выражения (1) по нашим данным, будет представлять усредненное значение. Во-вторых, телесные углы, стягиваемые поляризованными компонентами, меньше телесного угла всего источника. Мы определяли степень поляризации как отношение антенных температур в каналах V и I без учета этого фактора, следовательно, занижали степень поляризации по отношению к реальной. Наконец, в диаграмму направленности антенны попадают участки с разными знаками поляризации, что приводит к дополни-

тельному уменьшению регистрируемого поляризованного потока. Поэтому при интерпретации данных в дальнейшем необходимо помнить, что оценки магнитного поля, получаемые нами для активных областей, представляют скорее всего нижний предел истинных величин. Для всплесковых компонентов, в случае справедливости нашего предположения об их локализации в отдельных петлях магнитного поля активной области, следует ожидать совпадения их телесных углов в поляризованном и неполяризованном излучении, поэтому и степень поляризации и значения магнитных полей, определенные для них таким образом, должны быть близки к истинным. В случае мощных всплесков возмущается, видимо, вся активная область, и источник всплеска становится неотделим от локального источника.

В табл. 1 приведены сведения, полученные нами в результате расчетов по данным наблюдений области вне всплесков в феврале 1990 г. Антенные температуры области калибровались по сигналу от невозмущенного Солнца в предположении, что яркостная температура Солнца составляет $8 \cdot 10^3$ К на волне 8 мм и $9 \cdot 10^3$ К на 13 мм. Этот метод калибровки автоматически учитывает поглощение излучения в атмосфере Земли.

Таблица 1

Момент наблюдений UT		T_a (13), 10^3 К	p_c, 10^{-2}	T_a (8), 10^3 К	α	B, Гс
число	время					
24	8^h-52^m	4,9	1,6R	1,8	1,9	70
	10–10	4,3	2,0R	1,5	2,0	80
25	8–56	4,0	2,0R	1,4	2,0	80
26	7–20	3,4	2,6L	1,4	1,7	120
	8–49	3,7	2,6L	1,5	1,8	115

Обозначения: T_a (13) – пиковая антенная температура области на волне 13,5 мм; p_c – степень поляризации, рассчитанная, как описано выше, буквами R, L помечен знак поляризации преобладающего компонента в группе, к которому относятся поляризационные данные: R – правополяризованный компонент, L – левополяризованный; T_a (S) – антенная температура области на волне 8 мм; индекс $\alpha = \Delta \ln T_a / \Delta \ln \lambda = \Delta \ln T_a / 0{,}51$; B – напряженность магнитного поля согласно выражению (1).

В табл. 2 сведены аналогичные данные для всплесков, зарегистрированных нами в этой активной области.

Таблица 2

Момент наблюдений, UT		T_a (13), К	p_c, 10^{-2}	T_a (8), К	α	B, Гс
24.02.90	8^h-52^m	410	31,2R	120	2,4	1100
	10 – 10	1970	11,7R	130	5,4	170
25.02.90	8 – 56	1345	7,8R	500	1,9	330
26.02.90	7 – 20	820	10,0L	310	1,9	420
	8 – 49	330	22,8L	100	2,2	815

Обсуждение результатов

Из данных столбца 6 табл. 1 следует, что антенные температуры активной области удовлетворяют в диапазоне 8–13 мм соотношению $T_a \sim \lambda^2$. Следовательно, по своим параметрам она была близка к тепловому оптически тонкому источнику, так как и яркостные температуры ее должны были соответствовать этой закономерности. Наши затменные наблюдения [7, 8] показали, что на волне 13,5 мм локальные источники состоят из отдельных компонентов, совпадающих по положению и угловым размерам с пятнами в группах и имеющих яркостные температуры порядка 10^5 К. Корональной кон-

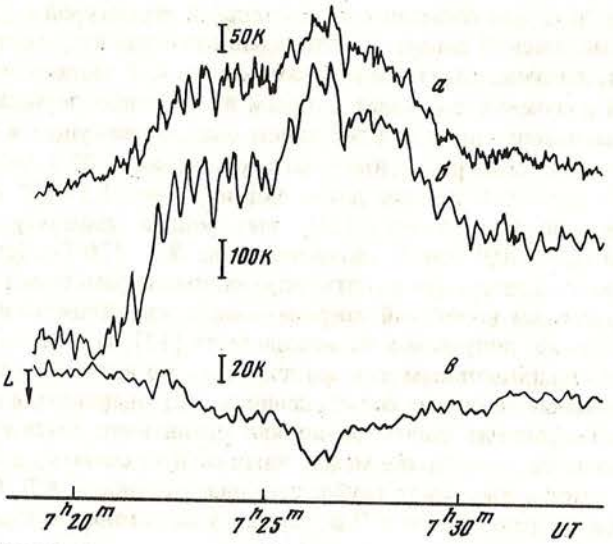


Рис. 7. Регистрограммы всплеска 26 февраля с колебательной структурой
Обозначения те же, что и на рис. 5

денсации над пятнами достаточно иметь оптическую толщу около 0,1 для того, чтобы обеспечить наблюдавшиеся яркостные температуры.

Полученные нами данные позволяют сделать вывод о том, что над наблюдавшейся группой пятен на уровне, вносящем максимальный вклад в излучение на волне 13,5 мм, магнитное поле имеет напряженность больше 100 Гс. Если учесть, что телесный угол поляризованного компонента раза в 2 меньше телесного угла активной области и в соответствии с этим локальная степень поляризации в 2 раза выше указанной в табл. 1 и применявшейся при расчете, этот нижний предел должен быть удвоен: $B > 200$ Гс. Он существенно ниже значений, определяемых по данным о частоте перегиба в спектре локальных источников на сантиметровых волнах ($2 \cdot 10^3$ Гс; см., например [9, 10]). Детальное сравнение здесь проводить преждевременно, так как нами и в [9, 10] наблюдались разные активные области.

Спектральные индексы радиоизлучения всплесков также были близки к значению, характерному для оптически тонких тепловых источников $\alpha \approx 2$. Событие 24 февраля в $10^h 10^m$ мы исключаем из рассмотрения, так как его спектр был крутой ($\alpha = 5{,}4$) и его излучение было, по-видимому, нетепловым. Значения магнитных полей, рассчитанные по параметрам всплесков, больше, чем для активной области в спокойном состоянии, и расположены в интервале 330–1100 Гс. Как отмечалось выше, это соотношение может быть связано с эффектом неполного разрешения активной области диаграммой направленности антенны, в то время как источники всплесков не разрешались. Явления, вызывавшие события в радиодиапазоне, происходили, видимо, в областях с преимущественным униполярным магнитным полем. В противном случае произошла бы компенсация поляризации областей с различными знаками и результирующая степень не должна была бы быть высокой, как в представленных нами случаях (до 31%, см. табл. 2). Альтернативной здесь являются, видимо, геометрические эффекты, когда участки с одной полярностью поля видны на миллиметровых волнах лучше, чем участки с противоположной полярностью. С этим эффектом связана и зависимость степени поляризации от угла между лучом зрения и направлением вектора магнитного поля.

Интересной особенностью всплесков, происходивших в активной области, была почти одинаковая их длительность от начала до максимума излучения (около 20 с). Даже во всплеске со сложной структурой, который изображен на рис. 7, видны колебания

с периодом около 20 с. Для событий с колебательной структурой в [11, 12] предложены модель и математический аппарат, позволяющие оценить напряженность магнитного поля и параметры плазмы, ответственной за вспышку. В модели предположено, что период колебаний излучения совпадает с одним из основных периодов альвеновского колебания арки магнитного поля под действием быстро движущейся плотной эруптивной плазмы. Для всплеска на рис. 7, имеющего период около 20 с, добротность ~7, глубину модуляции около 0,3, приняв длину петли равной $1{,}5 \cdot 10^8$ см, мы получили в результате расчета по формулам из [12]: электронная температура $T_e \sim 2 \cdot 10^7$ К, плотность плазмы $N_e \sim 10^{11}$ см$^{-3}$, магнитное поле $B \sim 110$ Гс. Температура и плотность плазмы хорошо согласуются с соответствующими параметрами ее, оцененными в [12] по характеристикам колебаний сантиметрового излучения во всплеске 2 ноября 1988 г. Магнитное поле, полученное по методике из [12], почти в 4 раза ниже рассчитанного нами по поляризационным данным для этого же всплеска (см. табл. 2). Но если принять во внимание то, что из соотношений в [12] оценивается поле, усредненное по петле, а поляризационные данные позволяют оценить его почти у основания петли, т.е. там, где оно сильнее, то согласие между ними следует считать удовлетворительным.

В заключение авторы выражают глубокую признательность А.В. Степанову за плодотворное обсуждение результатов и П.В. Матвееву за помощь в подготовке рисунков для рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Цветков Л.И.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1974. Т. 50. С. 189–191.
2. *Ефанов В.А.* // Там же. 1974. Т. 50. С. 183–188.
3. *Ефанов В.А., Моисеев И.Г.* // Там же. 1973. Т. 47. С. 58–63.
4. *Моисеев И.Г.* // Там же. 1977. Т. 56. С. 100–104.
5. *Домнин С.Л., Ефанов В.А., Корсенский В.А.* и др. // Там же. 1980. Т. 62. С. 176–182.
6. *Bogod V.M., Gelfreikh G.B.* // Solar Phys. 1980. Vol. 67, N 1. P. 29–46.
7. *Домнин С.Л., Ефанов В.А., Корсенский В.А.* и др. // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1978. Т. 58. С. 35–39.
8. *Ефанов В.А., Моисеев И.Г., Нестеров Н.С.* // Там же. 1985. Т. 71. С. 100–103.
9. *Богод В.М., Вяльшин Г.Ф., Гельфрейх Г.Б., Петрова Н.С.* // Солнечные данные. 1982. № 1. С. 104–109.
10. *Абрамов-Максимов В.Е., Гельфрейх Г.Б.* // Письма в АЖ. 1983. Т. 9, № 4. С. 244–249.
11. *Зайцев В.В., Степанов А.В.* // Там же. 1989. Т. 15, № 2. С. 154–160.
12. *Гранат А.Д., Степанов А.В., Цветков Л.И.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1991. Т. 83. С. 53–60.

УДК 523.98

МОДЕЛИ ХРОМОСФЕРНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ
I. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ОДНОВРЕМЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЛИНИЯХ H_α и He I λ10830 Å

М.Б. Огирь, Н.Н. Степанян, А.В. Шумко

Анализируется наблюдательный материал, полученный одновременно на двух телескопах: фотометрические карты, построенные по H_α-снимкам, и карты тех же участков Солнца, построенные в результате фотоэлектрических измерений в центре линии He I в 10830 Å и в соседнем непрерывном спектре. Качество полученных данных определяется наблюдениями в He I, для которых пространственное разрешение равно 2 X 3″, временнóе разрешение – 5–10 мин, а фотометрическая точность 0,2–0,5%. Показано, что такие наблюдения позволяют определить спектральные характеристики, необходимые для построения моделей активных образований.

THE MODELS OF CHROMOSPHERIC FORMATIONS. I. THE PROCESSING METHOD OF SIMULTANEOUS OBSERVATIONS IN H_α AND He I λ 10830 Å *by M.B. Ogir, N.N. Stepanian and A.V. Shumko.* The observational data obtained simultaneously on two telescops: the photometrical maps, constructed by H_α-pictures, and the maps of the same regions of the Sun constructed by photoelectrical

measurements in He I λ 10830 Å and in adjacent continuum are analyzed. The quality of obtained data is determined by the observations in He I with spatial resolution 2″x3″, time resolution 5–10 min and photometrical accuracy 0.2–0.5%. In is shown that these data allow us to determine spectral characteristics necessary for active formations models.

Изучение физических условий в активных образованиях по всей высоте хромосферы продолжает оставаться актуальной задачей физики Солнца. Особенно это относится к верхним слоям хромосферы, сведения о которых при наземных наблюдениях мы можем почерпнуть, в частности, из наблюдений в линии He λ10830 Å. Если выполнить сопоставление одновременных наблюдений в He и H_α, то будет получена возможность не только расширить интервал высот, для которых могут быть определены физические условия, но и внести бо́льшую ясность в отождествление активных образований (флоккулов, волокон, вспышек), а также деталей мелкомасштабных и крупномасштабных фоновых структур.

Для решения этой задачи в Крымской астрофизической обсерватории в течение двух наблюдательных сезонов (июнь–сентябрь 1988 г. и июль–август 1989 г.) проводились совместные наблюдения на двух телескопах.

На КГ-1 велись фотографические наблюдения поверхности Солнца в линии H_α, а на БСТ-2 фотоэлектрическим методом получались карты участков Солнца в центре линии He 1 λ10830 Å и в соседнем непрерывном спектре. Получен большой наблюдательный материал по различным активным образованиям на Солнце.

1. Получение наблюдательного материала и методика его обработки

1.1. Фотографии в H_α. Наблюдения в свете линии H_α проводились на внезатменном коронографе КГ-1 с помощью интерференционно-поляризационного фильтра "Halle" с полосой пропускания 0,5 Å. Использовалась система, дающая изображение Солнца диаметром 12 см с угловым разрешением на пленке не хуже 1″ [1]. Применялись изопанхроматические пленки тип-38, тип-42, тип-17.

Фотометрическая обработка кадров H_α-фильма проводилась с помощью автоматизированного комплекса, основу которого составляет микрофотометр (МФ) GIII фирмы "Карл Цейсс" с ФЭУ и мини-ЭВМ "Искра-1256". МФ оснащен шаговым двигателем с шагом 8 мкм. Ширина щели МФ соответствует 0,73″ на снимке Солнца. Измерительный комплекс оснащен программами обработки фотометрического материала, описанными в [2]. Они позволяют снимать информацию как в плотностях, так и в интенсивностях и записывать ее на магнитную ленту. Мы измеряли интенсивности в выбранных точках по H_α-снимкам и сравнивали их с интенсивностью в тех же точках на картах, построенных по записям в линии He1λ10830 Å. В области каждой выбранной точки на H_α-снимке записывался участок 0,75 × 1,8″. Затем бралось среднее значение интенсив-

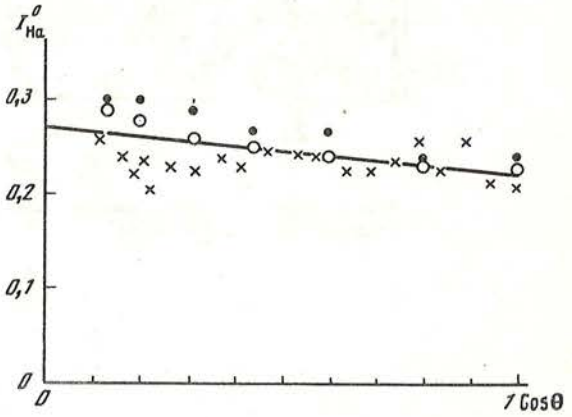


Рис. 1. Изменение остаточной интенсивности H_α в невозмущенной области с расстоянием от центра диска

θ – угол между лучом зрения и нормалью к поверхности Солнца; $\cos\theta = 1$ соответствует центру Солнца, $\cos\theta = 0$ – лимбу. Точки – данные [3] для $\Delta\lambda = -0{,}26$ Å, кружки – данные [3] для $\Delta\lambda = 0{,}24$ Å, крестики – данные [4] для $\Delta\lambda = 0{,}2$ Å

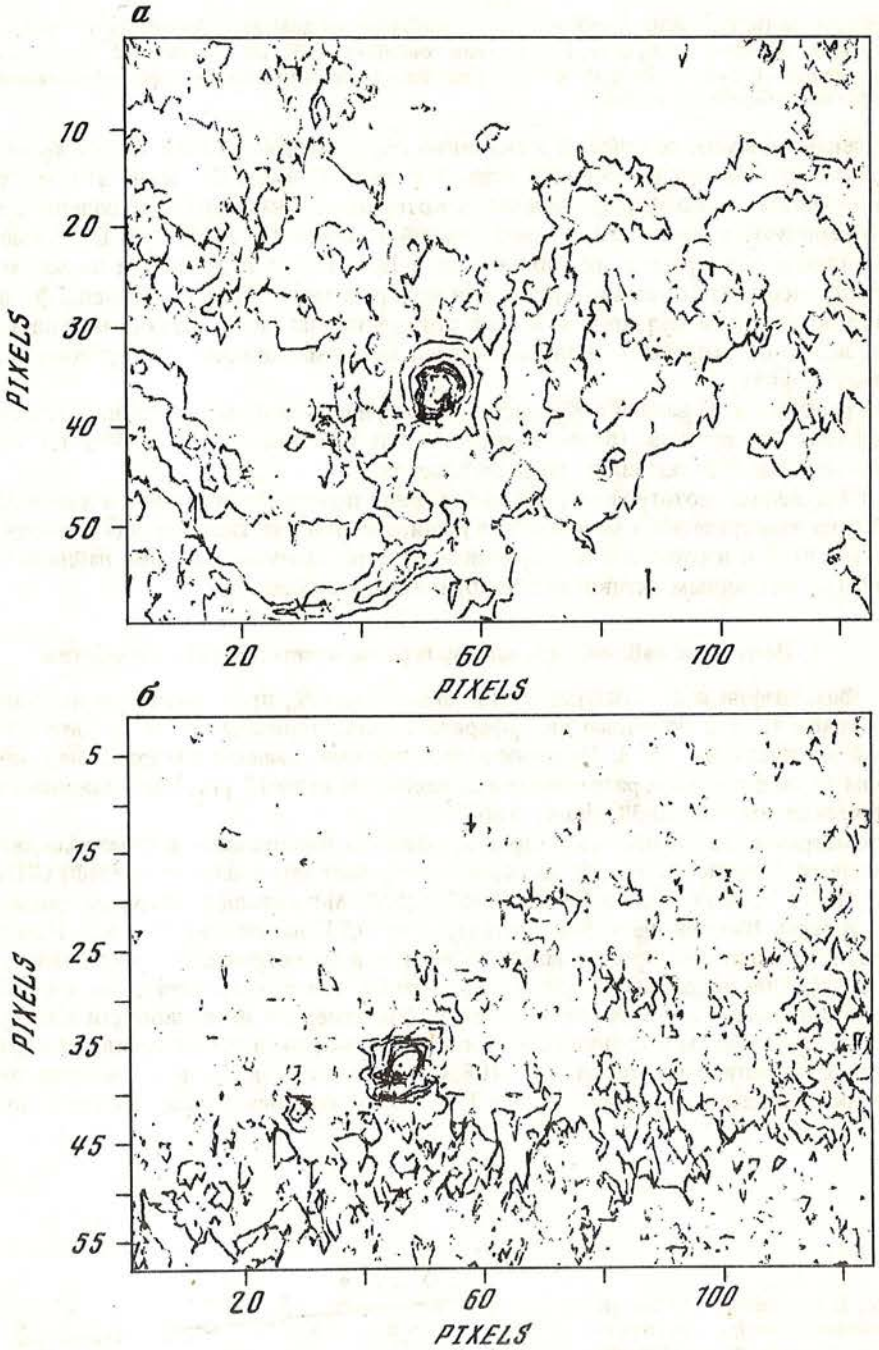


Рис. 2. Карта активной области в He I λ 10830 Å (*а*) и в континууме λ 10837 Å (*б*)

ности на этом участке. Среднеквадратичная погрешность одного иизмерения 0,2–0,4%. Для того, чтобы отнести измерения интенсивности к соседней невозмущенной хромосфере, на каждом кадре делалось по 2–3 разреза вдоль суточной параллели, по которым можно было установить ход невозмущенной хромосферы в пределах кадра. Для нормировки интенсивностей к континууму учитывалось изменение профиля линии H_α по диску Солнца. Измерения этой величины, выполненные разными авторами [3, 4], довольно хорошо согласуются между собой (рис. 1). Использовав средний ход изменения линии H_α от центра к краю на $\Delta\lambda = 0{,}25$ Å (прямая линия на рис. 1), а также измеренный ход интенсивности по кадру, мы осуществляли нормировку к континууму среднего значения интенсивности в каждой выбранной точке.

1.2. Карты в линии He1 λ10830 Å. Спектральные наблюдения в линии гелия и в соседнем непрерывном спектре проводились на башенном солнечном телескопе БСТ-2 с дифракционной решеткой 600 штр./мм. Наблюдения велись в 1 порядке при дисперсии 1,5 Å/мм. Диаметр изображения Солнца на щели спектрографа 20 см. В качестве приемника излучения использовался универсальный спектрофотометр (УСФ) на базе ФЭУ-83, описанный в [5]. В 1988 г. в нем была изменена система охлаждения ФЭУ и изготовлен новый термостат для трех ФЭУ. Это позволило улучшить стабильность работы УСФ по сравнению с первым вариантом прибора.

Для получения карты участка Солнца в длине волны λ УСФ выставлялся в нужную точку спектра, после чего изображение Солнца сканировалось на щели спектрографа. Управление телескопом, фотометром, съемом и записью информации происходит с помощью УВК КАМАК–МЕРА-60. Обработка полученной информации ведется на ЕС-1033. Созданный пакет программ позволяет переносить информацию с гибких дисков на твердый диск ЕС-1033, строить карты, преобразовывать их, проводить разного рода статистическую обработку.

В настоящее время мы имеем около 500 карт отдельных активных областей и больших участков Солнца, полученный в линии поглощения He1 λ10830 Å и в соседнем непрерывном спектре. Карты активных областей, как правило, получались с пространственным разрешением 2 × 3″. Время записи одной карты в этом случае от 2 до 10 мин в зависимости от размера активной области. Пример карт одной активной области в линии гелия и соседнем континууме дан на рис. 2.

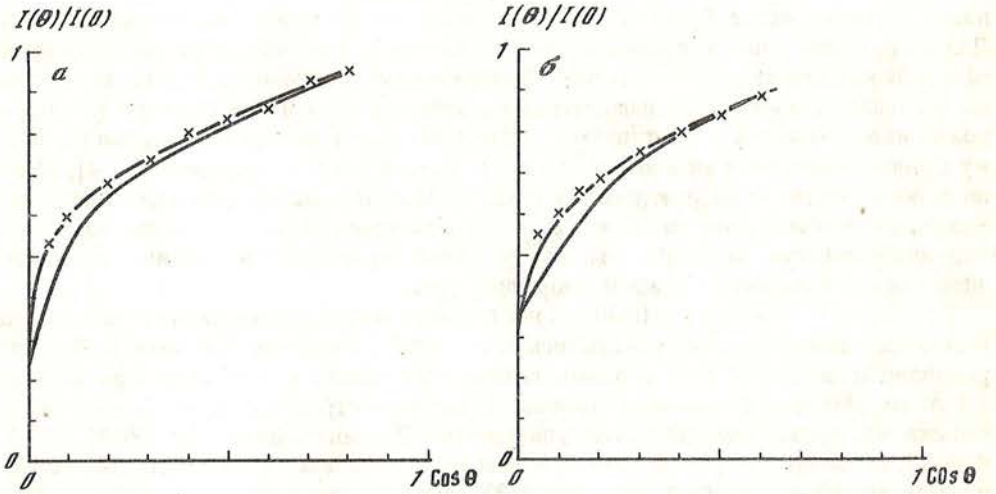
О точности получаемых карт можно судить по совмещению нескольких карт одного и того же участка Солнца, получаемых друг за другом с интервалом в несколько минут. При совмещении карт определялось по всей карте среднее значение среднеквадратичного отклонения отдельных значений интенсивности от среднего в каждой точке. Эта величина меняется от 0,5 до 0,2% средней интенсивности на карте при совмещении от 2 до 5 карт.

При оценке яркости отдельных солнечных образований в гелии сначала необходимо определить интенсивность невозмущенного Солнца и ее изменение с расстоянием от центра диска, т.е. потемнение к краю. На рис. 3, *а, б* приведены два примера изменения интенсивности невозмущенного диска в континууме (верхние кривые *1*) и в линии He (нижние кривые *2*). Отношение этих кривых дает изменение центр–край центральной интенсивности линии He (рис. 4). Как видно, наши результаты для континуума хорошо согласуются с тем, что было получено ранее другими авторами. Сравнение рис. 4 с данными [7] также показывает хорошее согласие результатов по ходу глубины линии от центра к краю.

Для определения рассеянного света использовались карты края Солнца, по которым определяется ход интенсивности с расстоянием от центра диска. По методу Мальтби [8] коэффициент рассеяния α для пятен с полутенью определяется по формуле

$$\alpha = I_{4r_n}/I_{30''},$$

где I_{4r_n} – интенсивность за краем диска на расстоянии четырех радиусов пятна, а $I_{30''}$ –



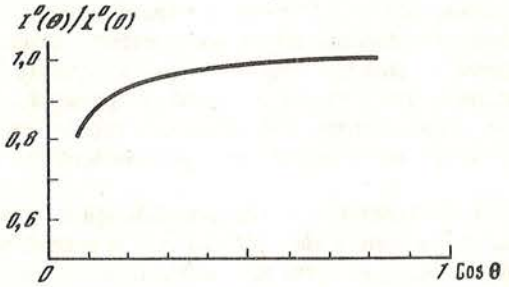


Рис. 3. Изменение центр–край интенсивности ИК-континуума (верхние кривые) и центра линии He (нижние кривые)
Крестики – данные [6] для континуума λ 10800 Å

Рис. 4. Изменение центр–край центральной интенсивности линии He

интенсивность диска Солнца на расстоянии 30″ от края. В качестве примера в табл. 1 даны значения α для пятен разной величины, полученные по наблюдениям трех дней. α (He) относится к рассеянию в линии He, а α (*IRC*) – к континууму λ10837 Å.

Таблица 1

$r_п$	5″	10″	15″	$r_п$	5″	10″	15″
α_1 (He)	0,3	0,18	0,12	α_1 (*IRC*)	0,24	0,09	0,05
α_2 (He)	0,26	0,10	0,03	α_2 (*IRC*)	0,16	0,07	0,03
α_3 (He)	0,16	0,08	0,02	α_3 (*IRC*)	0,10	0,04	0,005

2. Первые результаты обработки наблюдательного материала

Наблюдаемые интенсивности в длине волны λ ($I_{набл}$) выражались в единицах яркости невозмущенного диска ($I_{нев}$) в той же λ. $I_{нев}$ получалось интерполяцией по невозмущенным участкам карты с учетом потемнения к краю. Иначе говоря, мы получали контраст в каждой точке карты.

$K = I_{набл}/I_{нев}$.

Рассмотрим сначала распределение значений K для центра линии He по частоте встречаемости на карте активной области, не привязываясь к конкретным образованиям. На рис. 5 приведена гистограмма, полученная по карте в He для одной активной облас-

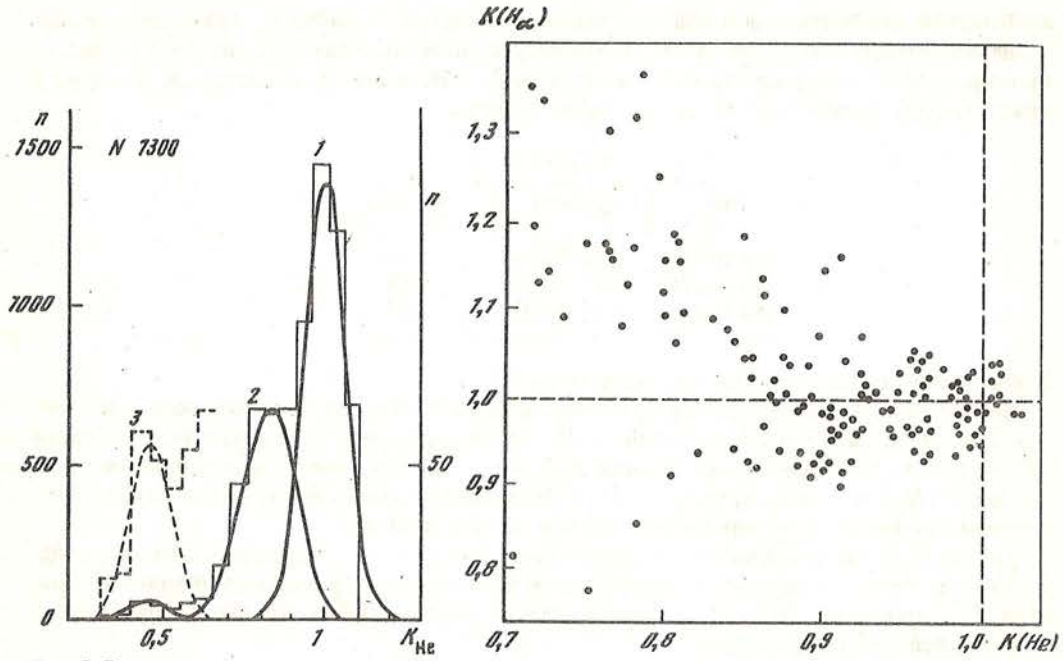


Рис. 5. Распределение контраста в линии He в активной области

Рис. 6. Сопоставление наблюдений флоккулов и волокон в H_α и в He в одной активной области

ти. (n – число точек на карте со значением K в данном интервале, N – общее число точек на карте). На гистограмме видны три четких максимума. Анализ интенсивностей различных образований на этой карте позволяет отнести каждый максимум к определенным классам объектов.

Самый высокий максимум с центром при $K = 1$ относится к невозмущенному Солнцу. Он может быть представлен нормальным распределением с $\sigma = 0{,}064$. Второй максимум при значении $K = 0{,}8$ и $\sigma = 0{,}082$ нормального распределения относится к образованиям типа волокон, полутеней и флоккулов. Третий максимум при $K = 0{,}43$ и $\sigma = 0{,}065$ относится к теням пятен. Величины σ в каждом максимуме существенно больше погрешности измерений, найденной выше. Отсюда можно заключить, что мы имеем дело с реальными колебаниями яркости, определяемыми вариациями физических условий в отдельных структурах невозмущенного Солнца и в различных активных образованиях.

Перейдем теперь к рассмотрению спектральных характеристик, которые мы можем получить из одновременных наблюдений в H_α и He.

Для изучения отдельных активных образований нами используется обычно одна карта в ИК-континууме, несколько последовательных карт в линии He и снимки в H_α, перекрывающие весь интервал наблюдений в гелии. Для пятен из этих наблюдений получаются следующие исходные величины:

$$I_{\text{п}}\,(\text{He}),\, I_{\text{нев}}\,(\text{He}),\, I_{\text{п}}\,(IRC),\, I_{\text{нев}}\,(IRC),\, I_{\text{п}}\,(H_\alpha),\, I_{\text{нев}}\,(H_\alpha).$$

Обозначения в скобках (He, H_α, IRC) соответствуют наблюдениям в линиях He1 λ10830, H_α и в ИК-континууме вблизи линии He. Аналогичные измерения получаются для других образований (волокон, флоккулов, вспышек).

Для пятен от этих величин можно перейти к контрастам K в He, H_α и ИК-континууме, а также к центральным остаточным интенсивностям I_0 в линии He. Для волокон, флоккулов и вспышек в предположении, что их континуум в области H_α не отличается от

континуума невозмущенной области, можно получить I_0 в линии H_α (взяв среднее значение остаточной интенсивности H_α в невозмущенных областях (см. рис. 1). В качестве примера в табл. 2 приведены значения контраста в He и в H_α для трех пятен. В скобках указаны контрасты в He с учетом рассеянного света.

Таблица 2

$K_п$ (He)	$K_п$ (*IRC*)	$K_п$ (H_α)
0,40 (0,33)	0,38 (0,33)	0,32
0,48 (0,37)	0,37 (0,31)	0,80
0,50 (0,35)	0,43 (0,33)	0,37

Эти величины согласуются с результатами [8–11].

На рис. 6 представлен пример сравнения контраста флоккулов и волокон, измеренного в H_α и He. Для образований в H_α более ярких, чем невозмущенные области ($K(H_\alpha) > 1$), намечается связь роста эмиссии в H_α с увеличением поглощения в He.

При $K(H_\alpha) \leqslant 1$ связь свечения в H_α и He почти не прослеживается. Несколько точек в левом нижнем углу графика относятся к мощному волокну.

Таким образом, выполненное исследование показало, что имеющийся у нас наблюдательный материал позволяет получить набор характеристик различных активных образований в атмосфере Солнца, который в дальнейшем может быть применен при построении моделей этих образований.

Выражаем искреннюю благодарность З.А. Щербаковой за участие в наблюдениях, И.А. Митрофановой за обработку наблюдений на ЕС-1033 и Г.А. Сунице за обеспечение стабильной работы аппаратуры.

Апрель 1990 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бабин А.Н.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1974. Т. 52. С. 88–92.
2. *Маланушенко В.И., Щербаков А.Г., Шутеев В.И.* // Там же. 1985. Т. 77. С. 226–231.
3. *De Jager C.* // Rech. astron. obs. Utrecht. 1952. Vol. 13, pt 1. P. 4–11.
4. *Ten Brugencate P., Gollonow H., Gunther S.* et al. // Ztschr. Astrophys. 1949. Bd. 26. S. 51–78.
5. *Дидковский Л.В., Степанян Н.Н., Суница Г.А., Щербакова З.А.* // Солнечные магнитные поля и корона. Новосибирск: Наука, 1989. Т. 2. С. 386–389.
6. *Аллен К.У.* // Астрофизические величины. М.: Мир, 1977. С. 243.
7. *Щербаков А.Г., Щербакова З.А.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1983. Т. 68. С. 39–56.
8. *Maltby P.* // Solar Phys. 1971. Vol. 18. P. 3.
9. *Ekman G.E., Maltby P.* // Ibid. 1974. Vol. 35. P. 317.
10. *Wittmann A.* // Ibid. 1972. Vol. 23. P. 294.
11. *Henoux J.C.* // Ann. Astrophys. 1968. Vol. 2. P. 288.

УДК 524.33

О СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ ЗВЕЗД ТИПА β Cep: γPeg и 12 Lac

А.Е. Тарасов, Г.А. Гарбузов*

Выполнены спектральные патрульные наблюдения (с высоким разрешением и большим отношением сигнал/шум γPeg в течение 2^h, 5 и 12 Lac в течение 5^h в области линии He I 6678. У γPeg отсутствует какая-либо переменность профиля, кроме лучевой скорости с амплитудой $2K = 7{,}5$ км/с, что вызвано радиальными пульсациями звезды. Переменность спектральной линии He I у 12 Lac указывает на присутствие нерадиальных колебаний большой амплитуды и не противоречит модели, ранее предложенной для этой звезды Смитом [8].

*Одесский государственный университет.

ON SPECTRAL VARIABILITY OF βCep TYPE STARS γPeg AND 12 Lac, *by A.E. Tarasov and G.A. Garbusov.* Patrol spectral observations (with high resolution and signal-to-noise-ratio) were carried out for γ Peg during 2.5^h and 12 Lac during 5^h in the region of HeI 6678 line. Except for radial velocity variations with amplitude $2K$ = 7.5 km/s no other line profile variability has been detected for γ Peg, the former been caused by radial pulsations of the star. The variability of HeI spectral line profile of 12 Lac points out to the presence of non-radial oscillations with large amplitude, being in agreement with the model suggested earlier by Smith [9].

В последнее десятилетие, благодаря интенсивному изучению микропеременности горячих звезд, стало очевидно, что феномен нерадиальных пульсаций характерен для большого числа объектов спектральных классов от O до F. Впервые гипотеза нерадиальных колебаний была применена для объяснения переменности звезд типа β Cep в 1951 г. [1]. На диаграмме Гершпрунга–Рассела они группируются в узкой полосе, в области спектральных классов B0,5-B2 и классов светимости IV–III. Это горячие, массивные (M = 10–20 $M_\odot$) звезды, с периодами пульсаций от 3 до 6 ч и амплитудой колебания блеска $0{,}01-0{,}3^m$ в полосе V.

Звезды типа β Cep обладают сложным характером переменности блеска, лучевой скорости и профилей спектральных линий. Это обусловлено присутствием разнообразных колебательных движений, как радиальных, так и нерадиальных, и их взаимодействием. Несмотря на очевидный прогресс в их исследовании, механизм возбуждения пульсаций во многом остается пока не выясненным [2].

Звезды γPeg (HR 886, B2IV) и 12Lac (HR 8640, B1, 5 III), типичные представители этой группы. Вместе с тем они демонстрируют ширину диапазона пульсационной активности звезд βCep. От пульсаций с одной радиальной модой у γPeg до набора радиальной и нескольких нерадиальных мод у 12Lac. Таким образом, они в некоторой степени "полярные" по свойствам объекты среди классических βCep звезд.

Спектральные наблюдения γPeg и 12Lac выполнены в фокусе куде 2,6-метрового телескопа им. Шайна Крымской астрофизической обсерватории. Обе звезды исследовались в области линии HeI 6678. В качестве приемника излучения была использована ПЗС-система Хельсинской обсерватории [3] на базе чувствительной в красной области спектра GEC CCD и блока электроники CCD 2000 фирмы Astromed Ltd (Кембридж, Англия). Наблюдения выполнены во втором порядке дифракционной решетки с дисперсией 3 Å/мм, так что на один элемент ПЗС попадало 0,053 Å. На матрицу проектировался спектр длиной 31 Å со спектральным разрешением 30000.

Наблюдения γPeg проводились в течение 2,5 ч 15/16 июля 1989 г. с экспозициями 10 мин. За это время получено 13 спектров. Наблюдения 12Lac выполнены в две ночи 17/18 и 18/19 июля 1989 г. Всего за 5 ч наблюдений получено 19 спектрограмм с экспозициями 15 мин.

Дальнейшая редукция наблюдений проводилась по стандартной методике. Отношения сигнал/шум около 300 для γPeg и 150–200 для 12Lac. Для приведения спектра к шкале длин волн была применена лампа спектра сравнения ThAr и производилась коррекция за орбитальное движение Земли. Ошибка построения дисперсионной кривой не превышала 0,1 км/с. Время наблюдений вычислялось на середину каждой экспозиции и приводилось к центру Солнца.

Для каждого профиля линии HeI 6678 была вычислена эквивалентная ширина линии W_λ, лучевая скорость центра масс RV, глубина линии R и ширина линии на середине интенсивности $FWHM$. Кроме того, вычислялся средний спектр и находились разности индивидуальных спектров от среднего. Далее, по редуцированным спектрам измерялись лучевые скорости отдельных "абсорбционных" (*) и "эмиссионных" (+) образований ($RVSF$). Перечисленные выше результаты измерений по каждой звезде приведены в табл. 1 и 2. Ошибки измерений составляют: σ_i (W_λ) = ±10 мк Å, σ_i (RV) = ±0,1 км/с, σ_i (R) = ±0,003 ед. континуума и σ_i ($RVSF$) = ±2 км/с.

γPeg. Это хорошо известная звезда типа βCep с очень малой скоростью вращения $V_{\sin i}$ = 4,5 км/с, небольшой амплитудой изменения лучевой скорости $2K$ = 6,8 км/с и блеска ΔV = 0,015. Она отличается от большинства звезд этого типа полным отсутстви-

Таблица 1

Основные параметры профиля линии HeI 6678 у γ Peg

JD_{hel} 2447723,0 +	$W\lambda$, Å	R	RV, км/с	$FWHM$, км/с	$RVSF$, км/с	
					(+)	(*)
0,4728	0,641	0,458	9,63	37,3	–9,0	22,4
0,4808	0,642	0,457	9,32	37,5	–9,0	22,4
0,4888	0,647	0,461	9,06	37,6	–9,0	22,4
0,4967	0,641	0,460	8,31	38,4	–9,0	21,2
0,5047	0,654	0,454	6,93	37,5	–9,0	20,0
0,5128	0,629	0,457	5,79	38,1	–	14,3
0,5205	0,654	0,457	4,19	37,6	22,4	–9,0
0,5284	0,652	0,455	2,96	36,9	22,4	–9,0
0,5364	0,647	0,459	2,17	37,8	22,4	–9,0
0,5441	0,647	0,454	2,26	37,5	22,4	–9,0
0,5517	0,642	0,455	2,19	37,6	22,4	–9,0
0,5597	0,651	0,452	2,81	37,4	22,4	–9,0
0,5680	0,658	0,450	2,90	37,4	22,4	–9,0

Таблица 2

Основные параметры профиля линии HeI 6678 у 12 Lac

JD_{hel}	$W\lambda$, Å	R	RV, км/с	$FWHM$, км/с	$RVSF$, км/с		
					(+)	(*)	(*)
2447725,0 +							
0,4487	0,697	0,647	1,47	74	–50	7	
0,4579	0,707	0,680	7,00	81	–46	24	
0,4840	0,668	0,711	14,89	94	–40	37	
0,4982	0,685	0,749	8,18	110	–33	50	
0,5100	0,685	0,737	5,04	108	–27	57	
0,5218	0,672	0,718	–2,59	100	–37		
2447726,0 +							
0,4309	0,692	0,677	10,66	86	–39	33	
0,4420	0,687	0,720	8,05	99	–30	41	
0,4531	0,731	0,751	4,85	118	–25	45	
0,4649	0,724	0,748	–3,90	118	–16	50	–82
0,4760	0,694	0,742	–14,02	111	–11		–71
0,4871	0,734	0,718	–19,65	106			–61
0,4983	0,742	0,708	–25,14	104	45		–59
0,5101	0,799	0,670	–26,96	93	41		–54
0,5212	0,701	0,630	–30,16	78	33		–45
0,5323	0,699	0,584	–28,19	65	31		–41
0,5434	0,695	0,564	–24,79	60	37	(+)	–30
0,5545	0,684	0,562	–20,40	58	39	–78	–21
0,5677	0,680	0,570	–13,93	53	41	–65	–11

ем переменности профиля линий, характерной для нерадиальных пульсаций. Звезда пульсирует с единственной радиальной модой с периодом $p = 0{,}152^d$.

Результаты наших наблюдений в линии HeI 6678 приведены в табл. 1 и на рис. 1 и 2. Как видно из рисунков, нет какой-либо переменности профиля линии, смещается только ее положение (лучевая скорость), что приводит к появлению стационарных особенностей на спектрах разностей (рис. 1, *б*). По нашим измерениям амплитуда лучевой скорости линии HeI 6678 составляет $2K = 7{,}5$ км/с, что на 0,7 км/с (10%) превышает зна-

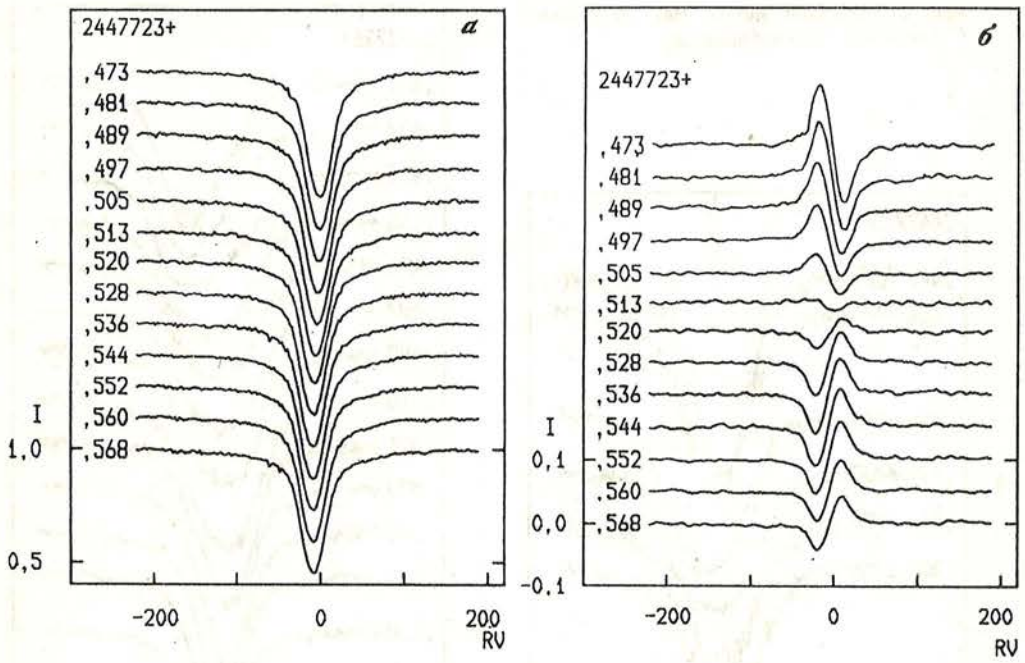


Рис. 1. Профили линии HeI 6678 у γ Peg

а – наблюдаемые профили; *б* – разности между индивидуальными и средним за ночь спектрами. Шкала длин волн – в км/с относительно лабораторного положения линии; по оси ординат отсчет для каждой кривой ведется от собственного континуума, а расстояние между кривыми пропорционально интервалу времени между экспозициями

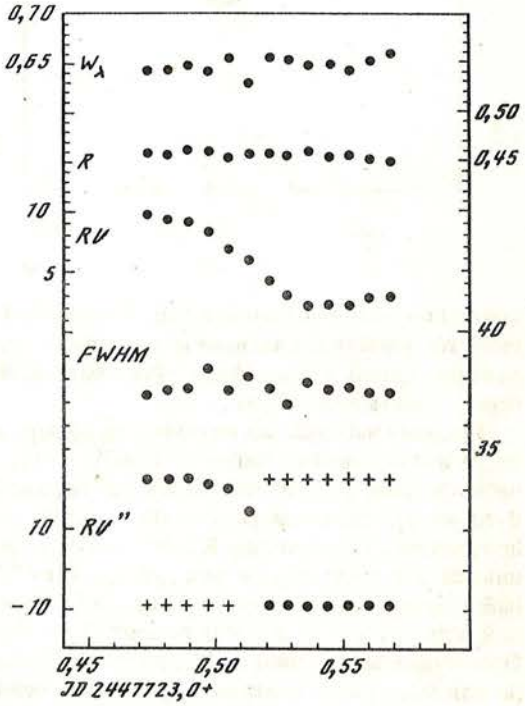
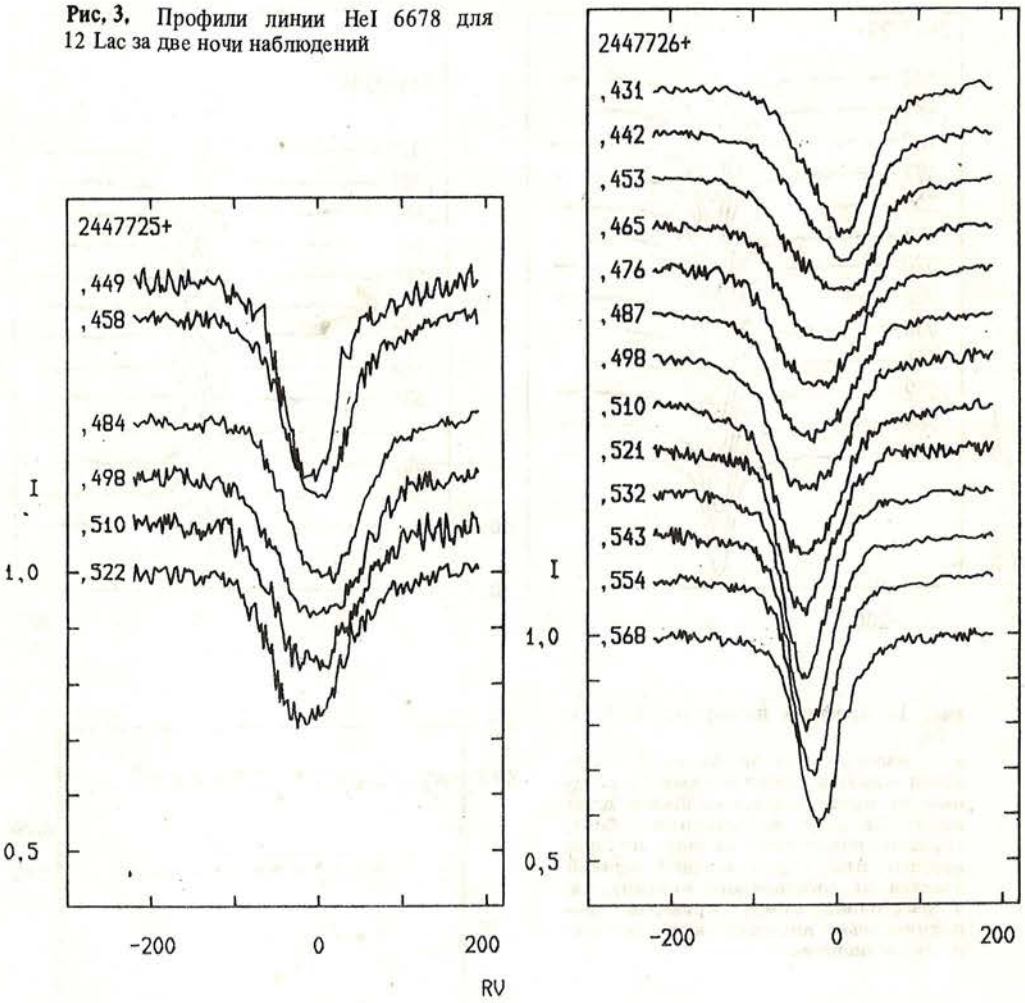


Рис. 2. Параметры линии HeI 6678 у γ Peg

Пояснения обозначений – в тексте. Единицы измерений: W_λ – Å; R – ед. континуума; *RV*, *FWHM*, *RVSF* (*RV''*) – км/с

Рис, 3. Профили линии HeI 6678 для 12 Lac за две ночи наблюдений

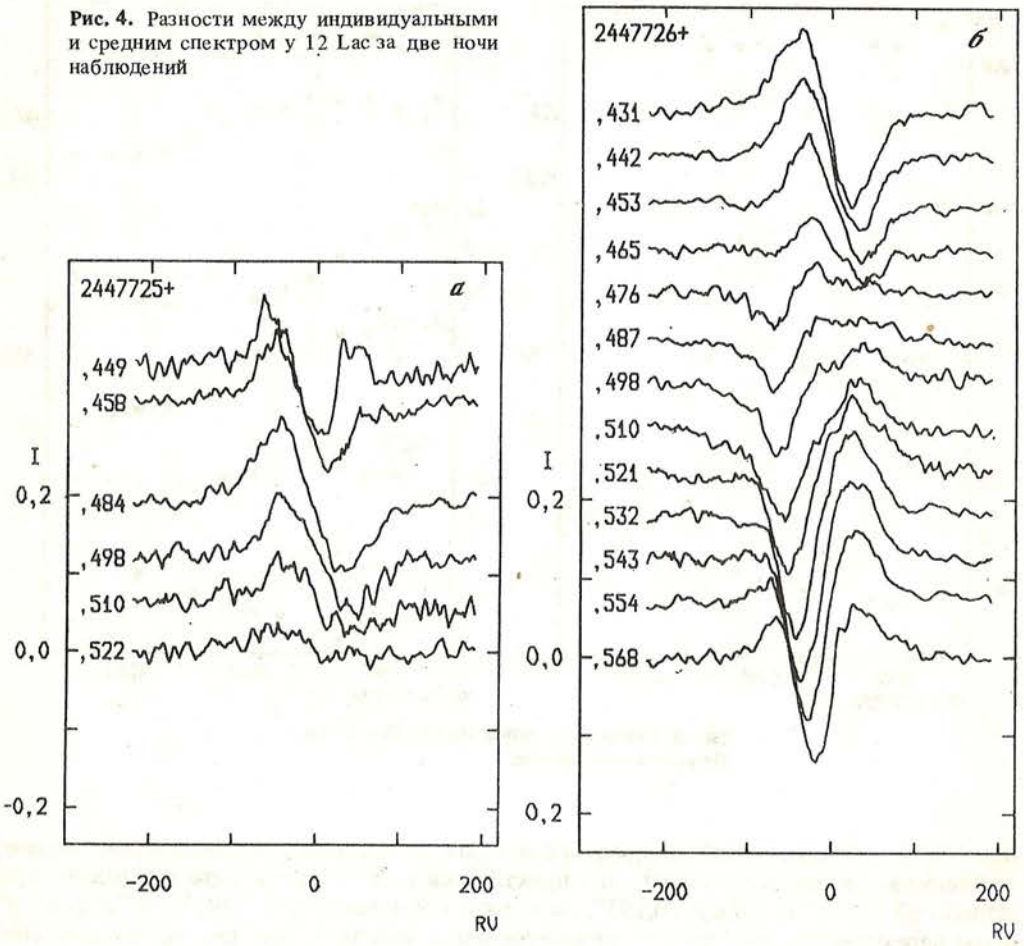


чение, полученное Смитом и Мак Коллом [4] по наблюдениям линии SiIII 4567. Мы считаем это значение реальным и, по-видимому, связанным с различием с областей формирования линий в атмосфере γPeg, хотя и не исключена и небольшая долговременная переменность амплитуды.

За время наблюдений не обнаружено переменности эквивалентной ширины, интенсивности и полуширины линии HeI 6678. Это тем более интересно, что Смит и Мак Колл по наблюдениям SiIII нашли заметную переменность W_λ и R с фазой периода пульсаций. В то же время, наши результаты хорошо согласуются с данными Кроу и Жиллет [5], получивших постоянство R и W_λ для H_α в пределах 1,4 и 1% соответственно. Не изменяются эти параметры и для дублета CII 6578, 6582. Таким образом, по совокупности наблюдений можно сделать вывод об отсутствии переменности глубины и эквивалентной ширины как в сильных линиях H_α и HeI 6678, так и в слабых линиях дублета CII. Отсутствие переменности W_λ, даже при значительных амплитудах пульсаций, характерно для βCep звезд, поэтому природа переменности линии SiIII остается не ясной.

Кроме того, Ле Контел [6] обнаружил появление слабого абсорбционного компонента в крыльях линии SiIII, поведение которой изучено в [4]. Как считают Смит и Мак Колл, он возникает в результате прохождения в атмосфере звезды ударной волны, связанной с пульсацией, и формируется в движущейся оболочке звезды со смещением

Рис. 4. Разности между индивидуальными и средним спектром у 12 Lac за две ночи наблюдений



от центра линии ±30 км/с. Явление аналогично расщеплению линий поглощения у радиально пульсирующих звезд с большими амплитудами (δ Cep, RRLyr). Детальное изучение полученных нами контуров не подтверждает существования какого-либо дополнительного абсорбционного или эмиссионного компонента в крыльях линии HeI 6678. К такому же выводу приходят Кроу и Жиллет [5] по наблюдениям в линиях H_α и CII.

В отличие от γPeg, у 12Lac существуют как радиальные, так и нерадиальные колебания, характерные для большинства βCep звезд. Детальный анализ фотометрических и спектральных рядов наблюдений, выполненных Жержикевичем [7], позволил найти шесть периодов в интервале $0{,}095–0{,}236^d$. Для объяснения такой переменности им предложена модель с нерадиальными модами $l = 3$ и $m = -1$; -2; -3. В результате взаимодействия колебаний полная амплитуда лучевой скорости изменяется от 20 до 55 км/с, а блеска от $0{,}03^m$ до $0{,}11^m$ в полосе V.

Смит [8] в 1979 г. получил в течение 8 ночей 25 спектров с высоким разрешением и большим отношением сигнал/шум. Изменения профиля линии SiIII 4567 хорошо согласуются с модельными для случая 4 мод колебаний, одна из которых радиальная, а 3 нерадиальных с $l = 2$ и $m = 0$; -1; -2 и периодами, найденными Жержикевичем.

Результаты наших наблюдений 12Lac в линии HeI 6678 в две соседние ночи представлены в табл. 2 и на рис. 3–5. Профиль линии подвержен значительной переменности, полуширина линии, например, изменяется в 2,4 раза. Изменение глубины линии состав-

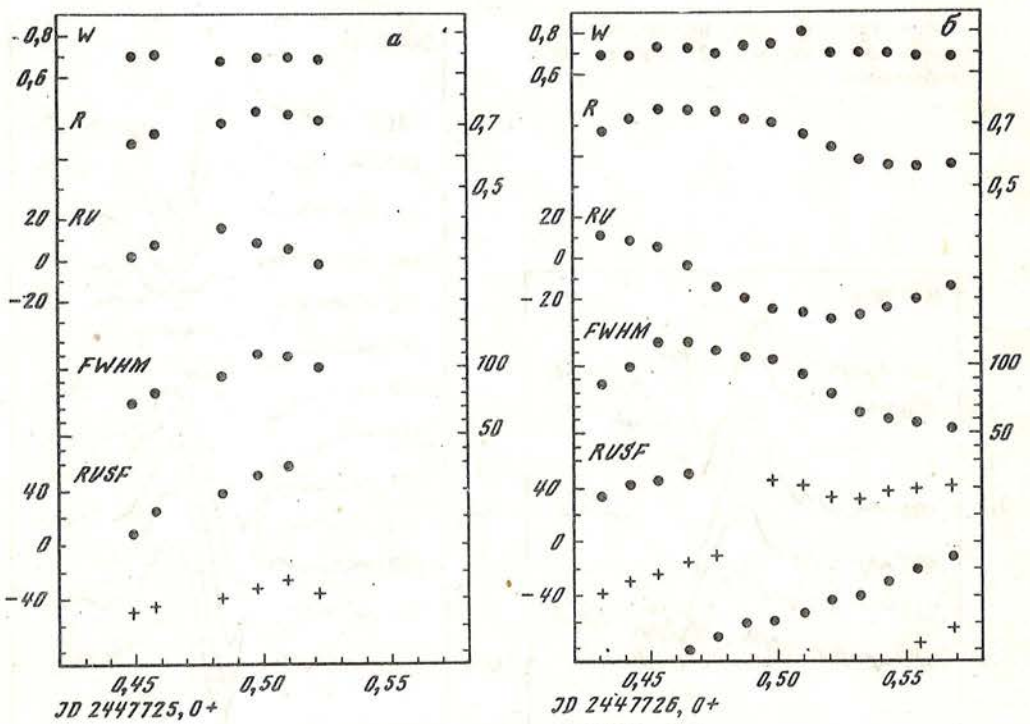


Рис. 5. Параметры линии He I 6678 у 12 Lac
Пояснения см. на рис. 2

ляет 20%, при неизменной, в пределах ошибок наблюдений, эквивалентной ширине. Наблюдения за две ночи охватывают практически весь основной период нерадиальных колебаний с $l = 2$, $m = 0$ и $p = 0{,}193^d$, включая и так называемую "узкую" и "широкую" фазы переменности профиля. На редуцированных спектрах (см. рис. 4) заметно смещение "прямой" волны из синего в красное крыло линии. Волна появляется со скоростью около −60км/с и движется с ускорениями в среднем 700 км · с$^{-1}$/день.

Из анализа измеренных параметров линии, можно сделать следующие выводы. Во-первых, эквивалентная ширина линии HeI 6678 постоянна (W_λ = 0,70 ± 0,03 Å), что согласуется с данными [8] по измерениям в триплете SiIII, во-вторых, наблюдается значительная переменность глубины линии R в диапазоне 0,75–0,56 ед. континуума (20%), лучевой скорости центра масс линии (ΔRV = 45 км/с) и полуширины линии ($FWHM$ = 65 км/с, или 2,4 раза).

Таким образом, на основе небольших серий спектральных наблюдений с высоким разрешением и большим отношением сигнал/шум двух βCep звезд γPeg и 12Lac, можно сделать следующие выводы.

1. Подтверждено, что γPeg пульсирует с единственной радиальной модой и у нее отсутствует какая-либо переменность профиля линии HeI 6678, характерная для нерадиально пульсирующих звезд. Амплитуда лучевой скорости в линии HeI на 0,7 км/с (10%) превышает значение, полученное в [4] по линии SiIII. Не обнаружены изменения W_λ и R с фазой периода пульсаций, а детальный анализ профиля линии не подтверждает существования абсорбционного компонента в крыльях линии.

2. Получены количественные оценки, характеризующие переменность профиля линии HeI 6678 у 12Lac. Результаты наблюдений не противоречат предложенной Смитом [8] модели с малым углом наклона и нерадиальными пульсациями $l = 2$ и $m = 0$; −1; −2.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ledoux P.* // Astrophys. J. 1951. Vol. 114. P. 373.
2. *Osaki Y.* // Highlights of astronomy / Ed. J.-P. Swings. Dordrecht, 1986. P. 247–254.
3. *Huovelin J., Poutanen H., Tuominen I.* // Radio Lab. Rep. Helsinki Univ. Techn. 1986. Vol. S166. P. 18.
4. *Smith M.A., McCall M.* // Astrophys. J. 1978. Vol. 221. P. 861–868.
5. *Crowe R., Gillet D.* // Astron. and Astrophys. 1989. Vol. 211. P. 365–382.
6. *V.Le Contel J.-M.* // Multiple periodic variable stars. IAU Coll. N 29 / Ed. W.S. Fitch. Budapest. P. 21–26.
7. *Jerzykiewicz M.* // Acta astron. 1978. Vol. 28. P. 456–496.
8. *Smith M.A.* // Astrophys. J. 1980. Vol. 240. P. 149–160.

УДК 524.38

АБСОЛЮТНАЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ ζ Aur (ЗАТМЕНИЯ 1985 И 1987 гг.)

В.И. Бурнашев

На основании абсолютных спектрофотометрических наблюдений уточнен спектральный класс вторичного компонента (B6IV) и межзвездное поглощение ($A_V = 0^m,27$) для затменной системы ζ Aur. По наблюдениям, выполненным в частных фазах главного минимума, оценено число атомов водорода во 2-м состоянии на луче зрения.

ABSOLUTE SPECTROPHOTOMETRY OF ζ AURIGAE (1985 AND 1987 ECLIPSES), *by V.I. Burnashev.* On the base of absolute spectrophotometric observations during 1985 and 1987 eclipses of the system ζ Aur the spectral class of secondary component (B6 IV) and interstellar absorption ($A_V = 0^m,27$) are estimated. On the base of observations during partial phase the number of hydrogen atoms in 2-d state in the line of sight are calculated.

Среди затменно-двойных звезд существует немногочисленная группа, прототипом которых является ζ Aur. Эти двойные системы состоят из позднего сверхгиганта и горячего спутника. Размеры спутника во много раз меньше, чем диаметр главной звезды. В начальной и конечной фазах затмения горячий спутник некоторое время проходит за полупрозрачной протяженной атмосферой сверхгиганта, просвечивая сквозь нее. Рассматривая спутник в первом приближении как точечный источник излучения в течение этих фаз, можно получить уникальную информацию, недоступную при использовании других способов, о строении и физических условиях в атмосфере сверхгиганта. В настоящее время известно около десятка двойных систем с атмосферным затмением. Некоторые результаты, полученные при изучении звезд такого типа, в том числе и самой ζ Aur, изложены в обзорах Боцулы [1] и Райта [3]. Так как наклон орбиты в системе ζ Aur почти равен 90°, а также в силу благоприятного расположения этой двойной звезды на небе, она является наиболее изученной. Период изучения блеска ζ Aur по данным ОКПЗ [4] составляет $972^d,176$, т.е. почти 2 года 8 месяцев. Через каждые 8 лет условия для наблюдений этой звезды наиболее благоприятны. На рис. 1 показана сводная кривая блеска ζ Aur во время затмения. Разные значки относятся к данным, полученным в разные годы: 1955–1956 гг. [5, 6], 1963 г. [7–10], 1971–1972 гг. [11, 12]. Затмение 1985 г. наблюдал Бём [13]. Как видно, в ультрафиолетовых лучах затмение наступает раньше, что свидетельствует о селективности поглощения излучения спутника в атмосфере главной звезды.

Абсолютные спектрофотометрические наблюдения ζ Aur проведены в Крымской астрофизической обсерватории в 1977 г. в течение внезатменной фазы [14], а также во время последних затмений 1985 и 1987 гг. Наблюдения выполнены методом фундаментальной спектрофотометрии, разработанным В.Б. Никоновым и традиционно применяемым в Крымской обсерватории [15, 16].

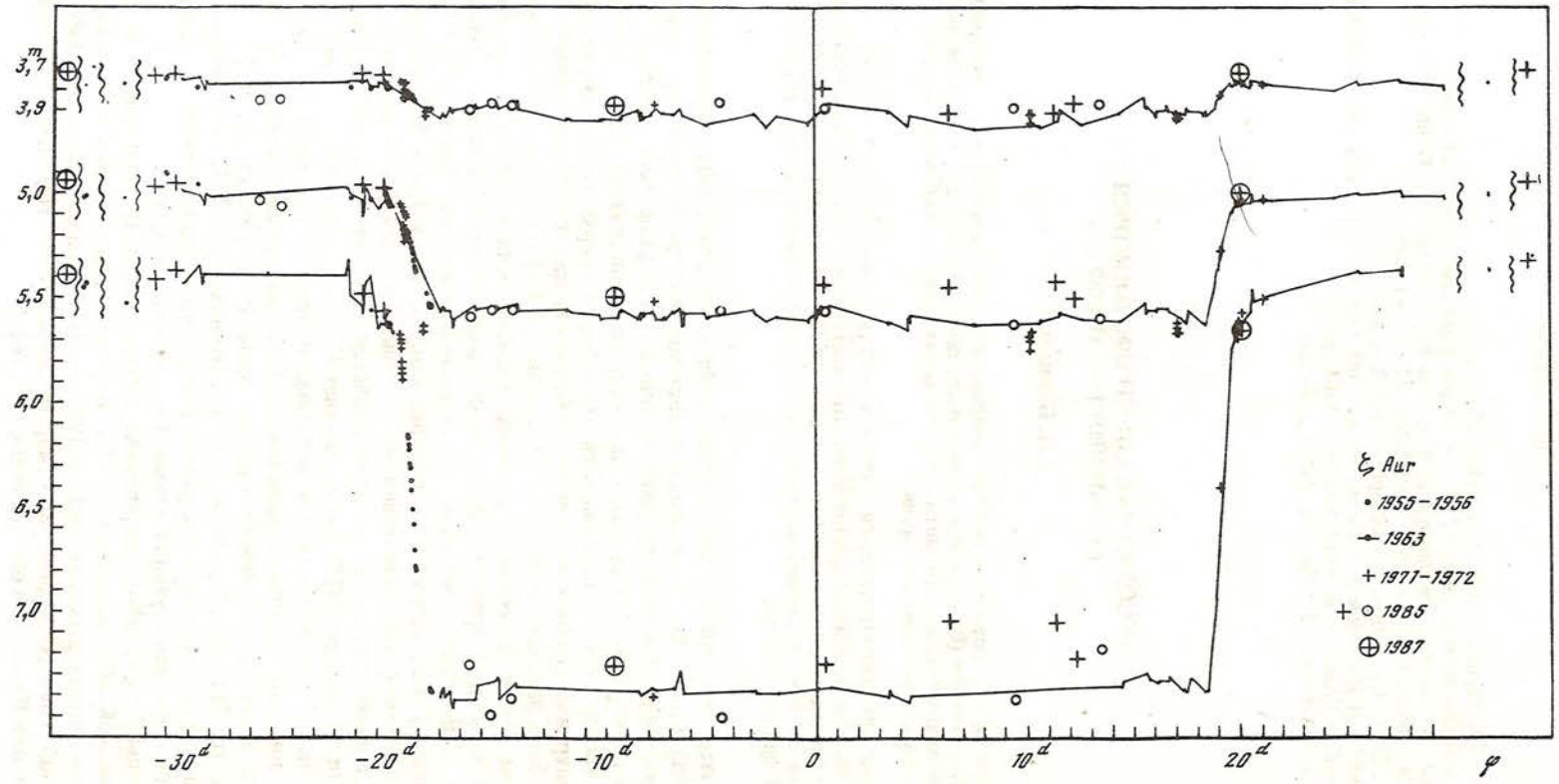


Рис. 1. Кривая блеска ζ Aur вблизи главного минимума

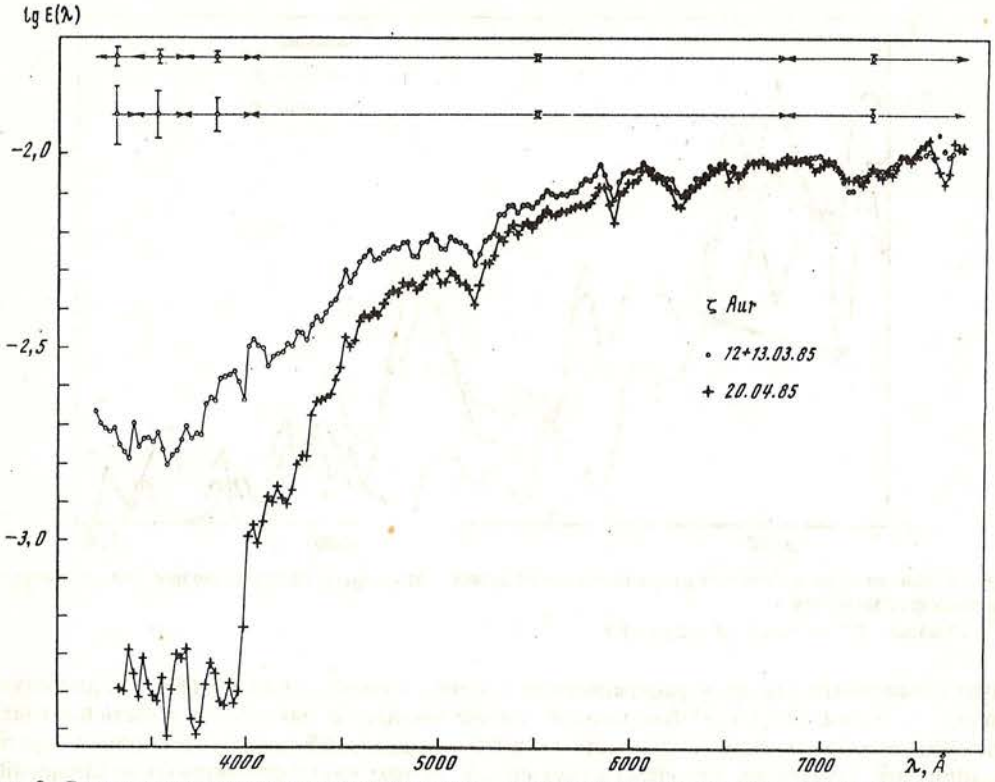


Рис. 2. Распределение энергии в спектре ζ Aur вне затмения (кружки) и в середине затмения (кресты)

На рис. 2 показаны кривые распределения энергии в спектре ζ Aur. Плюсами обозначен спектр вне затмения, средний для двух моментов наблюдений, точками — спектр в фазе полного затмения. В верхней части рисунка указаны средние величины ошибок приводимых данных, относящиеся к соответствующим спектральным интервалам.

В свое время к внезатменным данным 1977 г. был применен способ уточнения спектральных классов компонентов неразделимых двойных звезд по распределению энергии в их спектрах [4]. Было получено, что спектроэнергетическая кривая для глав-

Таблица 1

Дата	*J D*	*V*	*B*	*U*	Дата	*J D*	*V*	*B*	*U*
	2443000+								
21.01.77	164,305	3,74	4,98	5,42	14.04.85	170,245	3,82	5,44	7,04
21.10.77	438,542	3,72	4,97	5,39	19.04.85	175,253	3,83	5,42	7,05
22.10.77	439,519	3,75	4,49	5,41	20.04.85	176,256	3,86	5,49	7,22
	2446000+								
12.03.85	132,239	3,73	4,96	5,40	06.12.85	406,385	3,71	4,94	5,32
13.03.85	133,241	3,72	4,94	5,36	28.11.86	763,422	3,70	4,93	5,36
17.03.85	142,262	3,72	4,95	5,48		2447000+			
18.03.85	143,240	3,73	4,97	5,56	22.09.87	061,556	3,72	4,94	5,39
08.04.85	164,225	3,80	5,43	7,24	26.11.87	126,442	3,87	5,49	7,24
					26.12.87	156,224	3,74	5,00	5,67

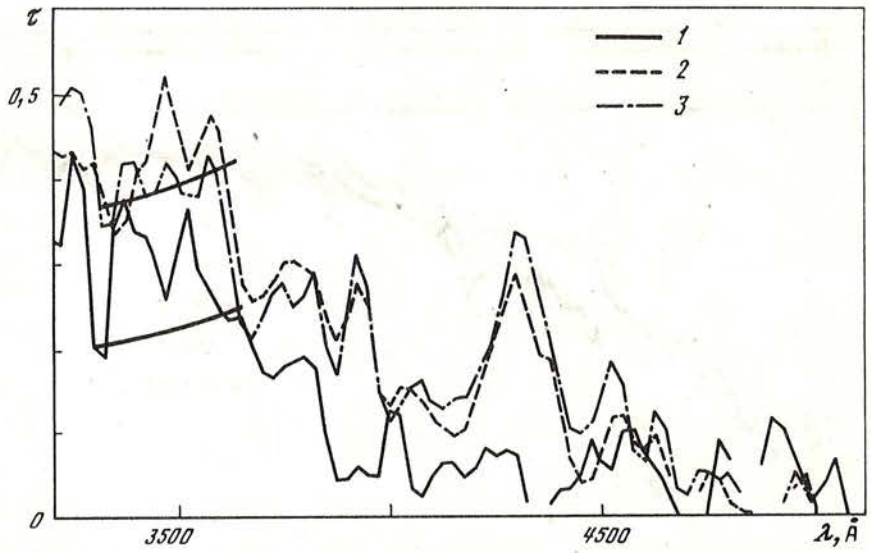


Рис. 3. Поглощение излучения вторичного компонента в атмосфере главной звезды для некоторых частных фаз затмения

1 – 17.03.85; *2* – 18.03.85; *3* – 26.12.87

ного компонента близка к распределению энергии в спектре 63 Cyo (K4 II), для спутника – к ν And (B5 V). Наблюдения в течение минимума дают возможность получить спектрофотометрические данные для главной звезды, свободные от влияния второго компонента. Оказалось, что спектр спутника, с учетом ультрафиолетовых наблюдений, напоминает спектр α Gru, для которой в четвертом издании каталога ярких звезд [17] приведен спектральный класс B6 IV. При этом наблюдаемый спектр наилучшим образом согласуется с составным при значении межзвездного поглощения $A_V = 0^m,27$.

В табл. 1 приведены звездные величины в системе UBV, полученные путем перемножения кривых реакции системы и распределения энергии в спектре звезды с коэффициентами редукции, определенными нами ранее [18]. Несмотря на то, что часть наблюдений выполнена при неблагоприятных условиях, на воздушных массах до 1,7, согласие с фотометрическими измерениями других авторов можно считать вполне удовлетворительным, учитывая сложность редукций для этой звезды, испытывающей значительные изменения в цвете.

По разности спектроэнергетических кривых, наблюденных в фазах частного затмения, относительно распределения энергии вне затмения, можно найти $\tau(\lambda)$ – оптическую толщу поглощающей материи:

$$e^{-\tau(\lambda)} = 1 - (E_{\text{к+в}}(\lambda) - E_{\text{к+в}'}(\lambda)) / E_{\text{в}}(\lambda),$$

где $E_{\text{к+в}}(\lambda)$ – общее излучение системы вне затмения, $E_{\text{к+в}'}(\lambda)$ – излучение в частной фазе, $E_{\text{в}}(\lambda)$ – излучение вторичного компонента. Полученные таким путем значения $\tau(\lambda)$ показаны на рис. 3, при этом малые значения $\tau(\lambda)$ дают основание предполагать, что поглощение пропорционально числу атомов на луче зрения. Если считать, что непрерывное поглощение для $\lambda < 3650$ Å вызвано нейтральным водородом, можно найти число поглощающих атомов водорода во втором состоянии на луче зрения. Эти оценки приведены в табл. 2. Соответствующие значения высот приняты для радиуса главной звезды $R(K) = 200\,R_\odot$ [2, 3].

Несмотря на приемлемое на первый взгляд согласие с другими данными из обзора [2], полученный результат следует считать предварительным, так как, во-первых, эти оценки могут быть улучшены при учете вклада поглощения линий за бальмеровским пределом (для этого следовало бы иметь высокодисперсионные спектры, полученные

одновременно с нашими наблюдениями); во-вторых, поскольку блеск K-компонента испытывает изменения порядка нескольких сотых звездной величины с характерным временем около 15 дн, сравнение спектрофотометрических данных для уточнения вклада спутника должно быть проведено для одинаковых фаз этого изменения блеска.

Таким образом, абсолютные спектрофотометрические наблюдения затменной системы ζ Aur дали возможность уточнить спектральный класс вторичного компонента

Таблица 2

Дата	$\lg N(H_{(2)})$	h, 10^{12} см
17.03.85	−16,2	1,27
18.03.85	−16,4	0,90
26.12.87	−16,4	0,60

и значение межзвездного поглощения. По наблюдениям, выполненным в частных фазах затмения, оценено число поглощающих атомов водорода во втором состоянии на различных высотах в атмосфере K-компонента.

Автор глубоко благодарен д-ру Д. Бёму, приславшему результаты своих наблюдений до их опубликования, Б.А. Бурнашовой и Л.И. Аксиментьевой за помощь в обработке наблюдательного материала, В.Т. Жоголевой и Л.И. Филатовой за помощь в изготовлении иллюстраций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Боцула Р.А.* // Двойные звездные системы с атмосферным затмением типа ζ Возничего. М.: Наука, 1968. С. 104.
2. *Вилсон О.* // Звездные атмосферы / Под ред. Д.Л. Гринстейна. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. С. 433–460.
3. *Wright K.O.* // Vistas Astron. 1970. Vol. 12. P. 147–182.
4. *Холопов П.Н., Самусь Н.Н., Горанский В.П.* и др. // Общий каталог переменных звезд. М.: Наука, 1985. Т. 1.
5. *Larsson-Leander G.* // Ark. astron. 1961. Vol. 2, H. 5/6. P. 413–418.
6. *Wood F.B., Blitzstein W.* // Astron. J. 1957. Vol. 62, N 5. P. 165–168.
7. *Kiyokawa M.* // PAS Japan. 1967. Vol. 19, N 2. P. 209–219.
8. *Bappu M.K.V., Doss A.T., Viswandham P.* // Observatory. 1965. Vol. 85, N 945. P. 85–87.
9. *D.J.K.O'Connel* // Rech. Astron. 1964. Vol. 6, N 25. P. 523–537.
10. *Cheng-Yuan Shao* // Astron. J. 1964. Vol. 69, N 10. P. 858–860.
11. *Sanwal N.B., Parthsarathy M., Abhyankar K.D.* // Observatory. 1973. Vol. 93, N 992. P. 30–32.
12. *Milcheva S., Winarski M.* // IBVS. 1972. N 651. P. 1.
13. *Böhme D.* 1985 (Private comm.).
14. *Бурнашев В.И.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1983. Т. 66. С. 162–182.
15. *Никонов В.Б.* // Там же. 1975. Т. 54. С. 3–23.
16. *Бурнашев В.И.* // Там же. 1977. Т. 57. С. 57–81.
17. The bright star catalogue / Ed. D. Hoffleit. New Haven (Conn.), 1982.
18. *Бурнашев В.И.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1987. Т. 76. С. 70–76.

УДК 524.338.3

О 855-ДНЕВНОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ БЛЕСКА CI Cyg В СПОКОЙНОМ СОСТОЯНИИ (1985–1989 гг.)

Т.С. Белякина, В.В. Прокофьева

По наблюдениям CI Cyg в *UBVRI*-полосах в течение 1985–1989 гг. построены средние кривые блеска с периодом 855,25 сут. Сходство средних кривых блеска в полосе *B* (1985–1989 гг.) и фотографической (1926–1967 гг.) [2] свидетельствует о том, что характеристики излучения CI Cyg в спокойном состоянии практически не изменились. На *I* кривой блеска видны два минимума в фазах 0,05 и 0,60 с амплитудами около 0^m,1. На *BVR*-кривых обнаружены вторичные минимумы на фазе 0,6 глубиной около 0^m,2. Форма кривой блеска *I* не противоречит предположению об эллипсоидальности красного компонента. Разность моментов первичных минимумов в *U*- и *I*-полосах позволяет высказать предположение об асинхронности вращения красного гиганта и орбитального движения.

ON THE 855-DAY VARIABILITY OF CI CYG IN THE QUIET STATE (1985–1989), *by T.S. Belyakina and V.V. Prokof'eva.* The mean *UBVRI* light curves with the period 855^d.25 are presented for the quiet state of Cl Cyg (1985–1989). The characteristics of the star radiation in the quiet state are invariable because the shape of the mean B light curve and mean Hoffleit's photographic light curves are similar. The *I* light curve shows two minima on the phases 0.05 and 0.60 with amplitudes 0^m.1. The secondary minima are found in the *I, R, V* bands on phases 0.6 with amplitudes of about 0^m.2. *I* light curve is in accordance with the suspected ellipsoidal form of the red component. It has been assumed that the orbital motion and the axial rotation of the red giant is asynchronous.

Одной из основных характеристик симбиотической затменно-переменной звезды CI Cyg является период, равный 855,25 сут, определенный Уитни в 1950-х годах по большому ряду фотографических наблюдений [1]. Период оказался очень устойчивым. Сохранялся он и до 1970 г., когда CI Cyg находилась в спокойном состоянии, и в 1970-х года, когда переменная стала активной и ее кривая блеска сильно деформировалась [2, 3].

Существование этого периода связывали с проявлением орбитального движения компонентов в системе [2, 4]. Уверенность в этом еще больше возросла, когда удалось показать, что минимум кривой блеска в фазе 0,0 обусловлен затмением горячего компонента холодным [5].

К сожалению, 855-дневный период до сих пор не удалось подтвердить спектральными наблюдениями. Это обусловлено, по-видимому, тем, что наблюдаемые лучевые скорости CI Cyg невелики, а сама переменная достаточно слаба. Недавние определения лучевых скоростей для холодного компонента привели к периоду, равному 812 ± 10 сут [6].

Активное состояние CI Cyg, продолжавшееся более 10 лет, к 1985 г. закончилось [3], Наши наблюдения 1985–1989 гг. охватывают два полных 855-дневных периода. *B, V, R*-кривые блеска отчетливо демонстрируют присутствие этого периода, хотя две последние несколько деформированы эффектом собственной переменности красного компонента [3, 7, 8].

Наблюдения впервые позволили проанализировать в широком диапазоне длин волн излучение CI Cyg в спокойном состоянии. С этой целью был выполнен частотный анализ величин *I, R, V* переменной, определенных в 1985–1989 гг. Периодограмма, представленная на рис. 1, подтверждает присутствие 855-дневного периода на *R, V* кривых блеска. Однако в *I*-полосе виден только один пик, соответствующий периоду, равному 427 сут, что близко к половине от 855 сут.

Средние *U, B, V, R, I*-кривые блеска с периодом 855,25 сут представлены на рис. 2. *I, R, V* наблюдения сведены и усреднены на ЭВМ, а *B, U* – вручную. Из рисунка видно, что *I*-кривая блеска имеет два небольших асимметричных минимума, один из которых является по форме как бы зеркальным отражением другого. Амплитуда и продолжительность каждого из них соответственно близки 0^m,1 и 0,3 периода. Середина одного

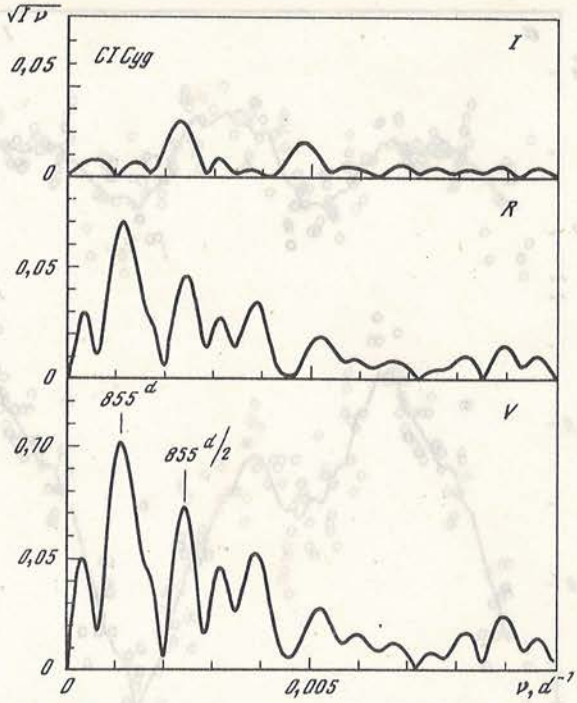


Рис. 1. Периодограмма блеска CI Cyg в полосах *I*, *R*, *V*
По оси абсцисс – частота в единицах d^{-1}, по оси ординат – амплитуда спектральной плотности

из них приходится на фазу 0,05, а другого – на фазу 0,6. *B*, *V*, *R*-кривые блеска имеют также по два минимума, расположенных на тех же фазах, но разной глубины, вблизи фазы 0,6 – менее глубокий. На *U*-кривой блеска виден лишь один минимум вблизи фазы 0,0 и он значительно глубже и шире по сравнению с соответствующими минимумами более длинноволновых кривых блеска. В дальнейшем мы будем называть его первичным.

Совокупность рассматриваемых кривых показывает, что в фазе 0,4 виден максимальный суммарный блеск системы, вблизи фазы 0,6 *B*, *V*, *R* кривые искажены видимым ослаблением блеска красного компонента, обусловливающего, в основном, излучение CI Cyg в *I*-полосе. В фазе 0,75 начинает сказываться значительное ослабление излучения голубого компонента, определяющее, в основном, свечение CI Cyg в *U*-полосе.

Как было отмечено, кривая блеска CI Cyg в полосе *I* обусловлена, в основном, излучением красного компонента. Характер кривой не противоречит выводу О.Г. Тарановой об эллипсоидальности холодного компонента [9]. В предположении наиболее простой фигуры компонента – эллипсоида вращения – мы оценили отношение полуосей как 0,9:1. В действительности картина более сложная. По-видимому, надо учитывать возможный эффект затмения красного компонента голубым, а также эффект подогрева голубым компонентом обращенной к нему полусферы красного гиганта.

В полосе *U* излучение красного компонента пренебрежимо мало и вторичный минимум на кривой блеска отсутствует. Первичный минимум, как известно, обусловлен суммарным эффектом: затмением горячего компонента холодным и отсутствием коротковолнового излучения со стороны красного гиганта, обращенной к горячему компоненту [7]. Затмение горячего компонента обусловливает наиболее крутой ход кривой

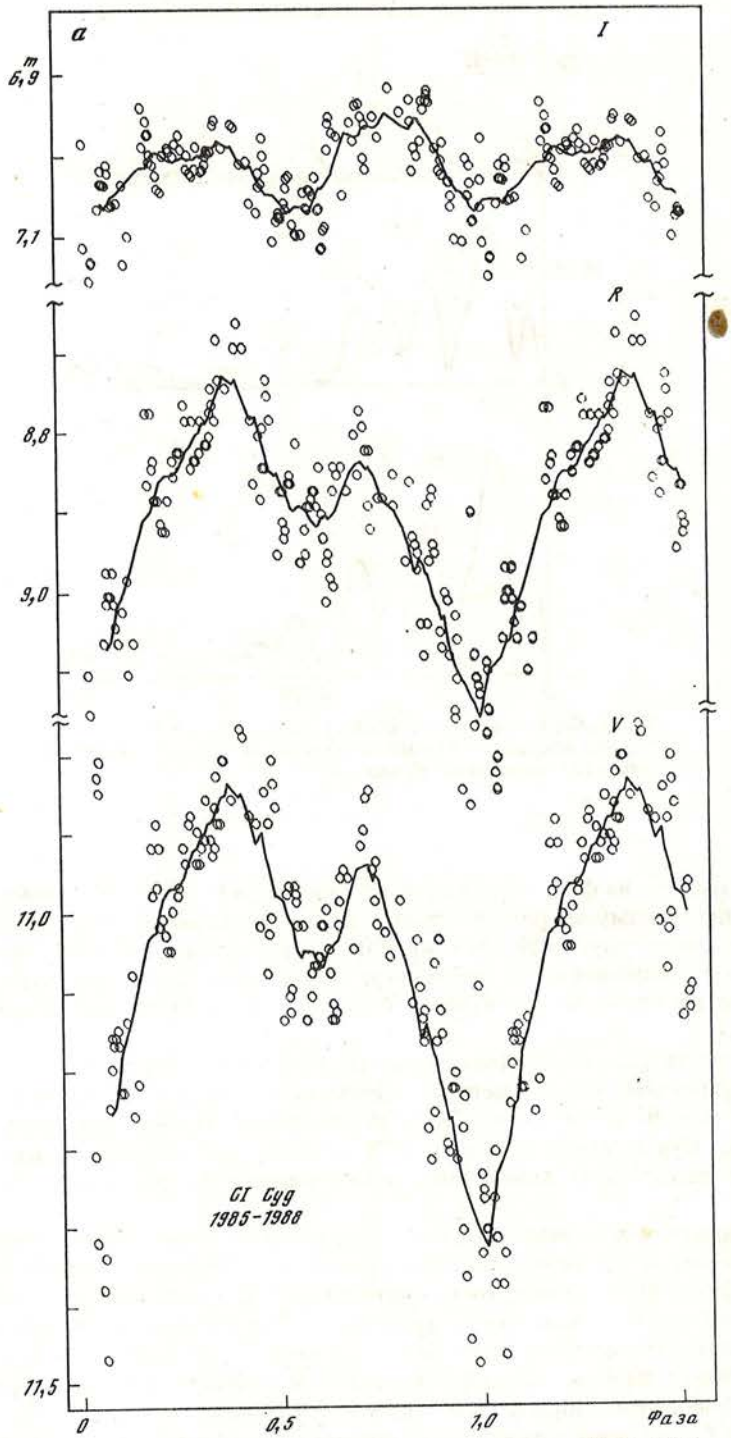
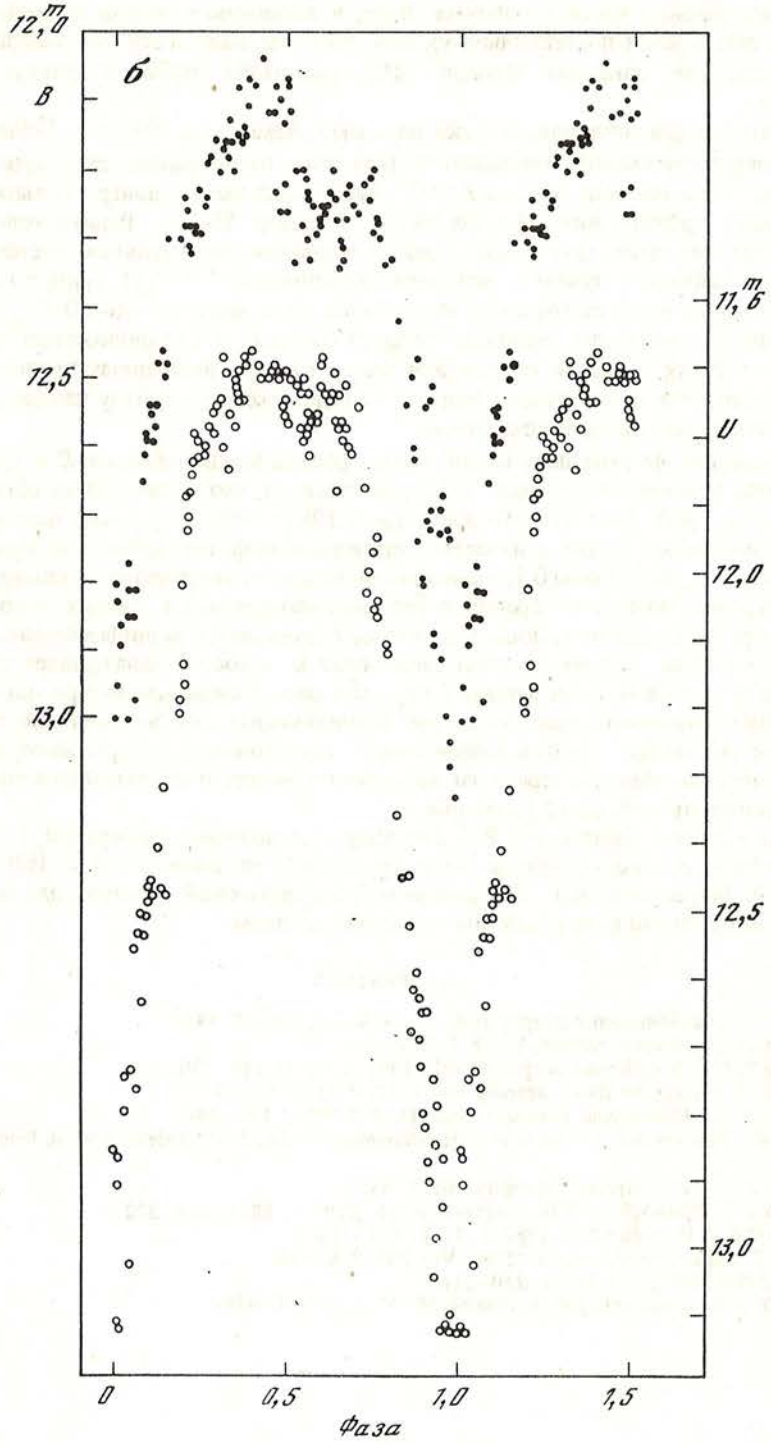


Рис. 2. Средние I, R, V (*а*), B, U (*б*) кривые блеска CI Cyg в 1985–1989 гг. По оси абсцисс – фаза 855-дневного периода, по оси ординат – звездные величины


б
12,0m
B
12,5
13,0
11,6m
U
12,0
12,5
13,0
0
0,5
1,0
1,5
Фаза

вблизи центральной части минимума. Вход в минимум и выход из него происходит плавно и обусловлен постепенным уходом из зоны видимости полусферы холодного компонента, где согласно Мунари [10] существует избыток ультрафиолетового излучения.

По длительности остановки блеска во время затмения в 1989 г. в U-полосе мы оценили размер затмеваемого компонента. При этом нами принята суммарная масса системы 3 $M_{\odot}$, угол наклона орбиты $i = 90°$. Расстояние между центрами масс компонент для значения орбитального периода 855,25 дн равно 550 $R_{\odot}$. Радиус холодного компонента был оценен из продолжительности затмения при активном состоянии звезды и с учетом данных о лучевых скоростях компонентов [6, 11] принят нами равным 175 $R_{\odot}$. Оценка радиуса горячего компонента дала значения 40–80 $R_{\odot}$. Этот размер существенно превосходит величину радиуса звезды, в предположении, что голубой компонент CI Cyg – белый карлик или звезда главной последовательности [12]. Поэтому мы считатем, что получено еще одно свидетельство в пользу наличия аккреционного диска вокруг горячего компонента.

Сопоставление формы полученной нами средней кривой блеска B и средней фотографической кривой, полученной в [2], показывает, что в спокойном состоянии звезды в период 1900–1967 гг. [4] и в период 1985–1989 гг. кривые остаются практически неизменными. Хорошо известная ступенька на фотографической кривой блеска, расположенная вблизи фазы 0,5, объясняется наличием вторичного минимума.

Рассмотрение моментов середин первичных минимумов в разных полосах показывает, что при переходе от полосы U к полосе I появляется разница моментов, достигающая 0,05 по фазе. Причем момент минимума в полосе I запаздывает относительно минимума в полосе U. Если кривая I отражает эллипсоидальность красного компонента, как было отмечено выше, то можно предположить, что направление его большой полуоси не совпадает с направлением линии, соединяющей центры масс. Асимметричное расположение фигуры красного компонента может быть вызвано асинхронностью его вращения и орбитального движения.

Авторы глубоко благодарны Р.Е. Гершбергу за полезные дискуссии, Г.А. Козловой за составление сервисных программ и проведение расчетов, а также Н.В. Краснобабцевой, Г.Н. Шараповой, В.Т. Жоголевой и Л.М. Филатовой за изготовление иллюстраций, П.П. Добронравину за редактирование текста статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Aller L.H.* // Publ. Dominion Astrophys. Obs. 1954. Vol. 9, N 11. P. 343.
2. *Hoffleit D.* // Irish Astron. J. 1968. Vol. 8. P. 149–152.
3. *Белякина Т. С.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1991. Т. 83. С. 118–130.
4. *Пучинскас А.* // Бюл. Вильнюс. астрон. обс. 1972. № 33. С. 50–54.
5. *Белякина Т.С.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1979. Т. 59. С. 133–142.
6. *Garcia M.R., Kenyon S.J.* // The symbiotic phenomenon / Ed. J. Mikolajewska et al. Dordrecht, 1988. P. 27–32.
7. *Белякина Т.С.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. Т. 84.
8. *Белякина Т.С., Прокофьева В.В.* // Астрон. журн. 1991. Т. 68. С. 314–322.
9. *Таранова О.Г.* // Письма в АЖ. 1987. Т. 13. С. 423–426.
10. *Munari U.* // Astron. and Astrophys. 1989. Vol. 208. P. 63–68.
11. *Iijima T.* // Ibid. 1982. Vol. 116. P. 210–216.
12. *Аллен К.У.* // Астрофизические величины. М.: Мир, 1977. С. 446.

УДК 523.855

ДВУМЕРНАЯ ФОТОМЕТРИЯ ОКОЛОЯДЕРНОЙ ОБЛАСТИ ГАЛАКТИКИ NGC 1275 В ПЯТИ ЦВЕТАХ

В.Н. Мухаметшина, И.И. Проник

По снимкам, полученным в прямом фокусе 2,6-метрового телескопа акад. Г.А. Шайна с применением ЭОП УМ-92 и пяти светофильтров с $\lambda_{эф}$ ~4680, 5090, 5280, 6090 и 7400 Å, проведена двумерная фотометрия околоядерной области пекулярной галактики NGC 1275 с позиционной привязкой к двум звездам сравнения. Размер изображения звезды сравнения на половине максимальной интенсивности составлял 3″. Показано, что максимумы яркости ядра и звездообразной детали *b* (см. рис. 1), расположенной в 7″ на северо-востоке от ядра, на "синих" и "инфракрасных" фотометрических картах совпадают с точностью до 0,5 или ~200 пс. Размеры как околоядерной области, так и детали *b* в синей области наименьшие и увеличиваются при переходе к инфракрасной области спектра, где они достигают соответственно 9″, или ~3 кпс и 6″, или ~2 кпс. Оба образования вытянуты в позиционном угле ПУ ≈ −15°, который для ядра галактики совпадает с ПУ конуса актив-

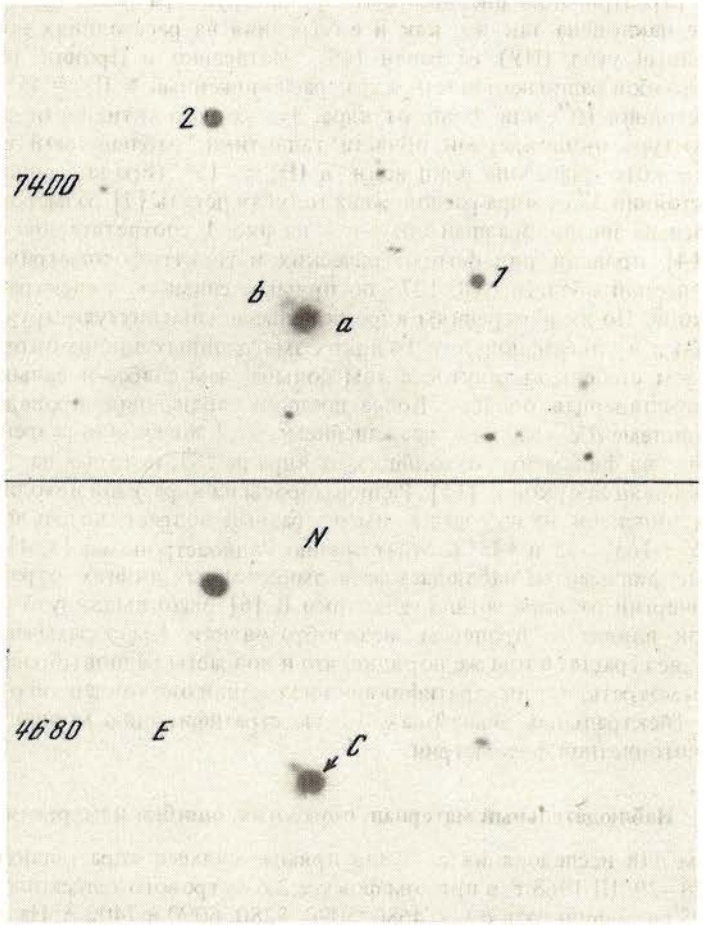


Рис. 1. Фотографии околоядерной области галактики NGC 1275, полученные с фильтрами $\lambda_{эф}$ ~ ~4680 и 7400 Å на 2,6-метровом телескопе

a – ядро галактики, *b*, *c* – детали около ядра, *1* и *2* – звезды сравнения согласно [8]

ности в радиодиапазоне, рентгене и эмиссионных линиях. Сделано предположение, что вытянутость околоядерного образования и образования около детали *b* обусловлена приливными силами галактики NGC 1265.

TWO-DIMENSIONAL FIVE-COLOUR PHOTOMETRY OF NGC 1275 GALAXY CIRCUMNUCLEUS, *by V.M. Mukhametshina, I.I. Pronik.* Using the images obtained in the prime focus of the 2.6-m Shain telescope with the image-tube UM-92 and 5 light filters λ_{eff} ~4680, 5090, 5280, 6090 and 7400 Å, two dimensional photometry of the peculiar galaxy NGC 1275 circumnucleus was carried out with the positional fit compared to the two reference stars. Dimension of reference star image at half maximum intensity was 3″. It is shown that maximum brightness of the mucleus and starlike detail *b* (see fig. 17, situated 7″ N–E from the nucleus), coincide in blue and infrared with the error 0″.5 or ~200 ps. The dimensions of the circumnucleus and the detail *b* are the smollest in blue. While transiton to infrared, they extend correspondingly to 9″ or 3 kps and 6″ or 2 kps. Both formantions are elongated in position angle ~–15°. For the galaxy nucleus it coinsides with the position angle of activity cone in radio, X-ray and emission lines. It is supposed, that elongations of circumnucleus and adjacent to detail *b* formation are caused by tydal forces of NGC 1265 galaxy.

Фотометрический профиль пекулярной гигантской галактики NGC 1275 совпадает с теоретическим профилем, построенным для сфероида, вплоть до радиуса 70″ или 20 кпс [1, 2]. Но ее неразрешенное ядро радиусом меньше 4″ является центром сильно вытянутого конуса активности в радиодиапазоне [3, 4], в эмиссионных линиях [1] и в рентгене [5]. При этом внешняя вытянутая структура радиоядра на протяжении около 15 кпс наклонена так же, как и внутренняя на расстояниях порядка парсека [3]. Позиционный угол (ПУ) ее равен 165°. Матвеенко и Проник [6] обнаружили второй конус слабой радиоактивности ядра, расположенный в ПУ = 45° и продолжающийся до расстояния 10″, или 4 кпс от ядра. Эти конусы активности находят отражение и в структуре околоядерной области галактики, наблюдаемой в непрерывном спектре оптического диапазона длин волн: в ПУ = –15° (продолжение ПУ = 165° на север) на расстоянии 3″ от ядра расположена голубая деталь [7] размером 3″, а в ПУ = = +45° – красный звездообразный объект – на рис. 1 соответственно *c* и *b*. Метик и Проник [9–14] провели ряд фотометрических и спектрофотометрических исследований околоядерной области NGC 1275 по прямым снимкам и спектрам, полученным на 6-м телескопе. По их измерениям ядро показывает вытянутую структуру в направлении на деталь *c* в ультрафиолете и 14 ярких эмиссионных линиях оптической области спектра. Причем степень вытянутости тем больше, чем слабее и дальше от ядра располагается околоядерная область. Более поздние наблюдения, проведенные в фотометрической системе *B* с угловым разрешением 0″,7, позволили разрешить вытянутое образование на два филамента, отходящих от ядра на С-3, которые на расстоянии 3″ от ядра заканчиваются аркой *c* [15]. Радиовыбросы из ядра, если исходить из величины спектральных индексов их излучения, имеют разный возраст, который увеличивается в порядке ПУ : 165, –15 и +45° соответственно. Радиоастрономы [3, 4] предполагают, что оптические филаменты, наблюдаемые в эмиссионных линиях, отражают локализацию потока энергии от ядра в гало галактики. В [6] было выдвинуто предположение, что этот поток влияет на процессы звездообразования. Было замечено, что возраст группировок звезд растет в том же порядке, что и возрасты радиовыбросов. Представляло интерес посмотреть, нет ли стратификации излучения околоядерной области галактики в разных спектральных диапазонах. Такую стратификацию можно обнаружить по двумерной многоцветной фотометрии.

Наблюдательный материал, обработка, ошибки измерения

Материалом для исследования служили прямые снимки ядра галактики NGC 1275, полученные 28–29. III 1968 г. в прямом фокусе 2,6-метрового телескопа с применением ЭОП УМ-92 и 5 светофильтров с $\lambda_{эф}$ 4680, 5090, 5280, 6090 и 7400 Å, На рис. 2 показаны кривые пропускания фильтров согласно [16], на которых отмечены положения наиболее ярких эмиссионных линий в спектрах газовых туманностей с учетом красного смещения галактики NGC 1275. Видно, что яркость газа может быть существенной

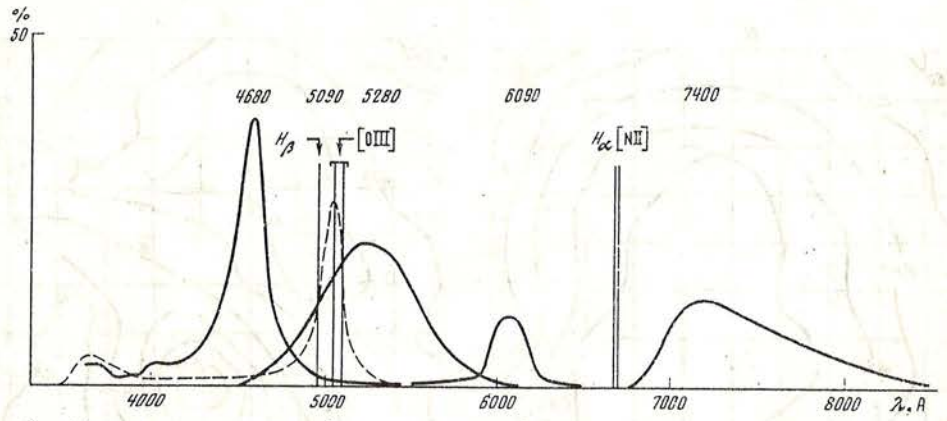


Рис. 2. Полосы пропускания фильтров, употребляемых при фотографировании галактики NGC 1275

Вертикальные линии показывают положения ярких эмиссионных линий с учетом красного смещения галактики

только на снимках, полученных с фильтром $\lambda_{эф}$ ~5090 Å, в остальных случаях на наших фотографиях изображение галактики воспроизводит излучение в непрерывном спектре. Масштаб на негативах составлял 21″ в 1 мм. Экспозиции были продолжительностью от 10^s до 1^m50^s.

Двумерная фотометрия выполнялась на микрофотометрии МФ-2 с ФЭУ с шагом 0,02 мм (0″,4) по каждой координате и окном микрофотометра, вырезающим на негативе площадку размером (0,02 × 0,02) мм². Источниками фотометрических ошибок в нашем случае являются микро- и макронеоднородности почернения фотоэмульсии, обусловленные неравномерной чувствительностью фотокатода ЭОП по полю, виньетированием светового пучка в телескопе и приемной аппаратуре, а также неоднородностью самой фотоэмульсии [17–19]. Чтобы в комплексе оценить все фотометрические ошибки, мы профотометрировали фотографии ночного неба, полученные 6 и 7.VI 1970 г. с теми же светофильтрами, что указаны выше. На каждом негативе измерялось центральное поле размером (10×10) мм² с шагом 0,05 мм при окне микрофотометра размером (0,05 × 0,12) мм². Расстояние между фотометрическими разрезами, состоящими из 200 точек каждый, равнялось 0,5–1,0 мм. Всего на одном негативе измерялось по 2200–4000 точек. Исследование фотометрических микро- и макронеоднородностей негативов проводилось в интенсивностях.

На рис. 3 для иллюстрации приведен фотометрический разрез центра поля одного из негативов. Плотности почернения на негативе были в интервале $1{,}0 \geqslant D \geqslant 0{,}5$. Рисунок показывает, что фотометрическое поле искажено микро- и макронеоднородно-

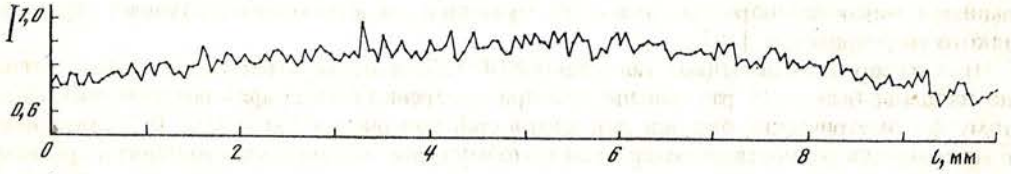


Рис. 3. Фотометрический разрез фотографии ночного неба в произвольной шкале интенсивностей, выполненный в центре негатива, полученного с фильтром $\lambda_{эф}$ ~4400 Å в прямом фокусе 2,6-метрового телескопа им. Г.А. Шайна с ЭОП УМ-92

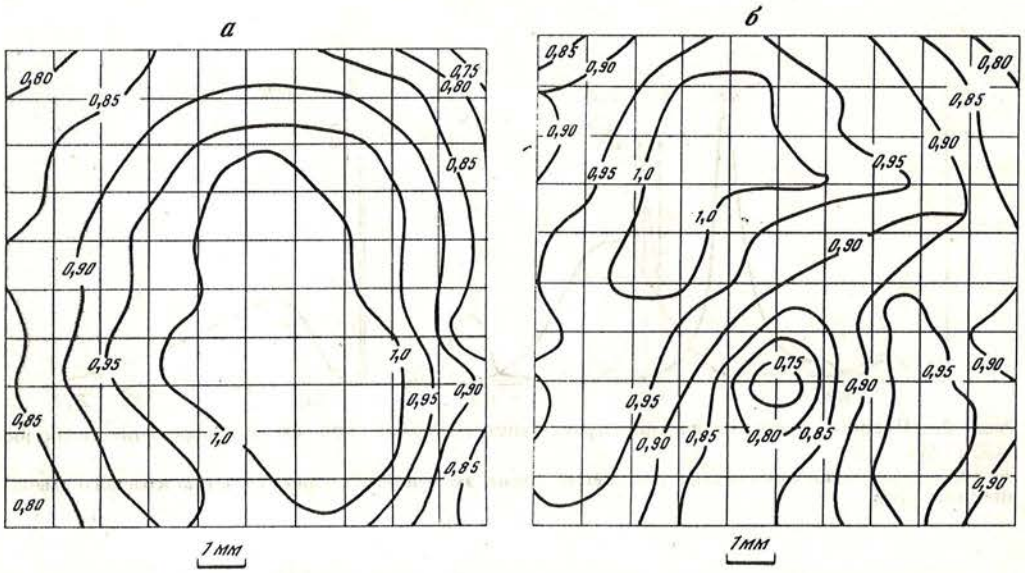


Рис. 4. Макронеоднородности фотометрического поля негативов, полученных с фильтрами $\lambda_{эф}$ *а* – 4400, *б* –7400 Å

тями, которые и определяют ошибки фотометрии. Условно мы называем эти ошибки соответственно микроошибками и макроошибками. Во всех полученных фотометрических разрезах были проведены средние плавные линии, характеризующие макроошибки фотометрического поля. Среднеквадратичное отклонение одного измерения от такой плавной кривой, полученное по всем 200 точкам фотометрического разреза рис. 3, равно ± 3,7 %. Это – микроошибка поля при плотности почернения $1{,}0 \geqslant D \geqslant 0{,}5$. Она оказалась в хорошем согласии с ошибкой, полученной по разбросу точек на характеристической кривой [16]. Для негатива, плотности почернения которого были заключены в пределах $0{,}3 \geqslant D \geqslant 0{,}15$, аналогичная микроошибка равна ± 8,0 %. Выявляется известный эффект: микроошибка измеренных интенсивностей уменьшается с ростом плотности почернения или отношение сигнал/шум растет. Этот эффект для разных сортов эмульсий исследовался, в частности, Брейдо [20]. Для пленок типа А-600 Казанского завода, которые мы использовали в своей работе, ошибки, связанные с микронеоднородностями этой фотоэмульсии, можно получить по данным Брейдо. Для плотности почернения 1,0 и 0,5 и нашей площади фотометрируемого элемента они соответственно равны ± 0,8 и ± 2,6 %. В связи с тем, что γ характеристических кривых в наших случаях были порядка 1, эти ошибки можно принять и для интенсивностей. Если в среднем для интервала почернений $1{,}0 \geqslant D \geqslant 0{,}5$ принять микроошибку интенсивности на фотоэмульсии равной ± 1,7 %, то видно, что микроошибка в нашем случае всего в 2 раза больше этой ошибки. Поэтому мы считаем, что экземпляр ЭОП УМ-92, который использовался нами, всего в 2 раза "увеличивает" ошибки, связанные с микронеоднородностями фотоэмульсии и является одним из лучших образцов такого рода приборов [19].

При измерениях негативов галактики NGC 1275 входное отвестие микрофотометра по площади было в 15 раз меньше, чем при измерении фотографий ночного неба. Поэтому фотометрические ошибки для плотностей почернения $1{,}0 \geqslant D \geqslant 0{,}5$, связанные с микронеоднородностями почернений фотоэмульсии, в этом случае составят в среднем ± 14 %.

На рис. 4, *а* и *б* показано распределение фотометрических ошибок по полю негатива, полученное после "сглаживания" микронеоднородностей, – это макроошибки соответ-

ственно для самых "синих" и самых "красных" лучей. Карта макроошибок негативов, полученных с зелеными фильтрами, практически совпадает с картой рис. 4, *а*. Карта макроошибок в красной области спектра ($\lambda_{эф}$ ~ 6090 Å) уже немного отличается – на ней появляется сходство с картой рис. 4, *б*. Рис. 4, *а* и *б* показывают, что макроошибки при применении фильтра $\lambda_{эф}$ 7400 Å не больше, чем в голубых лучах, но по полю они распределены несколько иначе. Максимальные значения макроошибок на рис. 4, *а* и *б* равны 25–30 %. Только в первом случае они имеют место на краю фотометрического поля, а во втором – в области, расположенной на 2 мм к югу от центра поля.

При фотометрии негативы галактики NGC 1275 ориентировались приблизительно одинаковым образом. Измерялась околоядерная область вместе с деталью *b* размером немного меньше 1 мм^2, а также звезды № 1 и № 2 (см. рис. 1), которые на картах стандартных звезд Лютого [8] стоят под теми же номерами. Вместе с отсчетами микрофотометра записывались две координаты измеряемой точки. Общий размер площади на одном негативе, включающей околоядерную область галактики и звезду сравнения, составлял (3,5 × 3,0) мм^2. Фотометрические плотности почернения на негативах для разных объектов были в пределах: 0,76–1,96 для ядра галактики; 0,28–1,15 для детали *b*; 0,23 –1,50 для звезды № 1 и 0,92–1,75 для звезды № 2. Это свидетельствует о том, что все измеренные области были нормальной плотности почернения и их фотометрические карты можно сравнивать между собой.

Результаты фотометрии

На каждой фотометрической карте галактики и звезд сравнения проводились изофоты в единицах максимальной центральной интенсивности объекта $J_ц$: $J = J_ц$, ¾ $J_ц$, ½ $J_ц$ и $^1/_4 J_ц$. На рис. 5 приведены карты распределения интенсивности по фотометрическому полю звезд № 1 и № 2, а на рис. 6 – галактики и детали *b* в разных лучах в произвольных единицах. Сопоставление размеров измеренных областей на рис. 5, 6 с размерами участков одинаковых макроошибок в центре негатива на рис. 3, 4 показывает, что на изофотах всех измеренных объектов могут сказываться только микроошибки фотометрии и они не будут искажены влиянием макроошибок.

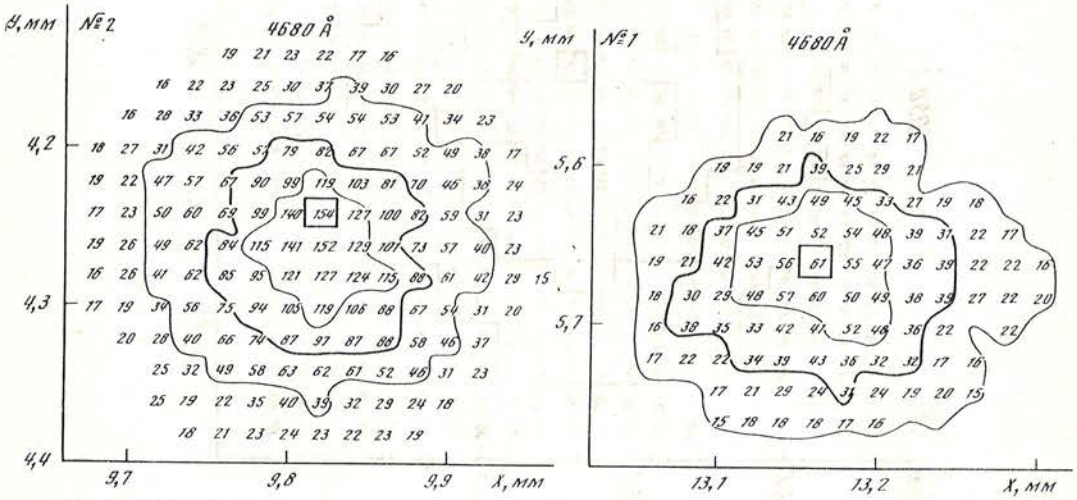


Рис. 5. Фотометрические карты звезд сравнения № 1 и № 2 (см. рис. 1), полученные для негативов в разных лучах

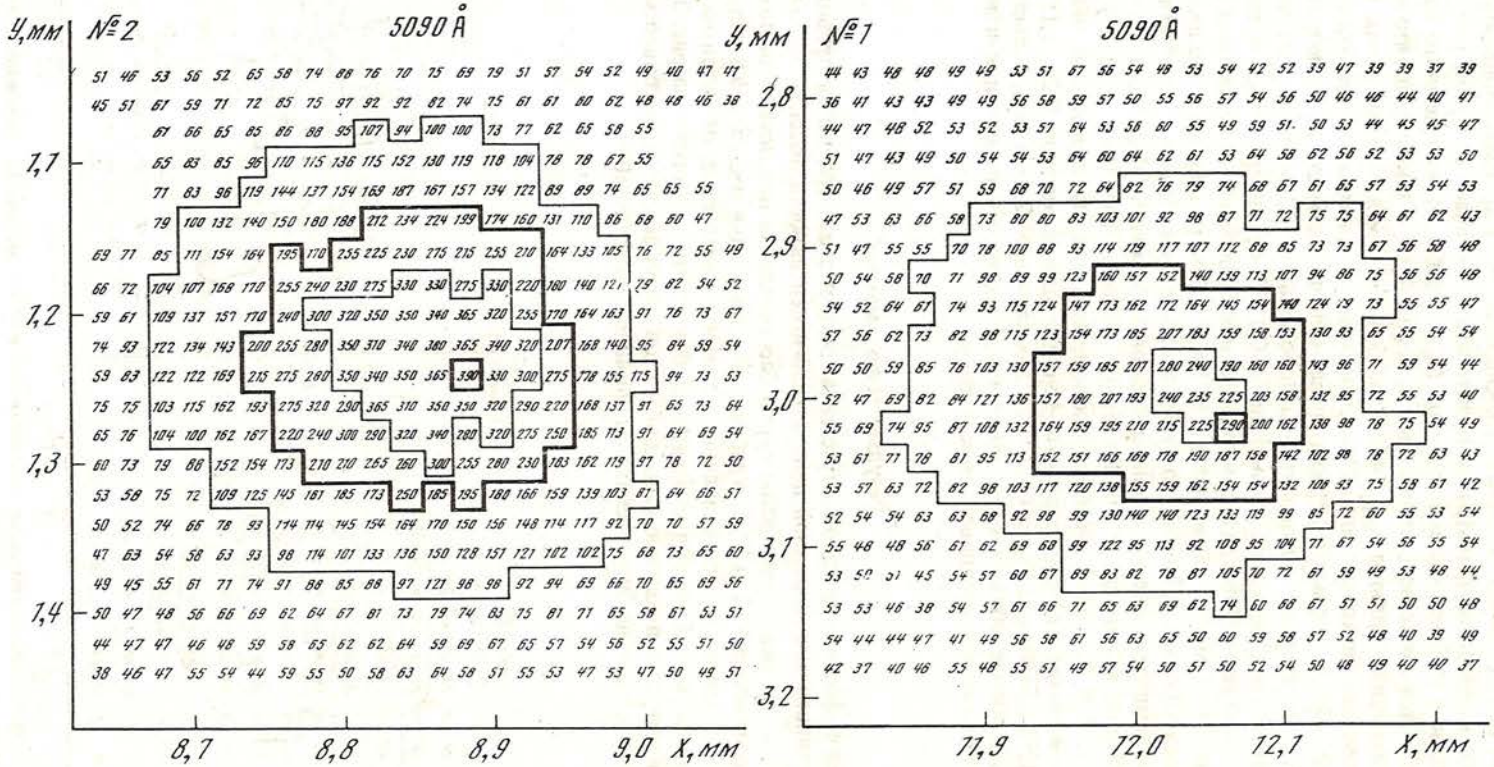


Рис. 5 (продолжение)

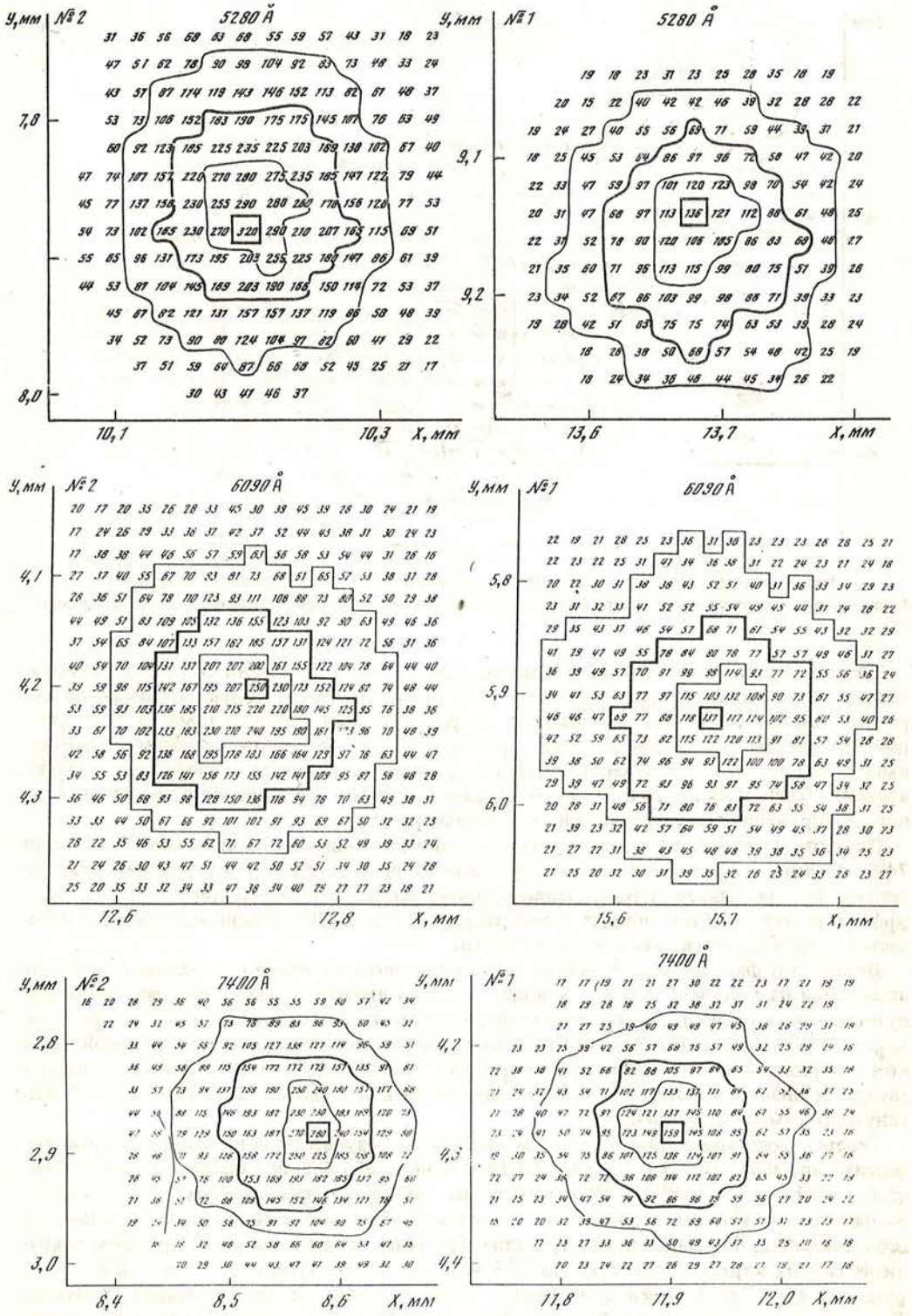


Рис. 5 (окончание)

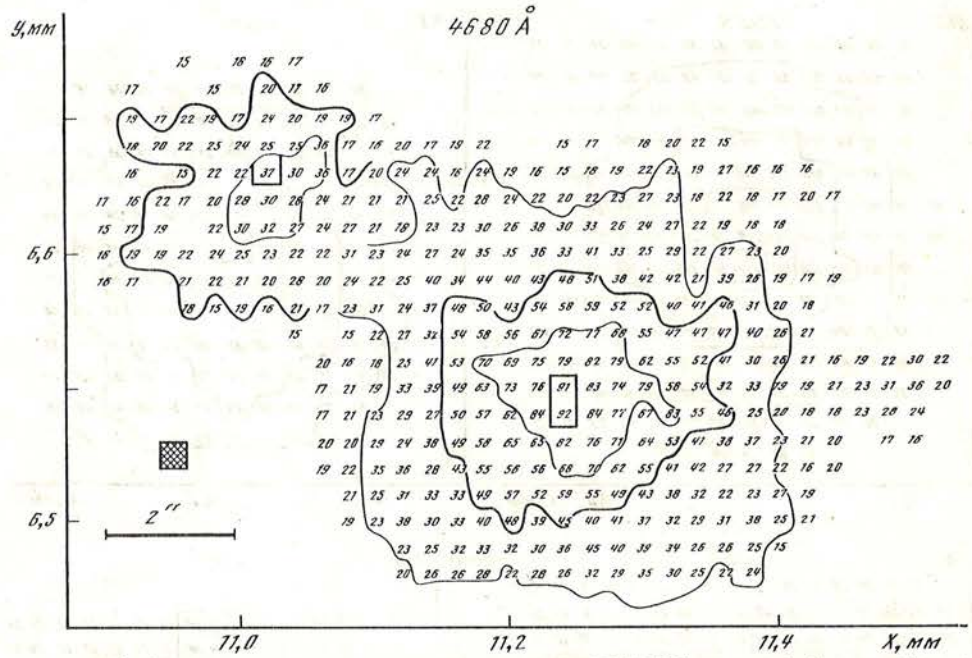


Рис. 6. Фотометрические карты для ядра галактики NGC 1275 и детали *b* (см. рис. 1)
Слева внизу – размер окна микрофотометра, использованного при измерении негативов, и масштаб

На рис. 7 приведено сравнение средних изофот звезд сравнения $(J_1 + J_2)/2$, полученных по негативам с $\lambda_{эф} \sim 4680$ (*1*), 5280 (*2*) и 7400 Å (*3*). Видно, что изофоты для разных цветов совпадают с точностью до размера окна микрофотометра и средний размер "звезды" на уровне $J = ½ J_ц$ равен 3″. Этот рузультат позволяет сделать вывод, что изофоты, полученные для звезд, можно сравнивать с изофотами околоядерной области галактики и детали *b*, принимая их как характеристику инструментального изображения. Такое сравнение показано на рис. 8.

Рассмотрим рис. 8 последовательно в порядке изменения цвета излучения от 4680 до 7400 Å. Ядро галактики во всех спектральных диапазонах на всех уровнях яркости больше звезды сравнения. Наибольшие различия наблюдаются на уровне $J = {}^1/_4 J_ц$. Этот эффект растет от синей области к инфракрасной, т.е. в ИК-области ядро больше отличается от звезды, чем в синей области спектра.

Деталь *b* в фильтре $\lambda_{эф} \sim 4680$ Å мало отличается от звезды, небольшое различие намечается на уровне $J = ½ J_ц$ – деталь *b* слегка вытянута к югу. Этот эффект вытянутости к югу растет в красную область спектра и сильнее всего проявляется в фильтре $\lambda_{эф} \sim 7400$ Å. Максимум яркости во всех фильтрах находится в северо-западной части всего образования. Эти данные подтверждают, что деталь *b* не звезда, а группировка звезд. На низких уровнях яркости она вытянута и ПУ вытянутости близок к ПУ вытянутости самого ядра галактики.

Теперь обратимся к рис. 9. На нем приведены результаты совмещения фотометрических карт, полученных с $\lambda_{эф} \sim 4680$ и 7400 Å для всей области в целом таким образом, чтобы изофоты звезд № 1 и № 2 совпали на них наилучшим образом. Видно, что это совпадение получилось с точностью до размера окна микрофотометра. Обращает на себя внимание, что максимумы яркости ядра галактики и объекта *b* при этом совпали на разных картах с точностью до 0″,5 или 180 пс. На уровнях $J = ¾ J_ц$ и $J = ½ J_ц$ размеры ядра практически одинаковы в разных лучах: т.е. на расстоянии вплоть до $J = ½ J_ц$ в ядре нет стратификации излучения. Различие заметно только на уровне

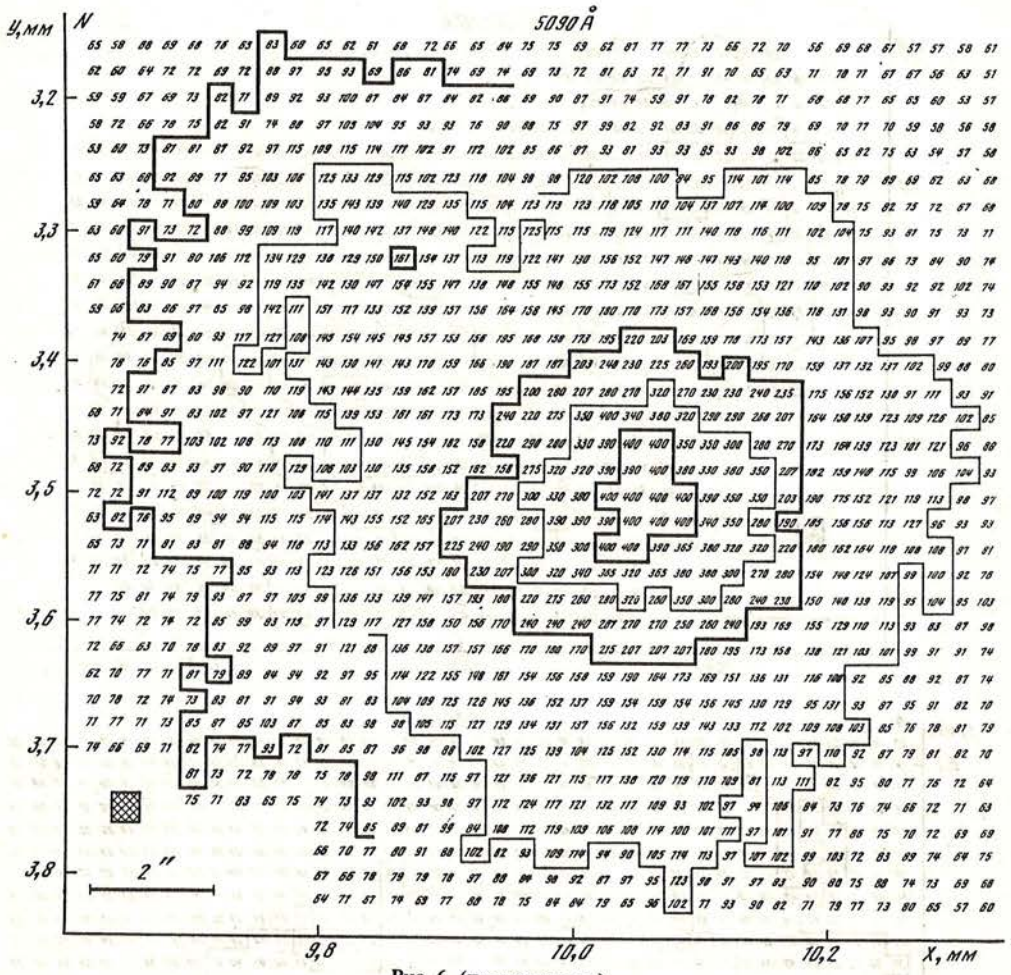


Рис. 6 (продолжение)

$J = {}^1/_4\, J_ц$, здесь инфракрасное изображение вытянуто сильнее, чем синее, в направлении примерно С–Ю. Деталь *b* вытянута в том же направлении, что и околоядерная область галактики, но степень вытянутости в инфракрасных лучах больше, чем в синих. Здесь вытянутость заметна не только на низких уровнях яркости, но и на уровне $J = ½ J_ц$.

Полученные нами данные вместе с ранее опубликованными позволяют сделать ряд выводов и предположений относительно эволюционных связей между ядерными и околоядерными образованиями галактики NGC 1275. Положения областей максимальной яркости ядра и звездообразной детали *b* в синих и инфракрасных лучах совпадают с точностью 0″,5, или 200 пс. И ядро и деталь *b* окружены вытянутыми образованиями. Если ядро расположено более или менее симметрично относительно вытянутого образования, то деталь *b* занимает в нем крайнее северо-западное положение. Наибольшей протяженности оба вытянутых образования достигают в инфракрасных лучах: для ядра это 9″, или 3 кпс, для детали *b* – 6″, или 2 кпс. Направления вытянутости обоих образований примерно совпадают между собой и имеют ПУ близкий к ПУ, известной пекулярной галактики NGC 1265, расположенной на расстоянии примерно 530 кпс от

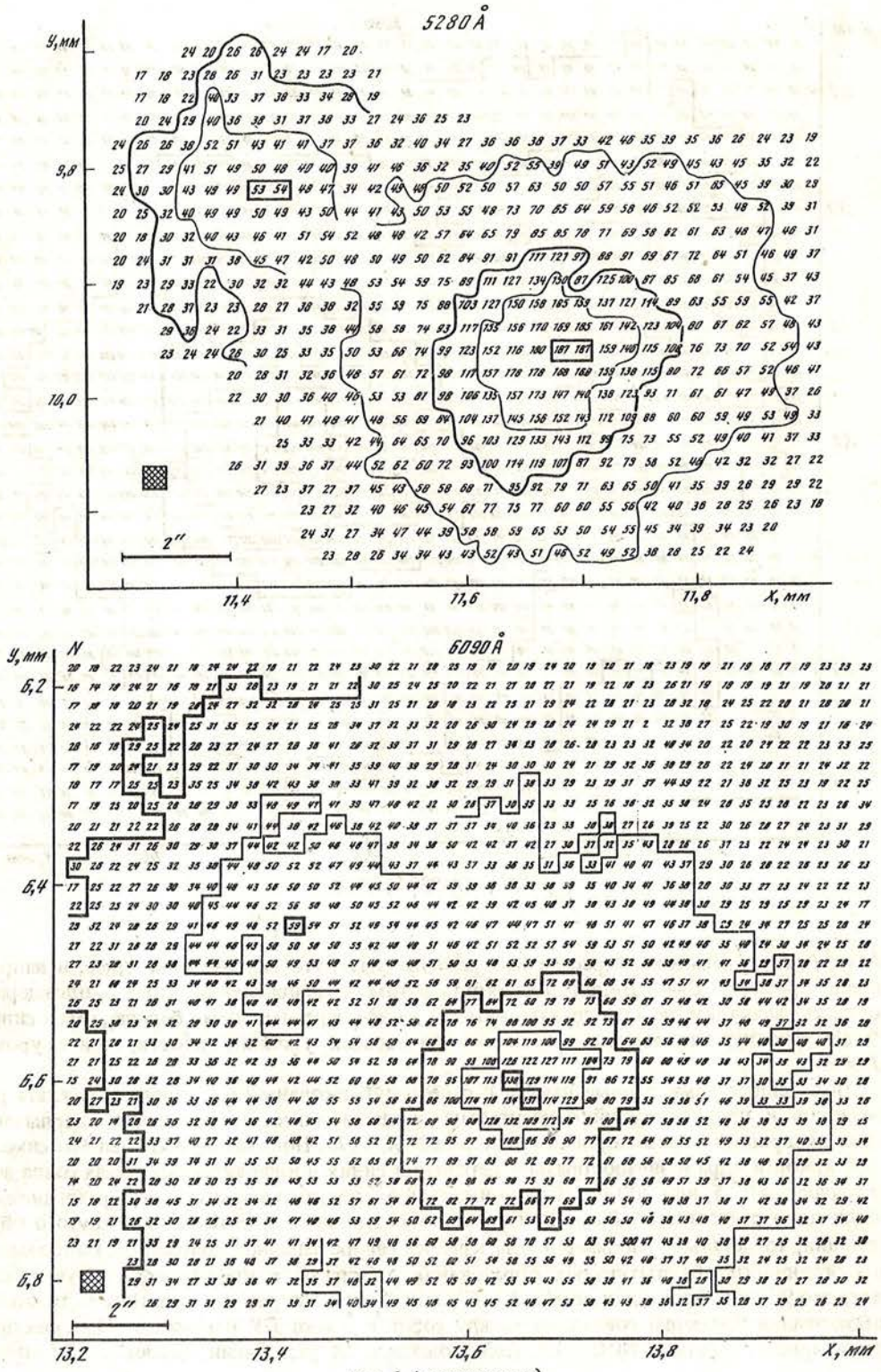


Рис. 6 (продолжение)

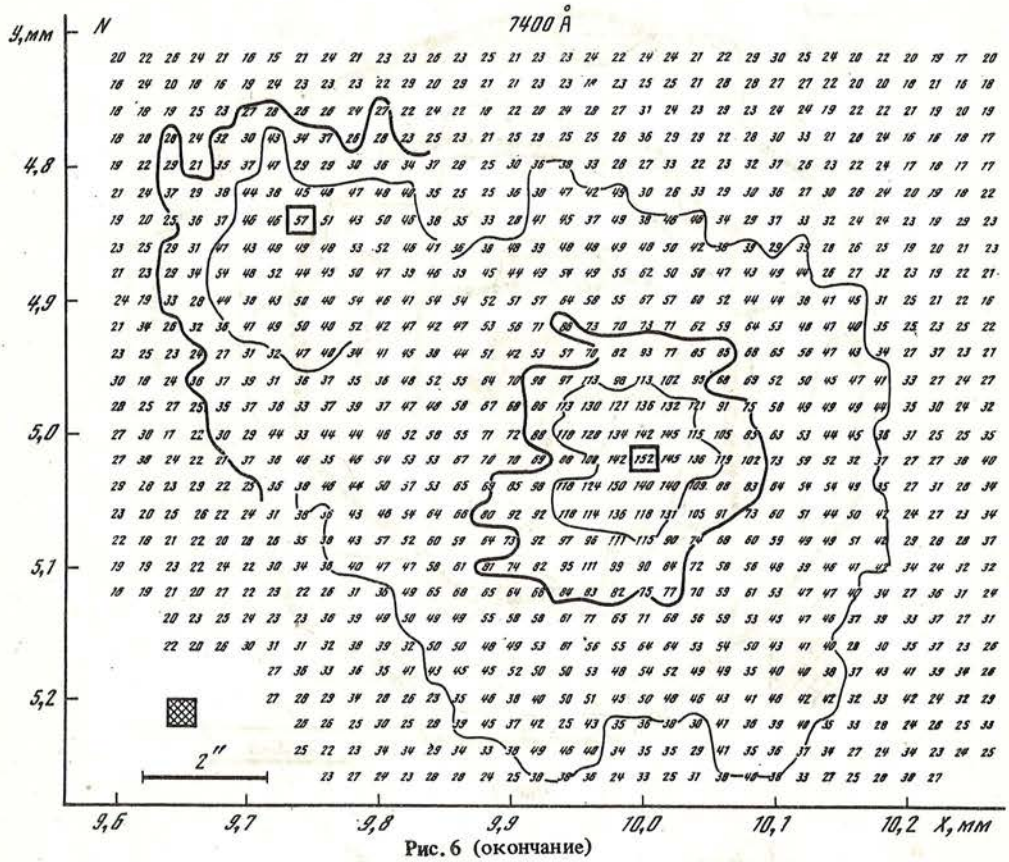


Рис. 6 (окончание)

NGC 1275 и движущейся относительно нее со скоростью +2200 км/с [21]. Для ядра галактики NGC 1275 этот общий ПУ совпадает с ПУ конуса ее активности и, как это уже отмечалось ранее, в этом же ПУ расположена область современного активного звездообразования. Как известно, у активных галактик часто наблюдаются области образования молодых звезд в конусах их активности. Но у детали *b* нет конуса активности. Более того, большинство исследователей придерживаются мнения, что деталь *b* – звезда нашей Галактики. Все эти факты приводят к предположению, что вытянутые звездные группировки, наблюдаемые около ядра галактики NGC 1275 и около детали *b* приобрели свою форму благодаря приливным силам со стороны галактики NGC 1265. Такое предположение подтверждается тем фактом, что наиболее яркая сверхассоциация горячих и молодых звезд и газа (деталь *c* на рис. 1) размером около 1000 пс [9] располагается в конусе активности со стороны ядра, как раз обращенной к галактике NGC 1265. Приливные силы действуют в течение времени, сравнимого с возрастом

Рис. 7. Изофоты $I = I_ц$, $3/4\ I_ц$, $1/2\ I_ц$ и $1/4\ I_ц$ средних фотометрических контуров звезд $(I_1 + I_2)/2$, полученные в разных лучах

Слева внизу – размер окна микрофотометра, использованного при измерении негативов, справа – масштаб

Рис. 8. Сравнение фотометрических контуров ядра галактики *а* и детали *б* (сплошные линии) с фотометрическими контурами звезды сравнения (прерывистые линии) в разных фильтрах

Слева внизу – размер окна микрофотометра и масштаб

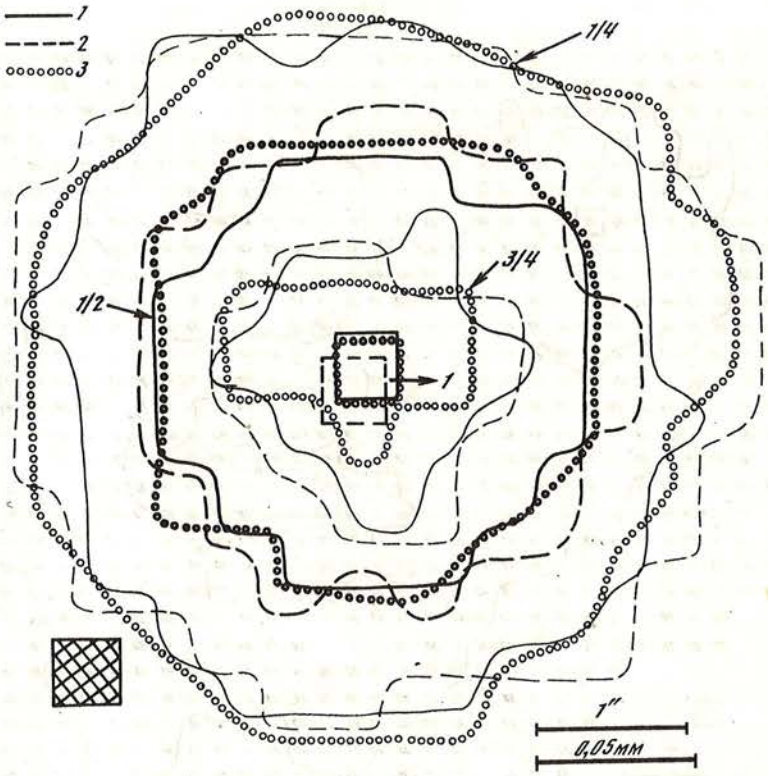


Рис. 7

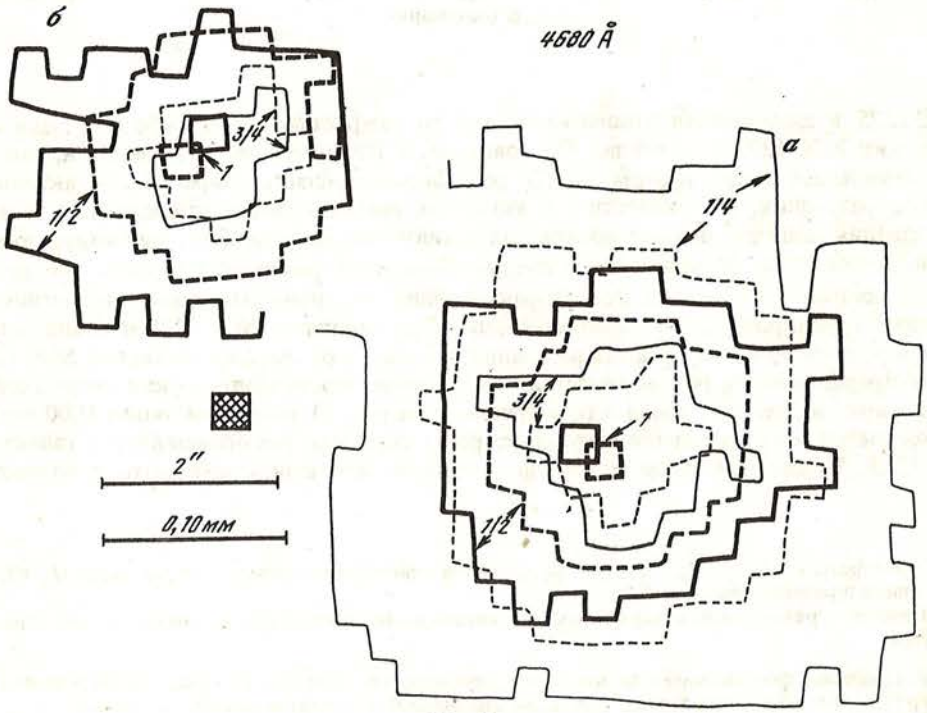


Рис. 8

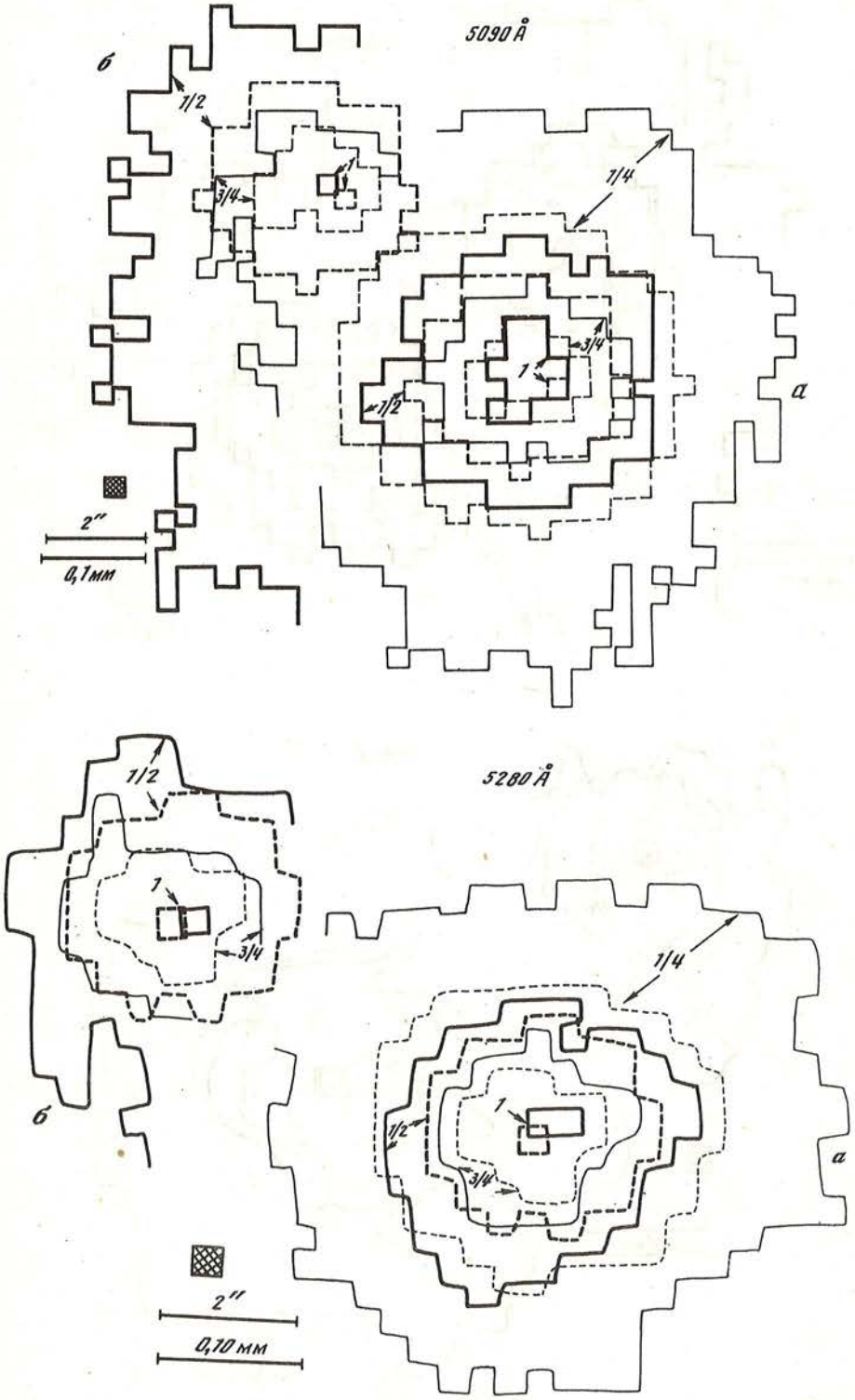
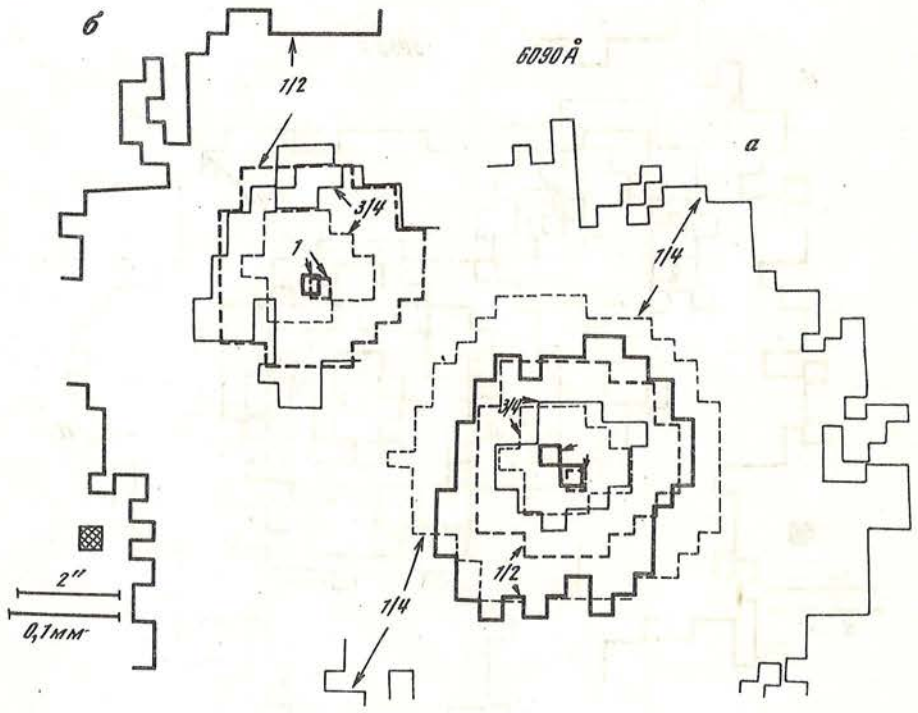


Рис. 8 (продолжение)



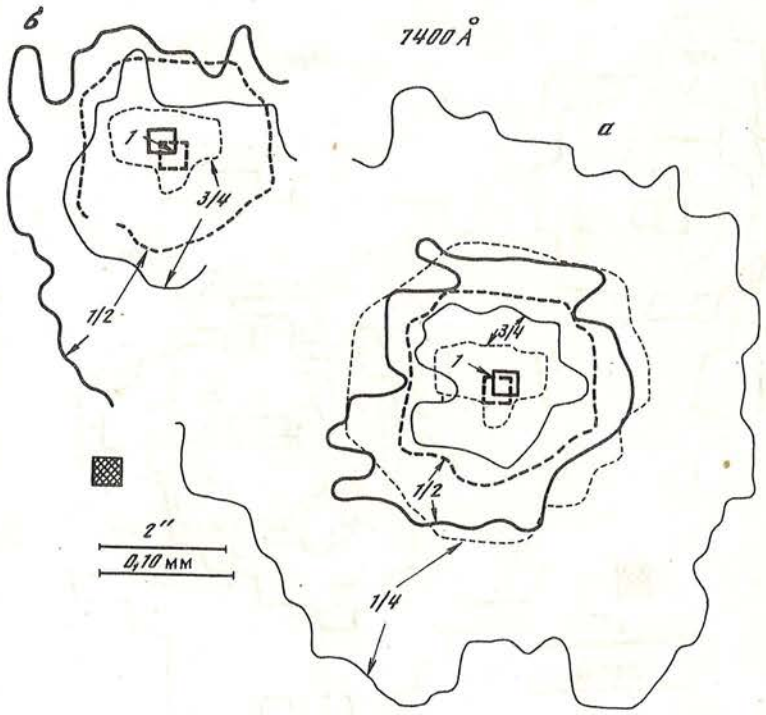


Рис. 8 (окончание)

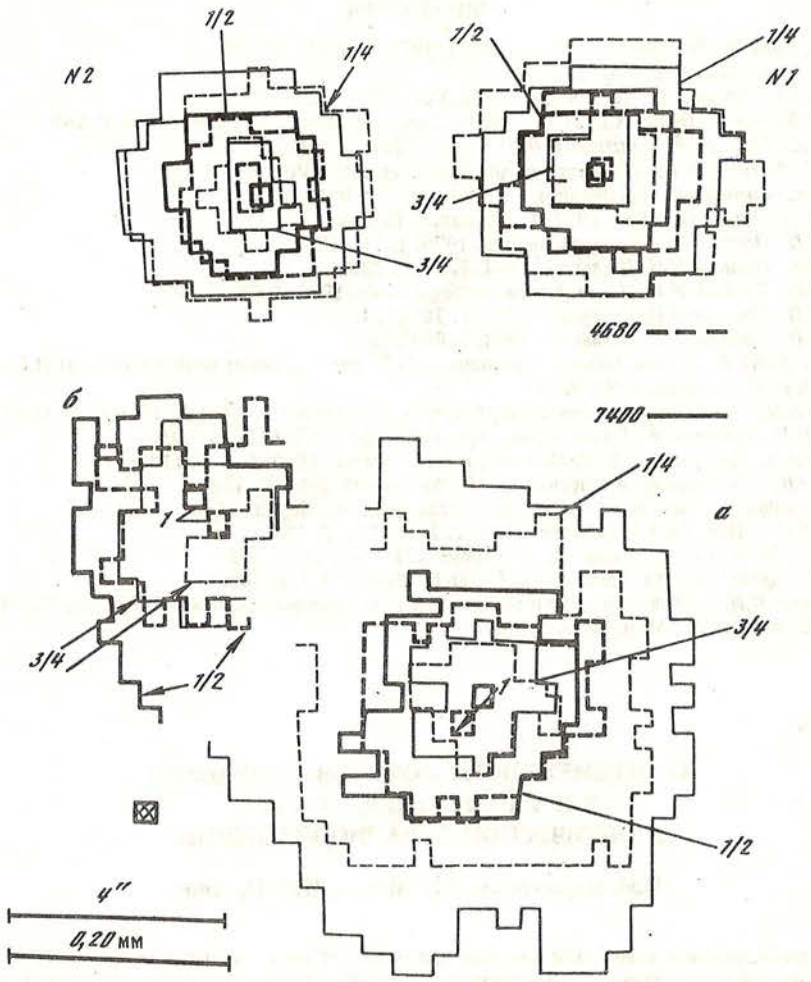


Рис. 9. Фотометрические карты ядра галактики и детали в двух спектральных областях после совмещения фотометрических карт звезд № 1 и № 2, как показано в верхней части рисунка
Слева внизу – размер окна микрофотометра и масштаб

галактик, $\sim 10^{10}$ лет – это как раз соответствует возрасту старых звезд, которые хорошо проявились в инфракрасном диапазоне волн: вытянутые группировки около ядра и детали *b*. Как подсчитал Райл [22], возраст радиоисточника галактики NGC 1275 (3C 84) порядка 10^7 лет. Келлерман оценивает возрасты других аналогичных радиоисточников равными 10^8–10^9 лет [23], т.е. это заведомо меньше возраста красных звезд, из которых состоят группировки около ядра и детали *b*. Таким образом, звездообразование около ядра NGC 1275 и детали *b* в позиционном угле порядка –15° шло уже до того, как возник конус активности. Отсюда напрашивается предположение, что направление конуса активности так же, как и областей активного звездообразования, обусловлено приливными силами. Можно предположить, что обнаруженный Матвеенко и Проник [6] конус активности ядра NGC 1275 в ПУ = 45° обусловлен приливными силами от объекта *b*.

Мы благодарны К.К. Чуваеву за предоставление негативов со снимками ночного неба, а также Е.А. Лиморенко, В.Т. Жоголевой и Л.И. Филатовой за помощь в обработке материала и изготовлении иллюстраций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Rubin V., Ford W., Peterson Ch.* // Astrophys. J. 1977. Vol. 211. P. 693.
2. *King I.* // Astron. J. 1966. Vol. 71. P. 64.
3. *Noordam J.E., Bruyn A.G., de* // Nature. 1982. Vol. 299. P. 597.
4. *Pedlar A., Booler R., Davies R.D.* // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. 1983. Vol. 203. P. 667.
5. *Fabian A.C., Nulsen P.E., Canizares C.R.* // Nature. 1984. Vol. 310. P. 733.
6. *Pronik I.I., Matveenko L.I.* // Astrophys. and Space Sci. 1990. Vol. 164. P. 285.
7. *Burbidge E., Burbidge G.* // Astrophys. J. 1965. Vol. 142. P. 1351.
8. *Лютый В.М.* // Астрон. журн. 1972. Т. 49, вып. 5. С. 930.
9. *Метик Л.П., Проник И.И.* // Астрофизика. 1979. Т. 15. С. 37.
10. *Метик Л.А., Проник И.И.* // Там же. 1984. Т. 21. С. 233.
11. *Метик Л.П., Проник И.И.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1987. Т. 76. С. 80.
12. *Метик Л.П., Проник И.И.* // Там же. 1988. Т. 78. С. 74.
13. *Метик Л.П., Проник И.И.* // Там же. 1988. Т. 80 С. 76.
14. *Pronik I., Metik L.* // New ideas in Astronomy: Proc. conf. in honor 60th birthday of H.C. Arp / Ed. F. Bertola et al. Pasadena, 1988. P. 119.
15. *Дудинов В.Н., Новиков С.Б., Проник И.И.* и др. // Письма в АЖ. 1990. Т. 16, вып. 2. С. 114.
16. *Проник И.И., Чуваев К.К.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1967. Т. 38. С. 219.
17. *Калиняк А.А., Красовский В.И., Никонов В.Б.* // Там же. 1950. Т. 6. С. 119.
18. *Щеглов П.В.* // Электронная телескопия. М.: Физматгиз. 1968. С. 129.
19. Телевизионная астрономия / Под ред. В.Б. Никонова. М.: Наука, 1984. С. 104.
20. *Брейдо И.И.* // Изв. ГАО в Пулкове. 1964. Т. 24, № 177. С. 171.
21. *Gisler G.R., Miley G.K.* // Astron. and Astrophys. 1979. Vol. 76. P. 109.
22. *Ryle M.* // Highlights of Astronomy / Ed. L. Perek. 1968. Vol. 1. P. 380.
23. *Келлерманн К.И.* // Галактическая и внегалактическая радиоастрономия / Под ред. Г.Л. Векслера, К.И. Келлерманна. М.: Мир, 1976. С. 531.

УДК 523.855

О ПЕРЕМЕННОСТИ ПОТОКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ЯДРА ГАЛАКТИКИ NGC 1275 В ОПТИЧЕСКОМ И РАДИОДИАПАЗОНЕ

Н.И. Меркулова, Л.П. Метик, И.И. Проник

Приведены результаты измерений потоков излучения от ядра галактики NGC 1275 на телескопе АЗТ-11 Крымской астрофизической обсерватории в области эмиссионных линий H_β, [OIII] 4959 ÷ ÷ 5007 Å и непрерывного спектра около $\lambda \sim 5200$ Å, которые проводились с диафрагмой 10″ и выходной щелью $\Delta\lambda = 80$ Å. За 12 ночей с 12.XI 1982 г. по 5.III 1984 г. выполнено по 101 измерению [8] и за 23 ночи с 15.I 1985 г. по 23.X 1987 г. – по 278 измерений в каждом спектральном диапазоне.

Гистограмма потоков в непрерывном спектре, построенная по полученным нами 379 оценкам, имеет двугорбую форму. Такую же форму имеют гистограммы потоков ядра галактики NGC1275 по данным радионаблюдений на 8 мм и 2,6 см. Высказано предположение, что двугорбая форма гистограммы в оптическом и радиодиапазоне обусловлена вспышечной активностью ядра галактики.

ON THE NGC 1275 NUGLEUS VARIABILITY IN OPTICAL AND RADIO WAVELENGTH REGIONS, *by N.I. Merkulova, L.P. Metik, I.I. Pronik.* The results of NGC 1275 nucleus emission fluxes measurements are given. They were measured at the Crimean Astrophysical Observatory on the AZT-11 telescope with entrance aperture 10 arc sec and scanner slit 80 Å, centered on the emission lines H_β, [OIII] λ 4959 ÷ ÷ 5007 Å and continuum. The 101 measurements for 12 nights in 12.XI 1982 – 5.III 1984 and 278 for 23 nights in 15.I 1985 – 23.X 1987 were carried out in each spectral region.

The histogram of the optical continuum fluxes, drawn by obtained 379 estimations has a two-hump shape. The histograms of NGC 1275 nucleus fluxes at 8 mm and 2.6 cm have a two-hump form, too. The supposition that the two-hump shape of the optical and radio histograms caused by burst activity of galaxy nucleus is put forward.

Сопоставление радио и оптической переменности ядра галактики NGC 1275 проводилось неоднократно [1–6]. Было показано, что в области свечения запрещенных линий [OII] и [SII] меняются n_e и T_e с изменением потока ядра на длинах волн 1,9 см и 2,8 см и с изменением параметров линейной поляризации в полосах *UBV*. При этом

предполагалось, что события в зоне свечения запрещенных линий запаздывают относительно радиособытий на 16 мес. [1, 2]. В [5] показано, что радиопоток ($\lambda = 3{,}3$ мм) относительно потока в UBV-диапазоне запаздывает на 2,2 года. Обнаружено сходство характеров медленных компонент оптической и радиопеременностей, имеющих между максимумами и минимумами яркости интервал 4 года [6]; время запаздывания или опережения здесь установить не удалось. Ниже проводится сравнение переменности ядра галактики NGC 1275 в оптическом и радиодиапазоне по гистограммам распределения потоков: в первом – около λ 5200 Å, во втором – на 8 мм и 2,6 см.

Использованные радиоданные получены из наблюдений в Крыму и Метсахови (Финляндия) [7], оптические данные – наши наблюдения. Последние выполнены со спектрофотометром АСП-38, установленным на 1,25-метровом телескопе АЗТ-11 Крымской астрофизической обсерватории с входной диафрагмой 10″. В спектре ядра галактики вырезались полосы шириной 80Å в области эмиссионных линий H_β, дублета λ 4959÷÷5007 [OIII] и непрерывного спектра около λ 5200 Å [8–11]. Наблюдения проводились методом дифференциальной фотометрии по отношению к звезде сравнения С2 из списка В.М. Лютого [12]. Иногда наблюдались контрольные звезды С1 и С3 из того же списка [12]. Продолжительность одного наблюдения, охватывающего три указанные полосы в спектре ядра галактики, фон неба и звезду сравнения, порядка получаса. В каждом спектральном диапазоне за ночь проведено от 1 до 44 таких измерений. В течение ночи 19–20.VII 1987 г. проведено 8 наблюдений планетарной туманности PKS 64 + 5°1 (размер ее – 3″, $m_{pg} = 10^m, 1$ [13]) в тех же спектральных интервалах и по той же методике, что и галактики NGC 1275. Среднеквадратичное отклонение одного измерения потока в относительных единицах равно ± 4,2%. Методика наблюдений и возможные инструментальные ошибки описаны в [8–11]. Потоки излучения от ядра галактики в спектральных диапазонах – H_β, [OIII] и непрерывном спектре (обозначенные I_1, I_2, I_3) по отношению к потоку звезды сравнения (I_*) измерялись с точностью ~5% ($\sigma \simeq 5\%$). Результаты наблюдений за 12 ночей с 12.XI 1982 г. по 5.III 1984 г., представляющие собой ряды из 101 измерения потока от ядра галактики в каждом из указанных спектральных диапазонов, опубликованы в [8]. За период – 15.I 1985 – 23.X 1987 (23 ночи) было получено таким же образом еще по 278 измерений. Эти данные приведены в столбцах 2, 3, 4 табл. 1.

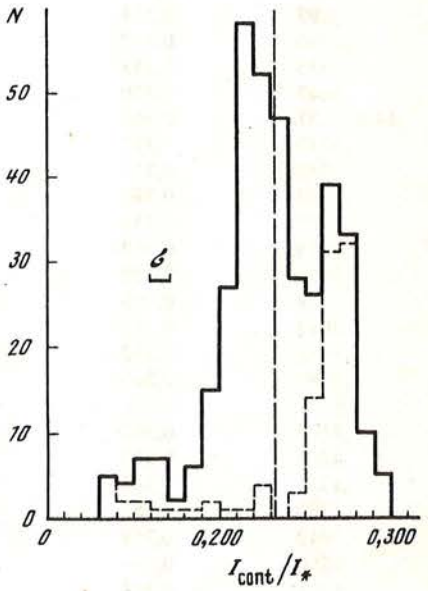


Рис. 1. Гистограмма распределения величин относительных потоков излучения ядра галактики NGC 1275 в непрерывном спектре I (λ) ~5200 Å по массиву из 379 измерений

σ – ошибка одного измерения, пунктир – данные наблюдений 1985 г. [14]

Таблица 1

Отношения величин потоков центральной области галактики NGC 1275 в диафрагме 10″ и звезды сравнения в трех диапазонах длин волн для разных дат наблюдений

Юлианская дата 2445000 +	I_1/I_*	I_2/I_*	I_3/I_*	Дата
1081,4007	0,358	0,578	0,278	15–16. I 1985
,4271	0,301	0,433	0,221	
,4521	0,325	0,476	0,244	
,4757	0,310	0,484	0,266	
,5049	0,289	0,456	0,226	
,5299	0,303	0,484	0,244	
1325,4014	0,262	0,298	0,200	16–17. IX 1985
,4167	0,195	0,247	0,136	
,4229	0,191	0,273	0,145	
,4361	0,203	0,239	0,140	
,4576	0,179	0,268	0,137	
,4924	0,212:	0,291:	0,159:	
,5056	0,184	0,291	0,150	
,5194	0,198	0,275	0,161	
,5361	0,233	0,338	0,188	
,5507	0,289	0,393	0,222	
1383,4889	0,190	0,274	0,159	13–14. XI 1985
1384,5431	0,275	0,387	0,203	14–15. XI 1985
,5639	0,271	0,389	0,200	
,5819	0,263	0,367	0,213	
,5986	0,229	0,355	0,176	
1406,2292	0,317	0,522	0,265	06–07. XII 1985
,2347	0,346	0,507	0,291	
,2500	0,340	0,510	0,259	
,2542	0,380	0,490	0,283	
,2684	0,343	0,522	0,285	
,2729	0,347	0,506	0,280	
,2847	0,334	0,512	0,274	
,2889	0,354	0,521	0,276	
,2990	0,347	0,497	0,266	
,3035	0,343	0,494	0,272	
,3142	0,340	0,501	0,276	
1406,3181	0,341	0,518	0,269	06–07. XII 1985
,3312	0,357	0,504	0,260	
,3358	0,344	0,516	0,277	
,3472	0,333	0,524	0,268	
,3507	0,353	0,500	0,265	
,3618	0,369	0,516	0,270	
,3656	0,349	0,508	0,283	
,3778	0,345	0,516	0,264	
,3812	0,345	0,503	0,284	
,3944	0,352	0,527	0,266	
,3983	0,345	0,513	0,266	
,4125	0,343	0,521	0,269	
,4167	0,362	0,523	0,269	
,4292	0,347	0,500	0,268	
,4333	0,348	0,500	0,270	
,4500	0,357	0,524	0,282	
,4542	0,357	0,520	0,296	
,4660	0,344	0,497	0,266	
,4701	0,343	0,517	0,265	

Таблица 1 (продолжение)

Юлианская дата 2445000 +	I_1/I_*	I_2/I_*	I_3/I_*	Дата
,4806	0,327	0,469	0,271	
,4840	0,335	0,491	0,258	
,4965	0,348	0,489	0,257	
,5007	0,341	0,507	0,272	
,5208	0,320	0,478	0,256	
,5250	0,326	0,487	0,260	
,5375	0,321	0,478	0,267	
,5410	0,310	0,475	0,257	
,5542	0,324	0,494	0,264	
,5576	0,356	0,494	0,274	
,5712	0,326	0,498	0,266	
,5736	0,356	0,503	0,277	
,5861	0,341	0,466	0,230	
,5899	0,306	0,428	0,247	
1407,2128	0,354	0,514	0,275	07–08.XII 1985
,2174	0,351	0,499	0,258	
,2292	0,361	0,501	0,296	
,2341	0,340	0,502	0,281	
,2451	0,334	0,511	0,280	
,2496	0,338	0,513	0,266	
,2611	0,363	0,520	0,284	
,2660	0,343	0,508	0,262	
,2785	0,349	0,501	0,280	
,2826	0,347	0,503	0,270	
,2938	0,343	0,531	0,264	
,2986	0,347	0,504	0,278	
,3097	0,354	0,518	0,272	
,3139	0,328	0,508	0,270	
,3264	0,343	0,513	0,294	
,3316	0,356	0,504	0,277	
,3465	0,357	0,516	0,272	
,3507	0,348	0,521	0,272	
1408,3469	0,318	0,490	0,271	08–09.XII 1985
,3510	0,333	0,478	0,261	
,3611	0,352	0,494	0,263	
,3653	0,350	0,520	0,251	
,3778	0,355	0,498	0,274	
,3816	0,342	0,501	0,263	
,3924	0,336	0,501	0,259	
,3972	0,345	0,483	0,280	
,4083	0,355	0,492	0,264	
,4118	0,345	0,514	0,278	
,4236	0,349	0,510	0,265	
,4278	0,357	0,504	0,268	
,4396	0,346	0,500	0,276	
,4438	0,343	0,493	0,279	
,4562	0,352	0,497	0,274	
,4601	0,352	0,492	0,265	
,4708	0,356	0,518	0,296	
,4750	0,360	0,513	0,278	
,4864	0,354	0,506	0,280	
,4889	0,336	0,512	0,285	
,5000	0,323	0,510	0,275	
1408,5042	0,345	0,511	0,281	08–09.XII 1985
,5153	0,372	0,468	0,258	

Таблица 1 (продолжение)

Юлианская дата 2445000 +	I_1/I_*	I_2/I_*	I_3/I_*	Дата
,5194	0,311	0,446	0,258	
,5319	0,306	0,448	0,252	
,5354	0,334	0,475	0,259	
,5483	0,350	0,496	0,279	
,5500	0,349	0,488	0,282	
,5604	0,341	0,477	0,277	
,5653	0,329	0,479	0,275	
1409,2549	0,333	0,454	0,232	09–10.XII 1985
,2597	0,253	0,431	0,224	
1469,2892	0,274	0,402	0,212	07–08.II 1986
,2931	0,262	0,429	0,211	
,3042	0,282	0,423	0,217	
,3090	0,284	0,434	0,218	
,3201	0,276	0,430	0,226	
,3243	0,278	0,434	0,223	
,3375	0,275	0,444	0,237	
,3417	0,275	0,432	0,241	
,3618	0,275	0,413	0,235	
,3660	0,268	0,424	0,221	
,3799	0,256	0,394	0,216	
,3840	0,253	0,383	0,217	
,3958	0,266	0,378	0,223	
,3996	0,271	0,389	0,231	
1712,5257	0,319	0,480	0,244	08–09.X 1986
,5417	0,333	0,508	0,245	
,5466	0,327	0,512	0,264	
1714,3931	0,324	0,550	0,264	10–11. X 1986
,4097	0,320	0,517	0,264	
,4139	0,314	0,472	0,237	
,4389	0,328	0,418	0,270	
,4465	0,279	0,415	0,201	
1715,3354	0,259	0,428	0,233	11–12.X 1986
,3396	0,253	0,414	0,218	
,3528	0,287	0,440	0,239	
,3573	0,283	0,466	0,218	
,3826	0,306	0,453	0,232	
,3875	0,290	0,440	0,236	
,4062	0,289	0,454	0,238	
1715,4111	0,269	0,444	0,234	11–12.X 1986
,4312	0,284	0,472	0,228	
,4354	0,256	0,466	0,216	
,4493	0,294	0,466	0,227	
,4535	0,292	0,460	0,230	
,4757	0,294	0,452	0,222	
,4861	0,290	0,444	0,216	
,5111	0,302	0,435	0,238	
,5153	0,271	0,420	0,225	
,5458	0,286	0,383	0,167	
,5500	0,297	0,392	0,222	
,5618	0,267	0,396	0,218	
,5667	0,267	0,416	0,223	
,5806	0,267	0,398	0,207	
,5847	0,270	0,430	0,231	
1717,4861	0,258	0,380	0,209	13–14.X 1986

Таблица 1 (продолжение)

Юлианская дата 2445000 +	I_1/I_*	I_2/I_*	I_3/I_*	Дата
1717,4903	0,267	0,418	0,213	
,5070	0,316	0,457	0,216	
,5111	0,264	0,415	0,216	
,5250	0,275	0,402	0,201	
,5299	0,268	0,364	0,201	
,5493	0,298	0,443	0,218	
,5535	0,303	0,431	0,222	
,5674	0,250	0,390	0,226	
,5708	0,276	0,430	0,227	
,5872	0,292	0,411	0,206	
,5913	0,294	0,426	0,232	
1746,5521	0,229	0,388	0,194	11–12.XI 1986
,5587	0,259	0,378	0,201	
,5712	0,291	0,411	0,224	
,5754	0,286	0,405	0,233	
,5906	0,245	0,326	0,195	
,5944	0,249	0,363	0,199	
,6118	0,206	0,350	0,192	
,6167	0,241	0,371	0,191	
1769,2312	0,155	0,211	0,143	04–05.XII 1986
,2358	0,175	0,207	0,154	
1770,3715	0,269	0,454	0,222	05–06.XII 1986
,3778	0,270	0,429	0,198	
1770,3951	0,268	0,435	0,214	05–06.XII 1986
,3993	0,279	0,426	0,214	
1771,2681	0,316	0,490	0,248	06–07.XII 1986
,2722	0,306	0,446	0,234	
,2861	0,284	0,453	0,193	
,2903	0,301	0,457	0,187	
,3042	0,268	0,432	0,200	
,3083	0,264	0,440	0,227	
,3271	0,303	0,453	0,233	
,3368	0,293	0,489	0,255	
,3514	0,315	0,506	0,236	
,3562	0,305	0,480	0,238	
,3736	0,277	0,464	0,214	
,3778	0,297	0,462	0,215	
,3958	0,310	0,485	0,233	
,4000	0,313	0,497	0,221	
,4139	0,326	0,523	0,242	
,4186	0,328	0,519	0,238	
,4319	0,287	0,462	0,276	
,4361	0,288	0,474	0,248	
,4528	0,300	0,505	0,253	
,4569	0,302	0,487	0,236	
,4743	0,239	0,440	0,218	
,4812	0,270	0,456	0,224	
,5215	0,313	0,519	0,259	
,5389	0,305	0,499	0,238	
,5431	0,308	0,463	0,240	
,5604	0,285	0,470	0,233	
,5653	0,289	0,471	0,255	
,5882	0,289	0,516	0,255	
1771,5931	0,293	0,402	0,230	

Таблица 1 (продолжение)

Юлианская дата 2445000 +	I_1/I_*	I_2/I_*	I_3/I_*	Дата
1772,2708	0,285	0,430	0,243	07–08.XII 1986
,2757	0,279	0,408	0,211	
,2965	0,296	0,427	0,232	
,3007	0,285	0,453	0,218	
,3201	0,285	0,454	0,225	
,3250	0,287	0,432	0,232	
,3611	0,313	0,501	0,250	
,3653	0,328	0,466	0,227	
,3875	0,300	0,467	0,224	
1772,3924	0,308	0,492	0,244	07–08.XII 1986
,4097	0,272	0,445	0,251	
,4153	0,285	0,442	0,240	
,4319	0,285	0,464	0,233	
,4361	0,272	0,450	0,235	
,4556	0,275	0,400	0,218	
,4604	0,302	0,514	0,246	
,4812	0,291	0,487	0,264	
,4875	0,313	0,474	0,245	
,5097	0,322	0,499	0,257	
,5167	0,322	0,510	0,268	
,5410	0,296	0,424	0,236	
,5493	0,281	0,432	0,215	
1773,2271	0,369	0,489	0,251	08–09.XII 1986
,2312	0,349	0,512	0,245	
,2590	0,367	0,510	0,267	
,2639	0,354	0,495	0,264	
,3083	0,319	0,575	0,260	
,3132	0,323	0,489	0,243	
,3479	0,314	0,518	0,243	
,3521	0,314	0,490	0,251	
,3736	0,315	0,473	0,247	
,3785	0,303	0,465	0,250	
,4031	0,305	0,474	0,242	
,4090	0,296	0,468	0,229	
1831,2625	0,310	0,488	0,250	04–05.II 1987
,2670	0,317	0,472	0,229	
,2840	0,317	0,480	0,242	
,2882	0,307	0,432	0,238	
,3028	0,300	0,458	0,240	
,3076	0,328	0,491	0,220	
,3222	0,328	0,468	0,222	
,3271	0,305	0,464	0,234	
,3438	0,261	0,479	0,220	
,3472	0,276	0,461	0,223	
,3611	0,253	0,462	0,203	
,3653	0,282	0,378	0,236	
,3854	0,294	0,448	0,257	
,3882	0,290	0,449	0,219	
2055,5014	0,178	0,237	0,140	16–17.IX 1987
,5479	0,160	0,272	0,138	
2056,4549	0,298	0,517	0,237	17–18.IX 1987
,4583	0,314	0,502	0,235	
,4799	0,290	0,472	0,228	
,4840	0,291	0,461	0,221	
,5007	0,282	0,423	0,183	

Таблица 1 (окончание)

Юлианская дата 2445000 +	I_1/I_*	I_2/I_*	I_3/I_*	Дата
,5056	0,276	0,443	0,224	
,5215	0,270	0,418	0,215	
,5285	0,275	0,411	0,213	
,5465	0,283	0,449	0,219	
,5514	0,262	0,453	0,226	
,5694	0,296	0,476	0,240	
,5743	0,283	0,476	0,240	
2092,3809	0,260	0,457	0,231	23–24.X 1987
,3917	0,257	0,462	0,214	

Весь массив наблюдений за 35 ночей включает по 379 измерений в каждом спектральном диапазоне. Предварительный анализ данных проведен по средним за ночь значениям потоков. Отмечено увеличение потока излучения в линиях при увеличении потока в континууме. Изменения эти от ночи к ночи достигали 40% [11].

В [14] по гистограммам распределения величин потоков проведен анализ данных по каждому из массивов для линий H_β, [OIII] и континуума. Стандартные отклонения в каждом из трех массивов превышают ошибки наблюдений в 2–3 раза, что свидетельствует о существовании переменности в линиях и континууме от ночи к ночи. Распределение величин отношений потоков I_{cont}/I_* имеет двугорбую форму (рис. 1) и средние значения I_{cont}/I_* для пиков равны 0,219 и 0,271. Изменение яркости центральной области галактики NGC 1275 размером 10″ согласно рис. 1 без учета вклада правого пика равно ± 13%. Наши данные позволяют определить звездные величины центральной области галактики в диафрагме 10″, если учесть характеристики звезды сравнения C2 согласно [12] ($V = 12^m,31$; $B - V = +0^m,58$; $U-B = +0^m,13$) которые соответствуют звезде спектрального класса GO [15].

Представляло интерес выяснить степень переменности ядра галактики NGC 1275, которая соответствует ± 13% изменения яркости центральной области размером 10″ и сравнить их с изменениями, которые наблюдал В.М. Лютый для галактики NGC 1275 примерно в тот же интервал времени, что и мы (с 22.XI 1982 по 24.VIII 1987 г.) в диафрагме 27″ [16]. Все сравнения были сделаны при использовании многоапертурных наблюдений А.В. Засова и В.М. Лютого за 1967–1970 гг. [17]. Результаты вычислений приведены в столбцах табл. 2: 1 – размер диафрагмы; 2 – данные Засова, Лютого [17];

Таблица 2

Яркость и степень вспышечной активности ядра галактики NGC 1275 в разных диафрагмах в период 1982–1987 гг.

D,″	1967–1970 гг.	12.XI 1982–23.X 1987		
	V [17]	V	ΔV, %	$I_{всп}/I_{сп}$, %
1	2	3	4	5
5	$13^m,98$	$14^m,88$	+28	63
10	13,61	14,17	+13	24
28,5	12,65	12,85	+4	7

Примечание. По данным Лютого [16] за период XI 1982 –VIII 1987 получены следующие данные при диафрагме 27″: среднее значение $V = 12^m,85$; среднеквадратичное отклонение единичного измерения $\Delta V = 4\%$.

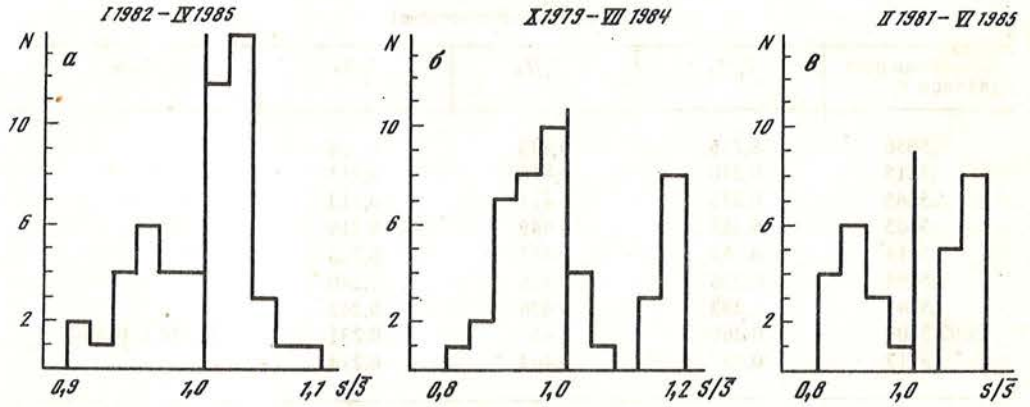


Рис. 2. Гистограммы распределения радиопотоков ядра галактики NGC 1275
а – на волне 2,6 см по наблюдениям в Метсахови [7], *б* – на волне 8 мм по наблюдениям в Метсахови, *в* – на волне 8 мм по наблюдениям в Крыму

3, 4 – вычисленные значения V и степень переменности потока, соответствующие левому максимуму (см. рис. 1); 5 – отношение яркости галактики $I_{всп}$, соответствующей правому максимуму, к ее яркости $I_{сп}$, соответствующей левому максимуму. Как видно из таблицы, согласие наших данных, вычисленных для диафрагмы 27″, и данных В.М. Лютого очень хорошее. Из этой же таблицы следует, что при переходе от диафрагмы 10″ к диафрагме 5″ переменность яркости центральной области возрастает от ± 13 до ± 28%, а изменение яркости галактики при переходе от левого пика к правому – от 24 до 63%.

На рис. 2, *а–в* приведены гистограммы радиопотоков ядра галактики NGC 1275 – 3C 84, полученные по наблюдениям в Крыму и Метсахови (Финляндия) на длинах волн 8 мм и 2,6 мм [7]. Как и в оптическом диапазоне, гистограммы имеют двугорбую форму. Объяснить это можно, например, известным фактом вспышечной активности радиоядра 3C 84 [18], когда яркость ядра резко возрастает. Можно предположить, что правые пики (см. рис. 2) обусловлены такими вспышками, а левые – "спокойным" состоянием радиоядра. Не исключено, что в "спокойном" состоянии яркость ядра меняется, но эти изменения значительно меньше, чем при вспышках.

Двугорбость гистограммы (см. рис. 1) можно аналогично объяснить вспышечной активностью ядра галактики NGC 1275 в оптическом диапазоне. Тогда левый пик характеризует ядро в "спокойном" состоянии. Но "спокойствие" это относительно. Как мы видели, наблюдается переменность потока излучения в фильтре V в диафрагмах 10 и 5″ – соответственно ± 13 и ± 28%. Примерно в 40% случаев во время наших наблюдений (1982–1987 гг.) происходили более яркие вспышки, когда поток излучения ядра превышал средний уровень в спокойном состоянии в диафрагме 5″ на 63%. Длительные ряды наблюдений В.М. Лютым ядра этой галактики в диапазоне UBV показывают, что наши наблюдения проводились во время минимума его активности [16]. Поэтому полученные нами данные отражают сложный характер переменности ядра в таком минимуме.

Предположение о двух типах активности ядра галактики NGC 1275 не противоречит представлению, что слабые вспышки локализованы в самом ядре галактики, а яркие, определяющие правые пики (см. рис. 1 и 2) – на некотором расстоянии от него. Например, такая ситуация наблюдается в известной галактике NGC 4486 [19]. Подтверждений такому предположению пока нет. Есть свидетельства, что в оптическом диапазоне ядро галактики NGC 1275 маленькое, но не точечное [20,21]. В радиодиапазоне ядро размером 1″ тоже не разрешено [22]. В ядре наблюдается структура в миллисекундной шкале, вытянутая в позиционном угле –10° [23]. Многие радиоастрономы считают, что эта структура точно совпадает с оптическим ядром галактики. Но пока такая

точка зрения остается предположением. Более того, получены новые астрометрические данные, согласно которым радиоядро смещено относительно оптического к юго-востоку, т.е. в направлении вытянутой радиоструктуры [21]. Можно предположить, что наблюдаемая радиоструктура есть радиоджет, а само радиоядро, более слабое по сравнению с этим джетом, не наблюдается. Возможно, что именно оно совпадает по положению с оптическим ядром галактики NGC 1275.

Мы благодарны Н.С. Нестерову за оттиски работ по радиоданным, а также Е.А. Лиморенко, В.Т. Жоголевой и Л.И. Филатовой за помощь в обработке материала и изготовлении рисунков.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Проник И.И.* // Астрон. журн. 1977. Т. 54. С. 260.
2. *Проник И.И.* // Письма в АЖ. 1979. Т. 5. С. 115.
3. *Epstein E.E., Pomphery R.B.* // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1979. Vol. 91. P. 163.
4. *Комберг Б.В., Лютый В.М.* // Письма в АЖ. 1980. Т. 6. С. 7.
5. *Лютый В.М.* // Письма в АЖ. 1980. Т. 6. С. 223.
6. *Мухаметшина В.Н.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1987. Т. 74. С. 86.
7. *Salonen E., Teräsranta H., Urpo S.* et al. // Astron. and Astrophys. 1987. Vol. 70. P. 409.
8. *Меркулова Н.И., Проник И.И.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1987. Т. 77. С. 135.
9. *Меркулова Н.И.* // Там же. 1986. Т. 75. С. 175.
10. *Меркулова Н.И., Метик Л.П., Проник И.И.* // Там же. 1987. Т. 77. С. 144.
11. *Меркулова Н.И., Метик Л.П., Проник И.И.* // Там же. 1988. Т. 79. С. 138.
12. *Лютый В.М.* // Астрон. журн. 1972. Т. 49. С. 930.
13. *Perek L., Kohoutek L.* // Catalogue of galactic planetary nebulae. Prague, 1967. P. 276.
14. *Меркулова Н.И., Метик Л.П., Проник И.И.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1990. Т. 82. С. 61.
15. *Страйжис В.Л.* // Многоцветная фотометрия звезд. Вильнюс: Мокслас, 1977. С. 105.
16. *Лютый В.М.* // Астрон. журн. (В печати).
17. *Засов А.В., Лютый В.М.* // Там же. 1973. Т. 50. С. 253.
18. *Wright M.C.H., Backer D.C., Carlstrom J.E.* et al. // Astrophys. J., 1988. Vol. 329. P. L61.
19. *Проник В.И., Проник И.И., Чуваев К.К.* // Астрон. журн. 1967. Т. 44. С. 965.
20. *Moffet A.T.* // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1968. Vol. 80, N 472. P. 16.
21. *Дудинов В.Н., Новиков С.Б., Проник И.И.* и др. // Письма в АЖ. 1990. Т. 16. С. 114.
22. *Pedlar A., Booler R.V., Davies R.D.* // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. 1983. Vol. 203. P. 667.
23. *Romney J.D., Alef W., Pauliny-Toth I.I.K.* et al. // Extragalactic radio sources: Proc. IAU Symp. N 97 / Ed. D.S. Heeschen, C.M. Wade. Dordrecht; Boston; L., 1982. P. 291.

УДК 524.7 + 524.33 + 530.12

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ АКТИВНЫХ ЯДЕР ГАЛАКТИК И АНОМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ФАЗ

В.А. Котов, В.М. Лютый*

Рассмотрены данные о быстрой переменности 20 АЯГ, включая, например, BL Lac, Mrk 421 и PKS 2155-304) с целью поиска "повсеместной" 160-минутной периодичности. Оптические наблюдения были выполнены в 1968–1989 гг. в различных наземных обсерваториях, рентгеновские – получены на спутниках (HEAO-1, Ариэль-5 и EXOSAT) в 1975–1986 гг. и опубликованы разными авторами. Присутствие 160-минутного периода установлено у всех 20 внегалактических объектов, но с различной статистической значимостью (от $\sim 2\sigma$ до $\sim 4\sigma$).

Наиболее удивительно, что вариации потока (с периодом свертки 160, 0101 мин) для 12 АЯГ находятся почти в фазе со 160-минутной осцилляцией Солнца, тогда как для остальных 8 объектов они происходят в антифазе с Солнцем; разделение по фазе на две группы значимо на уровне 2,4 σ. Эти факты являются сильным подтверждением космологической интерпретации "универсальных" 160-минутных осцилляций, выдвинутой авторами несколько лет назад.

* Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва.

UNIVERSAL OSCILLATIONS OF ACTIVE GALACTIC NUCLEI AND ANOMALOUS DISTRIBUTION OF THE INITIAL PHASES, *by V.A. Kotov and V.M. Lyuty.* All available data on rapid variability of 20 AGN (active galactic nuclei, including, e.g., BL Lac, Mrk 421 and PKS 2155-304) are analysed in search for the "ubiquitous" 160-min periodicity. The optical data used for the analysis were obtained in 1968–1989 at different ground-based observatories, while the X-ray data were acquired by several satellites (HEAO-1, Ariel-5 and EXOSAT) from 1975 through 1986 and were publiched earlier by several groups of authors. The presence of the 160-min periodicity can be establiched for all 20 extragalactic objects, but with quite various statistical significance (from $\sim 2\sigma$ to $\sim 4\sigma$ level of confidence).

The most striking circumstance is that ligth flux variations (with the folding period 160.0101 min) for 12 AGN appear to be almost synchronous with the 160-min oscillation of the Sun, whereas those for the rest of 8 AGN are found to be in antiphase with the Sun; the division is significant at about 2.4 σ – level of confidence. This finding strongly supports the cosmological interptetation of the "universal" 160-min oscillation advanced by the authors several years ago.

1. Введение

Изучение быстрой переменности – эффективный метод диагностики физических процессов, происходящих в аккрецирующих компактных сверхмассивных объектах, какими являются большинство активных ядер галактик (АЯГ). Существуют разные мнения относительно возможности периодических (детерминированных) процессов в АЯГ: 1) у некоторых АЯГ имеется периодическая компонента (или характерное время) в вариациях блеска; 2) отсутствует какая-либо периодичность и действует "фрактальный закон" – нет никакой периодичности на любой, наперед заданной, частоте (т.е. – чисто стохастический процесс); 3) поведение ряда АЯГ характеризуется детерминированным хаосом (в отличие от процесса со случайно распределенными во времени вариациями блеска со случайной амплитудой вариаций).

В оптическом диапазоне подробно изучалась переменность OJ 287 – одного из наиболее активных объектов типа BL Lac. Авторами [1] была обнаружена периодичность 39 мин с амплитудой $0^m,0065$. Периодичность, однако, не была подтверждена наблюдениями Киплингера [2]: спектр мощности показал отсутствие периодических компонент с амплитудами более $0^m,0032$ в области периодов 4,33–180 мин. Дорошенко и др. [3] не обнаружили для OJ 287 свидетельств какой-либо периодичности в диапазоне периодов P от 5 до 60 мин.

Нами обнаружена периодичность P_0 = 160,0101 мин в вариациях блеска ряда АЯГ [4]. Недавно Броди и др. [5] нашли указание на периодичность ~283 мин в рентгеновском излучении Mrk 421, объекта типа BL Lac; фаза колебания сохранялась, по-видимому, на протяжении одного месяца. Авторы [6], на основе анализа рентгеновских данных NGC 6814, обнаружили периодические компоненты с периодами ~203, 102, 68, 51 и 40 мин. В [7] сообщается о наличии когерентных компонент вариаций рентгеновского излучения NGC 4151 с периодом ~95 мин. В обзоре [8], однако, указывается (на основе анализа рентгеновских наблюдений некоторых АЯГ со спутника EXOSAT), что в области частот 10^{-4}–10^{-3} Гц (периоды ~17 – 167 мин) отсутствуют какие-либо характерные периоды вариаций.

Выводы о присутствии или отсутствии малоамплитудной (~1%) периодической компоненты могут существенно зависеть от диапазона энергий, от метода детрендирования первоначальных данных и построения спектра мощности (СМ), см. дискуссию [9]. Например, Лоуренс и др. [10] не нашли в СМ NGC 4051 (рентгеновские данные EXOSAT) для диапазона энергий 0,05 – 2 кэВ) никакой преимущественной частоты: мощность падает пропорционально ν^{-1} (ν – частота). В [7] для аналогичных данных NGC 4051 (но для энергий 1,5 – 7 кэВ) построен другой СМ, но с лучшим разрешением по частоте. В этом спектре присутствует существенный пик (причем самый мощный со стороны высоких частот), отвечающий периоду 165 ± 7 мин. Наша обработка [11] таких же данных (0,05 – 2 кэВ), но с применением другого метода детрендирования, показала, что в СМ NGC 4051, полученном с помощью прямого фурье-преобразования (ПФП), основной пик соответствует периоду 161,6 ± 1,8 мин. Последний в пределах ошибки совпадает с P_0.

"Универсальная" осцилляция с периодом $P_0 = 160{,}0101$ (± 1) мин, открытая у Солнца [12–14] и активных ядер галактик (АЯГ) [4], интерпретируется нами как космологическое явление. Такую интерпретацию, естественно, трудно воспринять сразу: каким образом одно и то же значение периода может наблюдаться у объектов, находящихся на громадных расстояниях от Солнца и имеющих столь разные скорости удаления?

Решение проблемы требует новых данных о быстрой переменности АЯГ. А ввиду близости периода P_0 к 1/9 суток особое значение имеют рентгеновские измерения, выполненные на спутниках за пределами земной атмосферы.

2. Метод анализа наблюдательных данных

Медленные тренды исключаются с помощью полиномов 1-го или 2-го порядка. Иногда – для коротких записей, полученных, например, в течение одной ночи – из измерений потока вычитается среднее значение. Анализируются относительные (по отношению к среднему уровню потока) остатки "измерения минус тренд". Подробно процедура анализа описана в [11, 15].

Средние кривые строятся с разбиением периода, как правило, на 7 или 8 независимых интервалов. Затем методом наименьших квадратов (МНК) вычисляются гармоническая амплитуда A_h и φ_h – фаза максимума синусоиды.

Статистическая значимость периодичности (выраженная в σ нормального распределения) оценивается с помощью двух статистических критериев, вычисляемых для средний кривых:

$$\mathcal{P}_1/\sigma = A_p/(\sqrt{2}\,\sigma_0)\,; \quad \mathcal{P}_2/\sigma = \sqrt{2}\,A_h/\sigma_h\,,$$

где A_p – полная (двойная) "пиковая" амплитуда, σ_0 – стандартная типичная ошибка ординат средней кривой блеска, σ_h – стандартная ошибка определения A_h. В качестве критерия достоверности P_0-волны берется среднее значение между $\mathcal{P}_1$ и $\mathcal{P}_2$.

Перед обработкой моменты всех наблюдений приводились к Солнцу. Нулевая фаза средних кривых всюду соответствует моменту UT $00^h\ 00^m$, 01. I 1974 г.

Поскольку все анализируемые ряды очень неоднородны, со сложными скважностями, а период $P_0 = 160{,}0101$ мин известен a priori, мы не вычисляли, как правило, спектры мощности, а ограничивались анализом фазовых средних кривых; СМ на рис. 6 имеют иллюстративное значение.

3. Сейфертовская галактика NGC 5548

Оптические, в фильтре V, измерения сейфертовской галактики NGC 5548 (всюду речь идет о переменности ядер галактик) выполнены В.М. Лютым в 1969–1989 гг., как правило, один-два раза в ночь. Некоторые из них опубликованы [16]. Часть измерений проведена В.Т. Дорошенко и В.М. Лютым "непрерывно" в течение двух ночей 1989 г. Из 93 отдельных измерений медленный тренд удалось исключить для 43 точек;

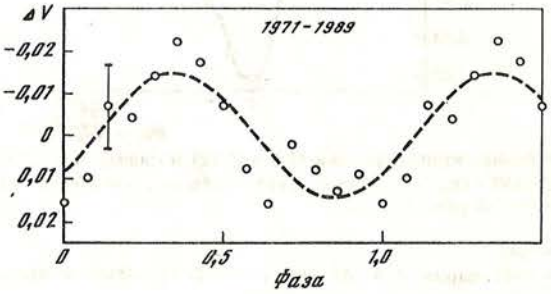


Рис. 1. Средняя кривая блеска ядра NGC 5548 для периода 160,0101 мин
Интервал усреднения по фазе $\tau \approx 23$ мин. Вертикальной чертой указана типичная среднеквадратичная ошибка ($\pm\sigma$); пунктирная линия – синусоида, вычисленная МНК

к полученному массиву остатков добавлено 30 точек указанных выше двух ночей 1989 г. Среднеквадратичное значение полученного массива остатков (1971–1989 гг.; суммарное число точек $N = 73$) $\Delta = 0^m,032$ (звездная величина). Средняя кривая для периода P_0 показана на рис. 1 : $A_h = 0^m,015 \pm 0^m,003$; $\varphi_h = 0,36 \pm 0,05$; фаза негармонического ("пикового") минимума $\psi = 0,88 \pm 0,18$. Значимость кривой $\mathcal{P} \approx 4,7\ \sigma$.

4. Mrk 421

Сильно переменный объект типа BL Lac, Mrk 421 наблюдался на рентгеновском спутнике EXOSAT [5] 2, 3 и 5. XII 1984 г. и 4. I 1985 г. Измерения в диапазоне 2–10 кэВ сделаны непрерывно в течение 4–8 ч для каждой из четырех записей, в сумме около 21 ч. Время интегрирования – 200 с (полное число измерений $N_0 = 344$). Первые три записи соответствовали яркому состоянию объекта при средней скорости счета $n \approx 0,012$ (имп·см$^{-2}\cdot$с$^{-1}$), последняя – состоянию "минимума", $n \approx 0,0016$. Записи показали переменность потока с амплитудой $\sim 10\%$ за время $\sim 10^4$ с, которая, по-видимому, характеризует время инжекции вещества в оболочку компактного ядра с массой $M \sim 10^{-6}\ M_\odot$ ($M_\odot$ – масса Солнца). В соответствии с переменностью радиус ядра $r \approx 3\cdot 10^{14}$ см [5].

Нами для каждой из четырех записей (рис. 3 в [5]) удалялся медленный тренд, аппроксимированный параболой МНК, отсчеты усреднялись в интервалах времени $\Delta t \approx 5$ мин. Стандартное отклонение относительных вариаций σ для трех декабрьских записей (равное $\Delta = 0,036$) в 5,8 раз меньше, чем Δ для январской записи. Значения последней записи поэтому приводились к уровню Δ декабрьских записей.

Средняя рентгеновская кривая имеет сложный вид, с двумя минимумами и невысоким уровнем значимости, $\mathcal{P} \approx 1,9\sigma$: $A_h = 0,5 \pm 0,4\%$, $\varphi_h = 0,34 \pm 0,14$, $\psi = 0,88 \pm 0,09$ ($N = 231$, $\Delta = 3,6\%$).

Оптические (фотоэлектрические и фотографические) наблюдения выполнены в 1976–1987 гг. разными группами авторов [17–20], включая группу наблюдателей ГАИШ*, в фильтрах U, B, V, R (всего шесть серий измерений, одна из них – данные

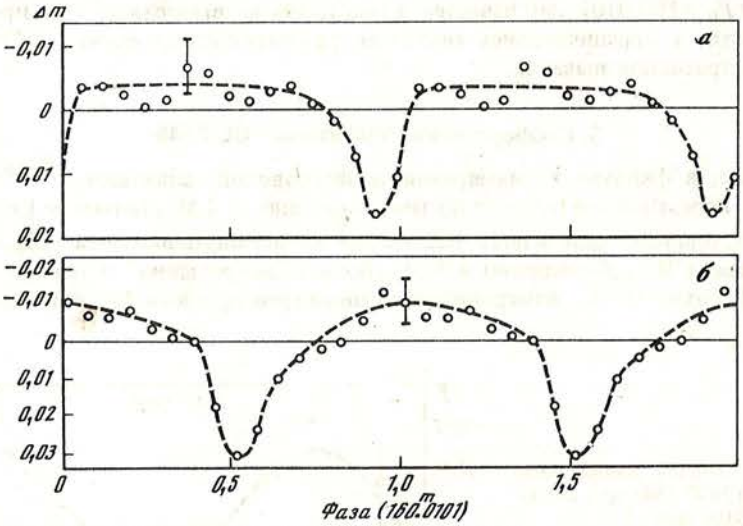


Рис. 2. Средние кривые блеска Mrk 421 (*а*) и квазара ЗС 273 (*б*)
а : 1976–1987 гг., $N = 435$; *б*: 1968–1986 гг., $N = 340$; $\tau = 20$ мин. Пунктирные линии через точки проведены "от руки"

*Мы благодарны А.А. Асланову и Т.С. Хрузиной за предоставление данных наблюдений 1987 г.

двух ночей 1976 г., опубликованные Миллером и др. [20]). При обработке все шесть серий приводились к некоторому среднему стандартному отклонению $\Delta = 0^m,031$; $N = 204$. Свертка с периодом P_0 показала наличие волны с параметрами: $A_h = 0^m,009 \pm 0^m,005$, $\psi_h = 0,44 \pm 0,08$, $\psi = 0,96 \pm 0,07$; $\mathcal{P} \approx 3,4\ \sigma$.

Фазы минимумов двух кривых, рентгеновской и оптической, в пределах ошибок совпадают: разность $\Delta\psi = \psi_{опт} - \psi_{рент} = 0,08 \pm 0,11$.

Для получения общей кривой Mrk 421 дисперсия рентгеновского ряда приводилась к дисперсии оптического ряда. Результат показан на рис. 2, *а*: $N = 434$, $\Delta = 0^m,031$ (1976–1987 гг.), $A_h = 0^m,0058 \pm 0^m,0027$, $\psi_h = 0,42 \pm 0,08$, $\psi = 0,93 \pm 0,07$; $\mathcal{P} \approx 3,2\sigma$.

На рис. 2, *б* приведена для сравнения средняя кривая блеска квазара ЗС 273, полученная в [15] по оптическим измерениям в фильтре *B* за 1968–1986 гг.: $A_h = 1,4 \pm 0,4$ (%), $\psi_h = 0,08 \pm 0,05$, $\psi = 0,52 \pm 0,07$; $\mathcal{P} \approx 5,2\ \sigma$.

Обращают на себя внимание сходство форм двух кривых на рис. 2 и тот факт, что они находятся в противофазе.

5. BL Lac (фильтр *V*)

В 1976 г. квазинепрерывные наблюдения выполнены авторами [21] 30. VIII: за время около 1,9 ч сделано 35 измерений блеска. После исключения одной подозрительной точки и усреднения блеска в интервалах ~5 мин, получен массив остатков "измерения минус среднее значение": $N_1 = 19$, $\Delta = 0^m,0148$.

Наблюдения этого же объекта выполнены В.М. Лютым на телескопе ЗТЭ Крымской станции ГАИШ в течение одной ночи 20–21. IX 1982 г. За время около 3,4 ч получено 60 измерений блеска (всюду, если это касается оптических наблюдений, относительно

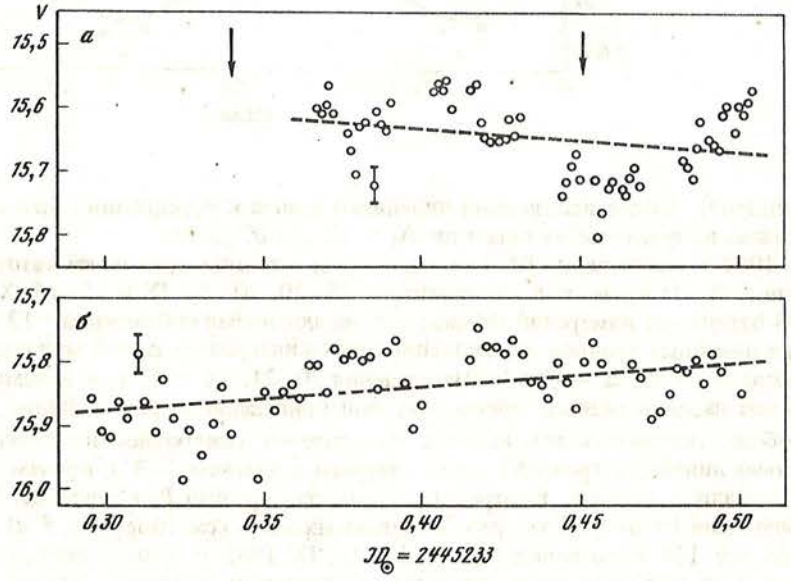


Рис. 3. Кривая блеска BL Lac по наблюдениям 20–21. IX 1982 г. в фильтре *V* на телескопах ЗТЭ (*а*) и АЗТ-11 (*б*)

Пунктирными линиями показаны медленные линейные тренды, вычисленные МНК. Стрелками отмечены эпохи минимумов блеска согласно средней кривой BL Lac за 1976–1987 гг. для периода P_0

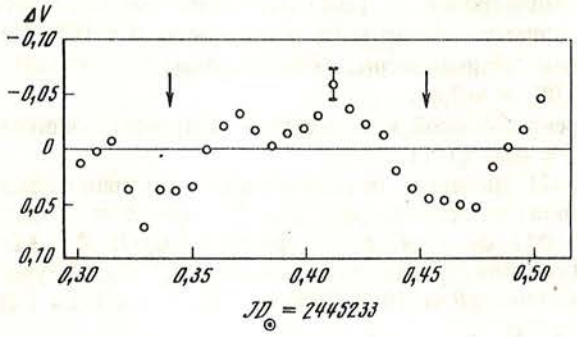
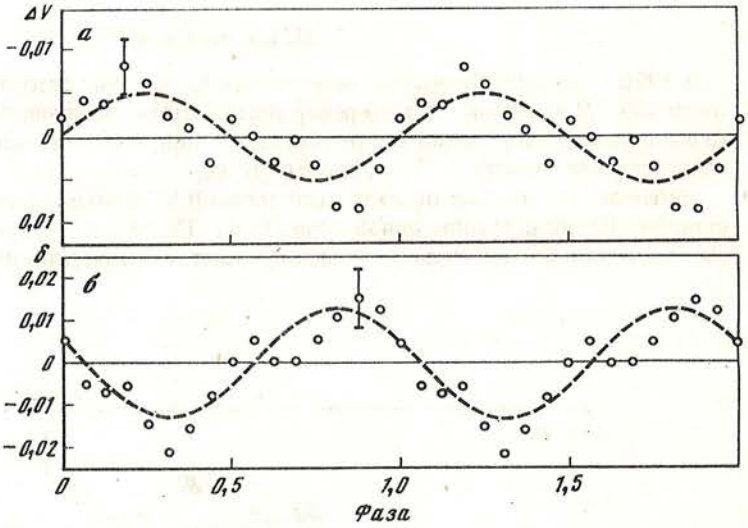


Рис. 4. Кривая блеска BL Lac за 20–21. IX 1982 г. согласно наблюдениям на телескопах ЗТЭ и АЗТ-11

Точки – скользящие средние значения за 20 мин. Остальные обозначения см. на рис. 3

Рис. 5. Средние кривые блеска лацертид BL Lac (*а*) и PKS 2155-304 (*б*)

а : оптические данные 1976–1987 гг., $N = 537$; *б*: рентгеновские измерения 1977–1985 гг. для диапазона энергий 0,5 – 20 кэВ, $N = 611$; $\tau = 20$ мин



звезды-стандарта). После исключения линейного тренда и усреднения точек в 5-минутных интервалах получен массив остатков: $N_2 = 32$, $\Delta = 0^m,0542$.

Осенью 1982 г. наблюдения BL Lac выполнены в течение трех ночей авторами [22] на телескопе АЗТ-11 Крымской обсерватории 19–20, 20–21. IX и 15–16. X. Сделано 48, 64 и 38 отдельных измерений блеска; суммарное время наблюдений ~12,1 ч. После исключения линейных трендов и усреднения точек в интервалах $\Delta t \approx 5$ мин получен массив остатков: $N_3 = 78$, $\Delta = 0^m,036$. Наблюдения 20–21. IX 1982 г. в Крыму сделаны одновременно на двух разных телескопах; они приведены на рис. 3. Видно, что в эту ночь на обоих телескопах наблюдалось практически синхронное изменение блеска (относительно линейных трендов) с характерным временем 2–3 ч, причем эпохи минимумов совпали с эпохами, которые получены для средней P_0-кривой BL Lac за все время наблюдений 1976–1987 гг., рассматриваемых здесь (см. далее рис. 5, *а*).

Усреднив все 124 иззмерения блеска 20–21. IX 1982 г. (после снятия линейных трендов отдельно для каждого из двух телескопов) в интервалах ~20 мин, мы получили среднюю для данной ночи кривую блеска, которая показывает отчетливо переменность ~160 мин (рис. 4).

Большой массив данных получен авторами [23] в течение одной недели, 19–25. IX 1979 г., на 11 телескопах, расположенных на трех континентах. Всего сделано 290 измерений за суммарное время ~ 72 ч. Из этого массива мы исключили 9 точек,

для которых было трудно учесть медленный тренд. После удаления – для каждой из 7 "ночей" отдельно – параболического тренда получен массив остатков: $N_4 = 281$, $\Delta = 0^m,024$.

Миллер [24] наблюдал BL Lac 11. IX 1986 г. в течение ~2,4 ч и сделал 96 измерений относительно звезды-стандарта. После удаления линейного тренда и усреднения в интервалах $\Delta t \approx 5$ мин нами получен массив остатков: $N_5 = 27$, $\Delta = 0^m,0133$.

Недавно Миллер и др. [25] наблюдали этот же объект в течение двух ночей, 11 и 14. VII 1987 г., суммарно около 9,8 ч ($N'_6 \doteq 357$). Для каждой из двух записей мы исключили параболический тренд и усреднили измерения в интервалах времени 5 мин, получив массив остатков: $N_6 = 100$, $\Delta = 0^m,0078$.

Объединив все указанные выше данные 1976–1987 гг. (остатки) в единую временную последовательность ($N = 537$, $\Delta = 0^m,0261$), построили среднюю кривую блеска для периода P_0, показанную на рис. 5, *а*:

$A_h = 0^m,0050 \pm 0^m,0018$, $\varphi_h = 0{,}25 \pm 0{,}06$, $\psi = 0{,}85 \pm 0{,}09$, $\mathcal{P} = 3{,}7\sigma$.

6. Рентгеновские наблюдения PKS 2155-304

Этот объект – один из самых ярких и наиболее переменных объектов типа BL Lac. Красное смещение $z = 0{,}117$, масса центрального источника оценивается в 10^7–10^9 $M_\odot$.

Объект наблюдался 10–16. XI 1977 г. на спутнике HEAO-1 [26]; в течение около 5,3 сут сделано 87 отдельных измерений в диапазоне энергий 0,5 – 20 кэВ. После исключения медленных линейных трендов и исключения 13 сильно отклоняющихся точек

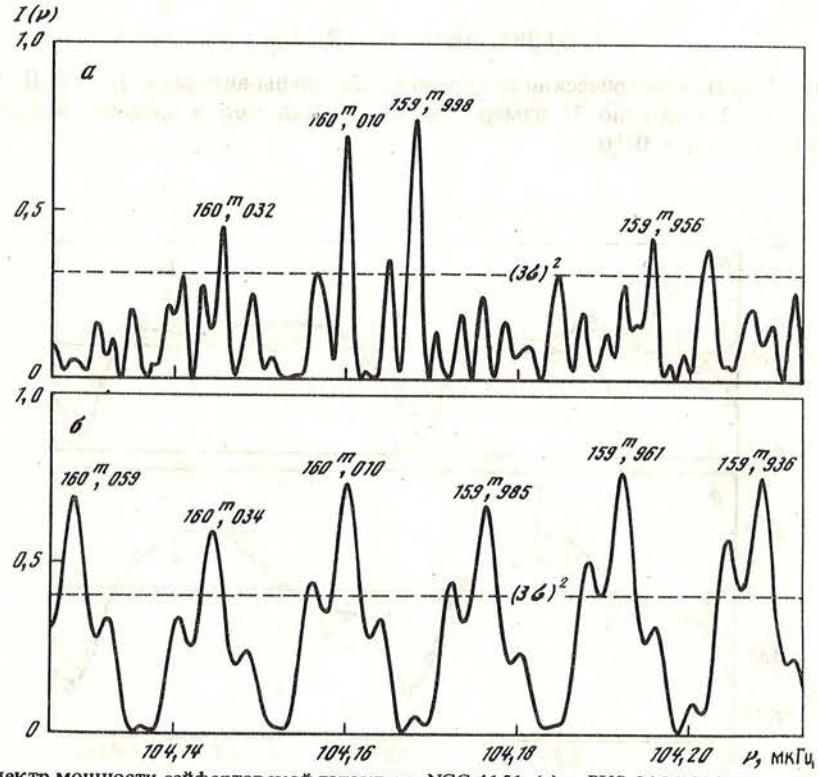


Рис. 6. Спектр мощности сейфертовской галактики NGC 4151 (*а*) и PKS 2155-304 (*б*)
а: по оптическим и рентгеновским наблюдениям 1968–1988 гг., $N = 776$ [9]; *б*: по рентгеновским наблюдениям 1977–1985 гг., $N = 611$

получен массив, состоящий из $N_1 = 75$ относительных остатков со стандартным отклонением $\Delta_1 = 14{,}3\%$.

На спутнике EXOSAT объект наблюдался в диапазоне 1–6 кэВ в интервале 31. X 1983 г. – 13.XI 1985 г. При времени интегрирования 400 с за эти три года сделано 9 непрерывных записей суммарной длительностью ~85 ч. Мы обработали эти данные, приведенные в [27] в виде графиков, усреднив значения ординат в интервалах длительностью ~9,5 мин и удалив затем медленные тренды. Массив относительных остатков "поток минус линейный тренд" содержит $N_2 = 536$ отсчетов с $\Delta_2 = 6{,}2\%$. Приведя массив 1977 г. (см. выше) к значению Δ_2, получили единый массив относительных флуктуаций рентгеновского потока PKS 2155-304 за 1977–1985 гг.: $N = 611$, $\Delta = 6{,}2\%$.

Средняя кривая приведена на рис. 5, *б*: $A_h = 1{,}3 \pm 0{,}3\ \%$, $\varphi_h = 0{,}81 \pm 0{,}04$, $\psi = 0{,}31 \pm 0{,}09$, $\mathcal{P} \approx 4{,}6\sigma$.

Спектр мощности объекта, вычисленный для ограниченного интервала частот в области $P \approx 160$ мин, показан на рис, 6, *б*. Повторяемость пиков, имеющих почти одинаковую высоту, обусловлена одно- и двухгодичной скважностью данных обсерватории EXOSAT: все эти наблюдения сделаны в течение осенних сезонов 1983–1985 гг. Главное – то, что в спектре с высоким уровнем значимости (~4,3σ) присутствует пик, период которого, 160,010 ± 0,002 мин, в пределах ошибок совпадает с P_0 (значимость его в СМ – примерно 4,3σ).

На рис. 6, *а* показан СМ, полученный в [9] для ядра сейфертовской галактики NGC 4151. Сравнивая спектры обоих объектов, PKS 2155-304 и NGC 4151, видим, что только один период выделен и дает сильный пик в обоих случаях: $P = 160{,}010$ мин, причем, что наиболее важно отметить, значения периода в пределах ошибок совпадают друг с другом, а также с P_0.

7. OJ 287, объект типа BL Lac

В фильтре V фотоэлектрические измерения выполнены авторами [1] 18. III 1972 г.: в течение около 2 ч сделано 31 измерение; после исключения среднего за ночь получен ряд остатков с $\Delta_1 = 0^m{,}0071$.

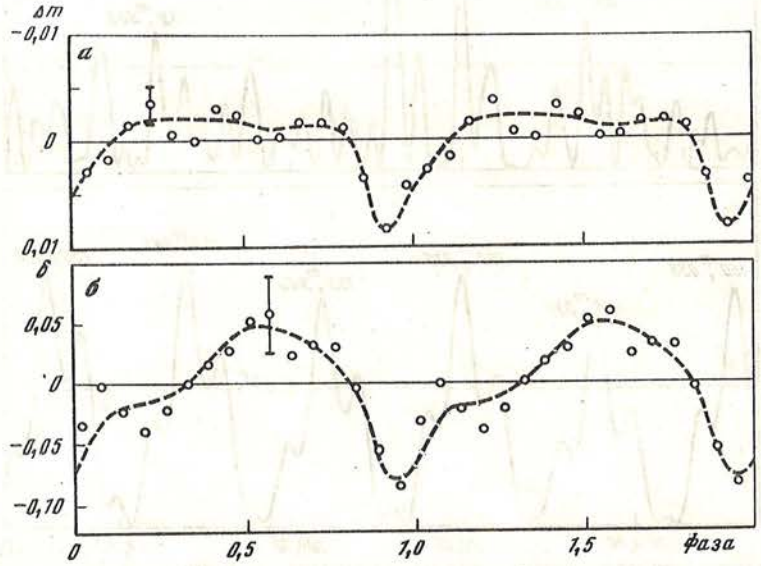


Рис. 7. Средние кривые блеска OJ 287 (*а*) и Mr k 335 (*б*)
а: по оптическим наблюдениям 1972–1986 гг., $N = 131$; *б*: по рентгеновским измерениям 21–22. VII 1985 г., $N = 234$ [11]; $\tau = 20$ мин

Этот же объект наблюдался В.Ю. Рахимовым 11–12. II 1983 г. в течение 2,2 ч: с усреднением $\Delta t \approx 5$ мин получено 22 измерения в фильтре V. После удаления линейного тренда массив остатков имеет $\Delta_2 = 0^m,0065$. Объединив эти данные с [1], получаем суммарный массив остатков V-величин: $N_1 = 53$, $\Delta = 0^m,0068$.

В 1986 г. объект наблюдался в ближней ИК-области спектра (квази-) непрерывно в течение нескольких ночей [28]. Часть "ночей" показала заметную переменность потока с характерными временами 20–30 мин и более. Мы обработали три записи с переменностью в полосе H (длина волны 1,6 мкм), имеющие наибольшую длительность, $L \gtrsim 2{,}2$ ч; они получены 2,3 и 5. XII 1986 г. Общая длительность этих трех наблюдений около 10 ч; суммарное число остатков $N_2 = 78$, $\Delta = 6{,}1\%$.

Затем ряд ИК-измерений по величине Δ был приведен к ряду V-величин; полученная единая временная последовательность остатков имеет $N = 131$, $\Delta = 0^m,0068$. Результат свертки с периодом P_0 показан на рис. 7, *а*: $A_h = 0^m,0030 \pm 0^m,0014$, $\varphi_h = 0{,}45 \pm 0{,}08$, $\psi = 0{,}94 \pm 0{,}07$; $\mathcal{P} \approx 3{,}5\sigma$.

На рис. 7, *б* для сравнения показана рентгеновская кривая сейфертовской галактики Mrk 335 [11]. Обращают на себя внимание сходство двух кривых (широкий максимум и узкий, глубокий минимум) и их совпадение по фазе.

8. NGC 7314, EXO 1128 + 691, III Zw 2

Сейфертовская галактика NGC 7314 наблюдалась на EXOSAT 10–11. XI 1984 г. практически непрерывно в течение около 5,9 ч в области энергий 2–6 кэВ [29]; время интегрирования 100 с. Светимость источника в диапазоне 2–10 кэВ $L_x \approx 4 \cdot 10^{42}$ эрг·с$^{-1}$ (для постоянной Хаббла $H_0 = 50$ км·с$^{-1}$·Мпс$^{-1}$). Исходя из рентгеновской переменности, Тэрнер [29] дает следующие оценки для ядра галактики: масса $M \lesssim 2 \cdot 10^6\ M_\odot$, размер $r \lesssim 10^{14}$ см. Средняя кривая с периодом P_0, полученная нами после снятия

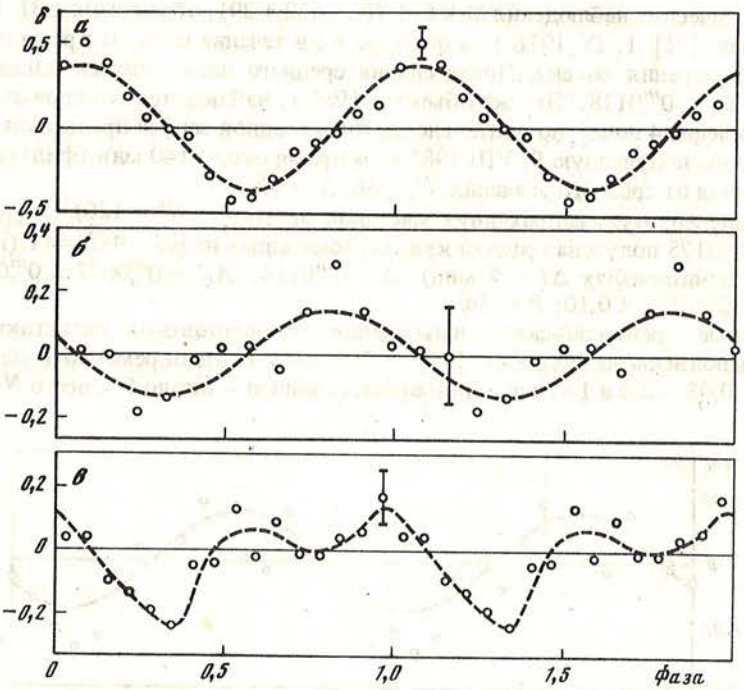


Рис. 8. Средние рентгеновские кривые NGC 7314 (*а*), EXO 1128 + 691 (*б*), квазара III Zw2 (*в*) *а* : наблюдения 10–11. XI 1984 г., $N = 115$; *б*: наблюдения 29–30. III 1984 г., $N = 25$; *в*: наблюдения 1983–1985 гг., $N = 72$. Интервал усреднения по фазе 20 мин (*а*), 27 мин (*б*) и 30 мин (*в*)

среднего значения, показана на рис. 8, *а*: $N = 115$ (после усреднения точек в интервалах ~5 мин), $\Delta = 27{,}2\%$; $A_h = 39 \pm 5\%$; $\varphi_h = 0{,}07 \pm 0{,}05$; $\psi = 0{,}56 \pm 0{,}16$; $\mathcal{P} \approx 3{,}0\sigma$.

Сейфертовская, 1-го типа, галактика EXO 1128 + 691 недавно обнаружена на EXOSAT [30]. Она показала быструю переменность с характерными временами от 15 мин до нескольких часов. Рентгеновская светимость галактики $L_x \approx 2 \cdot 10^{43}$ эрг·с$^{-1}$, красное смещение $z = 0{,}043$, расстояние до нее $d \approx 260$ Мпс (для $H_0 = 50$ км·с$^{-1}$·Мпс$^{-1}$).

Непрерывные измерения рентгеновского потока (0,05 – 2,0 кэВ) выполнены 29–30. III 1984 г. с фильтром 3Lx в течение 7 ч. Было сделано (для самой длительной записи) 25 отдельных измерений при интервале интегрирования 1000 с. Результат нашей обработки, после удаления параболического тренда, представлен на рис. 8, *б*: $\Delta = 31{,}7\%$; $A_h = 14 \pm 6\%$; $\varphi_h = 0{,}82 \pm 0{,}08$; $\psi = 0{,}29 \pm 0{,}10$; $\mathcal{P} \approx 2{,}4\sigma$.

Квазар III Zw 2 ($z = 0{,}0898$) наблюдался на EXOSAT 18. XII 1983 г. непрерывно в течение 4,5 ч с интервалом интегрирования 1000 с [31]; диапазон энергий 1,5–10 кэВ. Исходя из быстрой переменности авторы [31] определили радиус черной дыры в центре ($r \lesssim 10^{14}$ см) и ее массу ($M \approx 5 \cdot 10^7\ M_\odot$). Наша обработка записи [31] состояла в вычислении относительных отклонений δ от среднего уровня ($N_1 = 16$, $\Delta = 10{,}9\%$).

Этот же объект наблюдался на EXOSAT 30. XI 1985 г. в диапазоне низких энергий (0,05 – 2 кэВ) в течение около 7,7 ч [32]; после удаления среднего получен массив относительных отклонений, содержащий $N_2 = 56$ точек; $\Delta = 49{,}4\%$.

Путем приведения обоих массивов к общей дисперсии построена средняя кривая для периода P_0 (рис. 8, *в*): $N = 72$; $\Delta = 25{,}8\%$; $A_h = 10 \pm 7\%$; $\varphi_h = 0{,}81 \pm 0{,}11$; $\psi = 0{,}32 \pm 0{,}10$; $\mathcal{P} \approx 3{,}0\sigma$.

9. Mrk 501, NGC 7469, 3C 371, NGC 5506

Фотоэлектрические наблюдения Mrk 501 (B2 1652 + 39), объекта типа BL Lac, выполнены авторами [21] 1. IX 1976 г. в фильтре V: в течение ночи, за время около 1,9 ч, сделано 54 измерения блеска. После снятия среднего нами получен массив остатков с величиной $\Delta_1 = 0^m{,}0118$. Это же объект в 1985 г. наблюдался Аслановым и Липуновой [33] в течение 4 ночей, но длительность только одной записи превышала 2 ч. Мы обработали запись, полученную 9. VIII 1985 г. за время около 140 мин (фильтр B), вычислив отклонения от среднего значения: $N_2 = 66$, $\Delta_2 = 0^m{,}0233$.

После приведения указанных двух массивов остатков ($N' = 120$) к среднему значению $\Delta = 0^m{,}0175$ получена средняя кривая, показанная на рис. 9: $N = 51$ (после усреднения точек в интервалах $\Delta t \approx 5$ мин), $\Delta = 0^m{,}0114$, $A_h = 0^m{,}0077 \pm 0^m{,}0026$, $\varphi_h = 0{,}34 \pm 0{,}06$, $\psi = 0{,}85 \pm 0{,}10$; $\mathcal{P} \approx 3\sigma$.

Непрерывные рентгеновские наблюдения сейфертовской галактики 1-го типа NGC 7469 выполнены на EXOSAT [34] 2. VII 1984 г. одновременно в двух диапазонах энергий: 0,05 – 2,0 и 1–7 кэВ. Длительность записи – около 5 ч, всего $N = 28$ отдель-

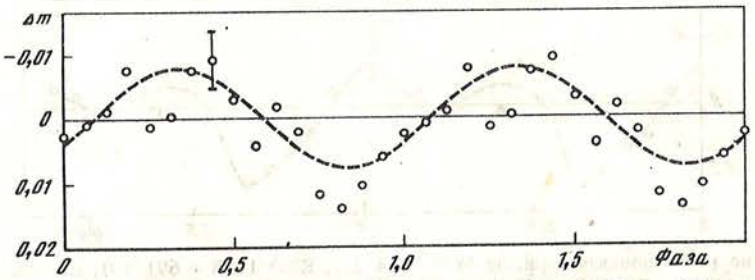


Рис. 9. Средняя кривая Mrk 501 по данным оптических наблюдений 1976 и 1985 гг., $N = 51$; $\tau = 20$ мин

ных измерений (в двух энергетических диапазонах). После удаления линейных трендов для этих записей стандартное отклонение $\Delta = 12{,}9\%$.

Результат свертки с периодом P_0 показан на рис. 10, *а*: $A_h = 4{,}8 \pm 4{,}0\%$, $\varphi_h = 0{,}41 \pm 0{,}11$. Значимость волны невысокая ($\mathcal{P} \approx 1{,}9\sigma$), и число измерений невелико. В пользу реальности эффекта, однако, говорит совпадение по фазе с оптической кривой [4] – см. рис. 10, *б*: $N = 116$, $\Delta = 0^m{,}0256$, $A_h = 0^m{,}012 \pm 0^m{,}003$, $\varphi_h = 0{,}44 \pm 0{,}04$; $\mathcal{P} \approx 4{,}0\sigma$.

Объект типа BL Lac, 3C 371 (с активным ядром типа *N*-галактики), наблюдался

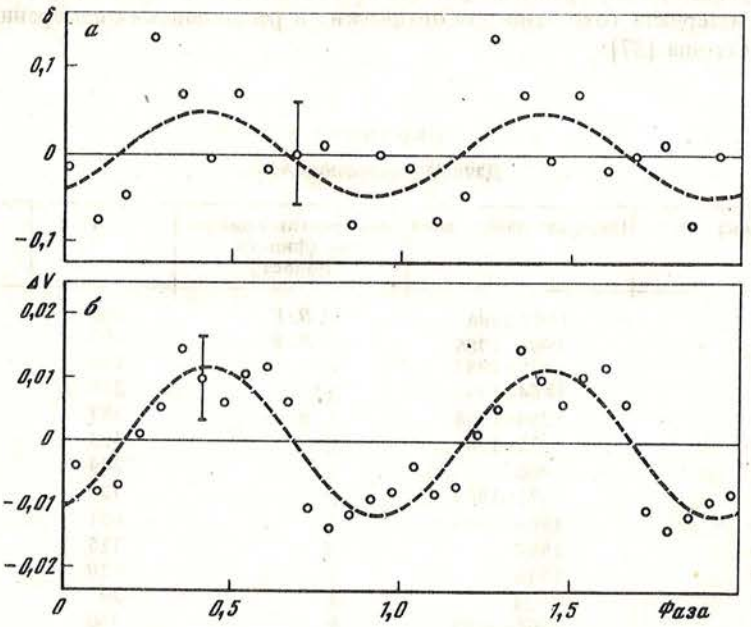


Рис. 10. Средние кривые NGC 7469 в рентгеновском (*а*; 2. VII 1984 г., $N = 28$) и оптическом (*б*; $N = 116$) диапазонах
Интервал усреднения по фазе 27 мин (*а*) и 20 мин (*б*)

11 и 29. IX 1984 г. на EXOSAT с различными поглощающими фильтрами в диапазоне 0,05–2 кэВ [35]. Суммарное время наблюдений 20 ч. Авторы [35] указывают на значительные изменения рентгеновского потока за время ~18 сут, а также в интервалах времени от 8 ч до 25 мин.

Модель источника с релятивистским джетом предсказывает рентгеновскую переменность с временной шкалой ~1 ч для энергий ~0,4 кэВ. На основе оценок параметров источника авторы [35] полагают, что в центре находится черная дыра с массой $M \lesssim 2.10^7\ M_\odot$; полная светимость $\sim 10^{41}$–10^{45} эрг·с$^{-1}$ (зависит от механизма излучения; для постоянной Хаббла и параметра космологического замедления принято соответственно $H_0 = 50$ км·с$^{-1}$·Мпс$^{-1}$, $q_0 = 0$).

Мы проанализировали данные, полученные 11 и 29. IX 1984 г. с фильтром 3Lx (см. рис. 3, *в* [35]), в сумме около 13 ч измерений с временем интегрирования 500 с. Средняя скорость счета ~0,03 имп·с$^{-1}$. Результат свертки 89 нормированных значений δ (относительных отклонений от плавного тренда; $\Delta = 37{,}9\%$) с перидом P_0 показал наличие P_0-периодичности со значимостью $\mathcal{P} \approx 2{,}3\ \sigma$: $A_h = 6{,}1 \pm 2{,}7\%$; $\varphi_h = 0{,}34 \pm 0{,}08$; $\psi = 0{,}82 \pm 0{,}25$.

Рентгеновское излучение сейфертовской галактики NGC 5506 с ядром 2-го типа

регистрировалось на спутнике EXOSAT непрерывно в течение около 2,8 сут 24–27. I 1986 г. (2–7 кэВ) [36]. Такая же, как в случае NGC 4051 [11], обработка этих данных привела к синусоидальному распределению относительного потока по фазе периода P_0, но с малой амплитудой и невысокой статистической значимостью: $A_h = 1{,}0 \pm 0{,}6\,\%$; $\varphi_h = 0{,}89 \pm 0{,}12$, $\psi = 0{,}41 \pm 0{,}13$ ($\mathcal{P} \approx 1{,}7\sigma$; $N = 249$; $\Delta = 8{,}33\,\%$).

10. Обзор данных о P_0-периодичности АЯГ

Всего нами проанализированы данные наблюдений 20 внегалактических объектов, включая опубликованные ранее результаты [4, 9, 11, 15]. В табл. 1 дана сводка наблюдательного материала (отдельно для оптических и рентгеновских измерений), а также данные для Солнца [37].

Таблица 1

Данные наблюдений АЯГ

Объект	Интервал наблюдений (гг.)	Спектральный диапазон (фильтр, полоса)	N	Δ, %
NGC 1275	1968–1986	U, B, V	204	5,2
NGC 3516	1968–1986	U, B, V	166	6,9
NGC 4051	1975–1987	U	128	5,6
NGC 4051	1984–1985	X*	228	23,3
NGC 4151	1968–1988	U, B	383	7,7
NGC 4151	1975–1985	X	393	19,8
NGC 5506	1986	X	249	8,3
NGC 5548	1971–1989	V	73	2,9
NGC 6814	1983–1985	X	631	26,1
NGC 7314	1984	X	115	27,2
NGC 7469	1986	V	116	2,4
NGC 7469	1984	X	28	12,9
3C 273	1968–1986	B	340	3,3
3C 371	1984	X	89	37,9
II Zw 2	1983–1985	X	72	25,8
Mrk 335	1985	X	234	17,2
Mrk 421	1976–1987	U, B, V, R	204	2,9
Mrk 421	1984–1985	X	231	3,6
Mrk 501	1976–1985	B, V	51	1,1
OJ 287	1972–1986	B, H	131	0,63
MCG-6-30-15	1984	X	107	22,2
BL Lac	1976–1987	V	537	2,4
PKS 2155-304	1977–1985	X	611	6,2
EXO 1128 + 691	1984	X	25	31,7
Солнце	1976–1987	$\approx (V, R, H)$	31925	~0,004

* Рентгеновские наблюдения

В среднем для оптических и рентгеновских наблюдений АЯГ $\Delta = 3{,}7$ и $20{,}2\,\%$ соответственно. Суммарное число измерений вариаций блеска АЯГ составляет $N_1 = 2333$ для оптического и $N_2 = 3013$ рентгеновского диапазона.

Параметры средних кривых 21 объекта (включая Солнце), построенных для периода P_0, приведены в табл. 2. Достоверность присутствия во флуктуациях блеска P_0-осцилляции для всех 20 внегалактических объектов находится в пределах (1,7–4,7) σ.

Таблица 2

Средние P_0-кривые 20 АЯГ и Солнца

Объект	Спектральный диапазон	A_h, %	φ_h (максимум)	ψ (минимум)	$\mathcal{P}$*	ψ'
NGC 1275	O	1,1 ± 0,7	0,21 ± 0,11	0,64 ± 0,10	2,5σ	0,54
NGC 3516	O	2,0 ± 0,6	0,09 ± 0,05	0,54 ± 0,16	3,6σ	0,44
NGC 4051	O	0,7 ± 0,5	0,73 ± 0,13	0,19 ± 0,25	1,6σ	0,96
NGC 4051	P	9,4 ± 1,8	0,30 ± 0,04	0,82 ± 0,23	3,3σ	
NGC 4151	O	1,6 ± 0,5	0,56 ± 0,05	0,07 ± 0,09	3,8σ	0,99
NGC 4151	P	2,8 ± 1,2	0,43 ± 0,07	0,00 ± 0,07	2,7σ	
NGC 5506	O	1,0 ± 0,6	0,89 ± 0,12	0,41 ± 0,13	1,7σ	0,41
NGC 5548	O	1,4 ± 0,3	0,36 ± 0,05	0,88 ± 0,18	4,7σ	0,78
NGC 6814	P	1,7 ± 1,7	0,62 ± 0,16	0,11 ± 0,13	1,8σ	0,11
NGC 7314	P	39 ± 5	0,07 ± 0,05	0,56 ± 0,16	3,0σ	0,56
NGC 7469	O	1,1 ± 0,3	0,44 ± 0,04	0,91 ± 0,20	4,0σ	0,92
NGC 7469	P	4,8 ± 4,0	0,41 ± 0,11	0,02 ± 0,16	1,9σ	
3C 273	O	1,4 ± 0,4	0,08 ± 0,05	0,52 ± 0,07	3,4σ	0,42
3C 371	P	6,1 ± 2,7	0,34 ± 0,08	0,82 ± 0,25	2,3σ	0,82
III Zw 2	P	10 ± 7	0,81 ± 0,11	0,32 ± 0,10	3,0σ	0,32
Mrk 335	P	4,5 ± 1,4	0,55 ± 0,05	0,03 ± 0,13	3,6σ	0,03
Mrk 421	O	0,8 ± 0,5	0,44 ± 0,08	0,96 ± 0,07	3,4σ	0,87
Mrk 421	P	0,5 ± 0,4	0,34 ± 0,14	0,88 ± 0,09	1,9σ	
Mrk 501	O	0,7 ± 0,3	0,34 ± 0,06	0,85 ± 0,10	3,0σ	0,75
OJ 287	O, ИК	0,3 ± 0,1	0,45 ± 0,08	0,94 ± 0,07	3,5σ	0,84
MCG-6-30-15	P	9,4 ± 6,5	0,48 ± 0,12	0,08 ± 0,13	3,5σ	0,08
BL Lac	O	0,5 ± 0,2	0,25 ± 0,06	0,85 ± 0,09	3,7σ	0,75
PKS 2155-304	P	1,3 ± 0,3	0,81 ± 0,04	0,31 ± 0,09	4,4σ	0,31
EXO 1128+691	P	14 ± 6	0,82 ± 0,08	0,29 ± 0,10	2,4σ	0,29
Солнце	O, ИК	$\sim 4\cdot 10^{-6}$	0,33 ± 0,03	0,83 ± 0,08	3,8σ	0,83

*Уровень значимости определен по средней кривой и/или по спектру мощности.
Обозначение диапазонов: O – оптический, P – рентгеновский.

11. Анализ распределения фаз

Наиболее вероятный механизм активности АЯГ и квазаров – дисковая аккреция вещества на сверхмассивную черную дыру. В такой модели рентгеновское излучение возникает в области, расположенной много ближе к гравитационному радиусу черной дыры, чем оптическое. Если природа P_0-периодичности связана с черной дырой, то относительная амплитуда рентгеновских осцилляций должна быть больше амплитуды оптических. Может иметь место также фазовый сдвиг между рентгеновской и оптической кривыми блеска.

Наблюдаемые у АЯГ рентгеновские амплитуды A_h в среднем примерно в 7 раз превосходят оптические амплитуды (8,0 ± 2,9 и 1,1 ± 0,2 % соответственно, см. табл. 2). Что касается фаз, то только для 4 объектов – NGC 4151, NGC 7469 и Mrk 421 – фазы определены в обоих диапазонах – оптическом и рентгеновском. В среднем для них запаздывание по фазе оптических вариаций (с периодом P_0) по отношению к рентгеновским вариациям составляет $\overline{\Delta\psi} = \overline{\psi}_{\text{опт}} - \overline{\psi}_{\text{рент}} = 0{,}10 \pm 0{,}10$ (здесь предполагается также, что для всех АЯГ $|\Delta\psi| \leqslant 0{,}5$).

Так как в большинстве случаев формы средних P_0-кривых существенно отличаются от синусоиды и имеют резко выраженный минимум, в дальнейшем будем анализировать только фазы минимумов ψ.

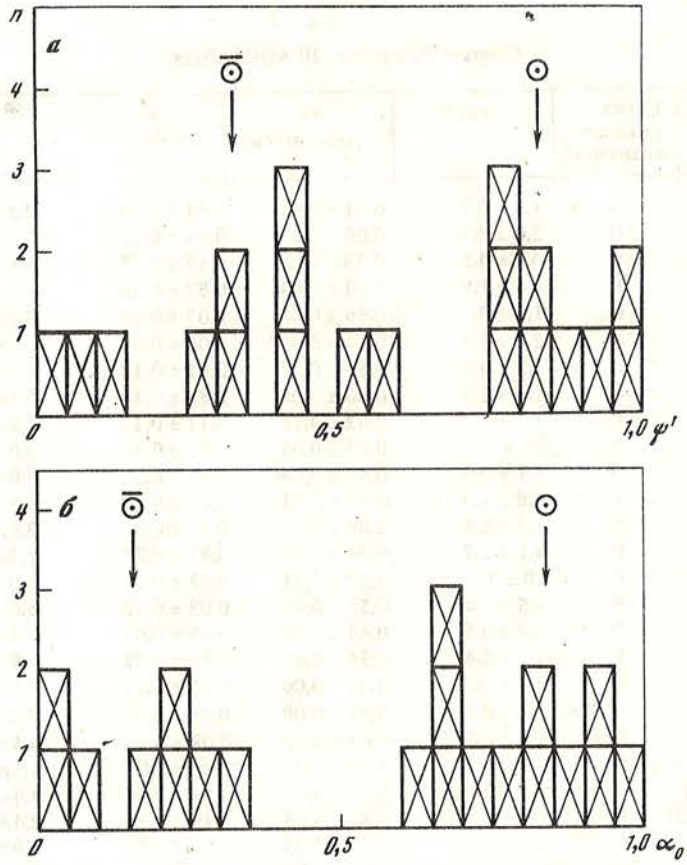


Рис. 11. Распределение фаз минимумов блеска ψ' (*а*) и нормированных фаз α_0 (*б*) для 20 АЯГ. Фазы Солнца и "анти-Солнца" обозначены стрелками и знаками ⊙, $\bar{\odot}$

С учетом среднего запаздывания $\Delta\bar{\psi} = 0{,}10$ все оптические фазы ψ уменьшаем на 0,10, получая таким образом систему корректированных фаз ψ' (см. последний столбец табл. 2). Считая Солнце "точечным" объектом, его фазу оставляем неизменной: $\psi'_{\odot} \equiv \psi_{\odot}$. Для объектов, имеющих и оптические, и рентгеновские фазы ψ, в качестве ψ' принимаем среднее значение между $\psi_{\text{рент}}$ и корректированной $\psi_{\text{опт}}$.

Ранее указывалось, что фазы ψ АЯГ, по-видимому, распределены неслучайным образом и в среднем имеется или тенденция к концентрации фаз к фазе ψ Солнца, или тенденция быть в противофазе с Солнцем [11, 15, 37]. Совокупность 21 фазы ψ' (см. табл. 2) позволяет судить о подобной закономерности более обоснованно.

Распределение фаз минимумов блеска ψ' показано на рис. 11, *а*. Видно, что действительно имеется некоторая тенденция фаз группироваться в диапазонах 0,75–1,15 и 0,25–0,60, т.е. вблизи фаз, "синхронных и асинхронных" с Солнцем. В первую группу входит 12 АЯГ; среднее значение фаз для них $\psi'_1 = 0{,}91 \pm 0{,}04$ (для Солнца $\psi'_{\odot} = 0{,}83 \pm 0{,}08$). Вторая группа состоит из 8 объектов со средней фазой $\psi'_2 = 0{,}41 \pm 0{,}04$ (антифаза для Солнца $\bar{\psi}'_{\odot} = 0{,}83 - 0{,}5 = 0{,}33 \pm 0{,}08$).

Обозначив $x = 2\,|\psi' - \psi'_2|$, введем для АЯГ систему нормированных фаз

$$\alpha_0 = \begin{cases} |x|, & x < 1, \\ 2 - x, & x \geqslant 1. \end{cases}$$

Соответствующее распределение α_0 показано на рис. 11, *б*: видно, что фазы α_0 делятся на две группы: вблизи $\alpha_0 \approx 0$ (или "анти-Солнца", $\bar{\odot}$) и вблизи $\alpha_0 \approx 1$ (вблизи фазы Солнца, $\odot$). Статистическая достоверность разделения фаз на две группы, определенная по критерию [38], составляет $\sim 2{,}4\sigma$ (уровень значимости 98,4%).

12. Заключение

В [4, 9] изложен ряд соображений в пользу космологической интерпретации P_0-осцилляции. Суть гипотезы состоит в трактовке P_0-периодичности как универсальной шкалы времени для "мировых часов", или как "временных периодических флуктуаций пространственно-временной метрики". Мы придерживаемся этой гипотезы, поскольку альтернативных предположений, заслуживающих внимания, пока не выдвинуто.

С точки зрения космологической гипотезы наиболее интересным представляется сдвиг фазы P_0-осцилляции практически точно на 180° между двумя группами. АЯГ. Это наводит на мысль о возможном глубоком физическом смысле разделения. Каких-либо систематических различий по таким параметрам, как α и δ (экваториальные координаты), z, d, M, установить не удается.

Сдвиг, фазы, близкий к 180°, наводит на аналогию с зеркальным отражением, когда правое меняется на левое при смене фазы (например, вращения) также на 180°. И, далее, мысль об "отраженном мире" приводит к идее об *антивеществе,* из которого, возможно, и состоят объекты, асинхронные с Солнцем (см. также [37]). Однако для более уверенных выводов требуются новые данные о быстрой переменности АЯГ – особенно рентгеновские, получаемые со спутников. Последнее особенно важно для скептиков, которые не перестают указывать на близость периода P_0 к 1/9 среднесолнечных суток, игнорируя тот факт, что обсуждаемый период 160,0101 (±1) мин заметно отличается от суточной гармоники 160,0000 мин.

Обратим особое внимание на результат, полученный здесь для объекта PKS 2155-304. Для этого объекта проанализированы только рентгеновские данные, полученные на спутниках, за пределами земной атмосферы, и они с высоким уровнем значимости ($\sim 4{,}4\sigma$) показали присутствие периода 160,010 (±2) мин. Последний значимо отличается от 1/9 суток и в пределах ошибки совпадает с P_0.

Таблица 3

Значения периода и красного смещения z

Объект	P, мин	z	Объект	P, мин	z
NGC 1275	160,0094 (± 8)	0,0178	3C 273	160,0105 (± 7)	0,1580
NGC 3516	160,0100 (± 9)	0,0088	Mrk 335	162 (± 4)	0,0251
NGC 4051	161,6 (± 1,8)	0,0023	PKS 2155-304	160,010 (± 2)	0.117
NGC 4151	160,0103 (±5)	0,0033			
NGC 7469	159,98 (± 3)	0,0167	Солнце	160,0101 (± 1)	0

В табл. 3 приведены значения периода для Солнца и 8 АЯГ, определенные к настоящему времени по спектрам мощности. Видно, что значения периодов всех 8 внегалактических объектов в пределах ошибок совпадают с P_0' Солнца. И это – несмотря на громадные расстояния, а также скорости удаления, характеризующие объекты.

Этот факт, взятый сам по себе, для многих выглядит как фантастический и даже абсурдный и не имеющий разумного объяснения в нашем мире, для которого астрофизики привыкли рисовать модель Вселенной, подчиняющейся принципам общей теории относительности. На деле, однако, Вселенная, возможно, гораздо интереснее и богаче, чем мы себе представляем (т.е. в рамках стандартной модели, основанной

на пресловутой идее Большого взрыва, см. [4, 9, 15]). Известно, насколько велико расстояние между действительными свойствами мира и основными законами физики и астрофизики.

Авторы благодарны С.А. Бондаренко, Е.И. Лиморенко и Н.Г. Сунице за помощь в обработке материала. Мы глубоко признательны также В.Ю. Рахимову и Т.Тэрнеру за присланные нам данные о наблюдениях OJ 287 и NGC 7314.

30 марта 1990 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Visvanathan N., Elliot J.L.* // Astrophys. J. 1973. Vol. 179. P. 721–730.
2. *Kiplinger A.L.* // Ibid. 1974. Vol. 191. P. L109–110.
3. *Дорошенко В.Т., Ефимов Ю.С., Теребиж В.Ю., Шаховской Н.М.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1985. Т. 73. С. 143–153.
4. *Котов В.А., Лютый В.М.* // Там же. 1988. Т. 79. С. 139–157.
5. *Brodie J., Bowyer S., Tennant A.* // Astrophys. J. 1987. Vol. 318. P. 175–187.
6. *Mittaz J.P.D., Branduardi-Raymont G.* // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. 1989. Vol. 238. P. 1029–1046.
7. *Fiore F., Massaro E.* // Accretion disks and magnetic fields in astrophysics // Ed. G.Belvedere. Dordrecht, 1989. P. 267–272.
8. *McHardy I.* // Mon. Soc. Astron. Ital. 1988. Vol. 59. P. 239–259.
9. *Лютый В.М., Котов В.А.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1990. Т. 84.
10. *Lawrence A., Watson M.G., Pounds K.A., Elvis M.* // Nature. 1987. Vol. 325. P. 694–696.
11. *Котов В.А., Лютый В.М.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1991. Т. 83. С. 216–230.
12. *Severny A.B., Kotov V.A., Tsap T.T.* // Nature. 1976. Vol. 259. P. 87–89.
13. *Christensen-Dalsgaard J., Gough D.O.* // Ibid. P. 89–92.
14. *Brookes J.R., Isaak G.R., van der Raae H.B.* // Ibid. P. 92–95.
15. *Котов В.А., Лютый В.М.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1988. Т. 78. С. 89–111.
16. *Лютый В.М.* // Астрон. журн. 1977. Т. 54. С. 1153–1167.
17. *Zhukov G.V.* // Inform. Bull. Variable Stars. 1976. N 1156. P. 1–2.
18. *Xie Guangzhong, Li Kaihua, Bao Menxien* et al. // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser. 1987. Vol. 67. P. 17–24.
19. *Sillanpää A., Haarala S., Korhonen T.* // Ibid. 1988. Vol. 72. P. 347–354.
20. *Miller H.R., McGimsey B.Q., Williamon R.M.* // Astrophys. J. 1977. Vol. 217. P. 382–384.
21. *Miller H.R., McGimsey B.Q.* // Ibid. 1978. Vol. 220. P. 19–24.
22. *Doroshenko V.T., Lyuty V.M., Terebizh V.Yu.* et al. // Astron. and Astrophys. 1986. Vol. 163. P. 321–325.
23. *Moore R.L., McGraw J.T., Angel J.R.P.* et al. // Astrophys. J. 1982. Vol. 260. P. 415–436.
24. *Miller H.R.* // Lect. Notes Phys. 1988. Vol. 307. P. 146–157.
25. *Miller H.R., Carini M.T., Goodrich B.D.* // Nature. 1989. Vol. 337. P. 627–629.
26. *Snyder W.A., Davidsen A.F., Wood K.* et al. // Astrophys. J. 1980. Vol. 237. P. L11–L14.
27. *Treves A., Morini M., Chiappetti L.* et al. // Ibid. 1989. Vol. 341. P. 733–747.
28. *Massaro E., Lorenzetti D., Perola G.C., Spinoglio L.* // Adv. Space Sci. 1988. Vol. 8. P. 99–102.
29. *Turner T.J.* // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. 1987. Vol. 226. P. 9p–13p.
30. *Bedford D.K., Vilhu O., Petrov P.* // Ibid. 1988. Vol. 234. P. 319–324.
31. *Kaastra J.S., de Korte P.A.J.* // Astron. and Astrophys. 1988. Vol. 198. P. 16–32.
32. *Tagliaferri G., Giommi P., Angelini L.* et al. // Astrophys. J. 1988. Vol. 331. P. L113–L116.
33. *Асланов А.А., Липунова Н.А.* // Письма в АЖ. 1988. Т. 14, № 9. С. 793–797.
34. *Barr P.* // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. 1986. Vol. 223. P. 29p–35p.
35. *Staubert R., Brunner H., Worrall D. M.* // Astrophys. J. 1986. Vol. 310. P. 694–699.
36. *McHardy I., Czerny B.* // Nature. 1987. Vol. 325. P. 696–698.
37. *Kotov V.A.* // Lect. Notes Phys. 1990.
38. *Kotov V.A.* // Solar Phys. 1985. Vol. 100. P. 101–113.

УДК 520.16

ИЗМЕРЕНИЯ ЯРКОСТИ НОЧНОГО НЕБА В КРЫМСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Ю.С. Ефимов, В.И. Бурнашев

Измерения яркости ночного неба в Крымской обсерватории 31 мая и 4 июня 1989 г. в полосах *UBVRI* показали, что: 1) измеренная яркость и показатели цвета фона ночного неба в зените характеризуются величинами $V = 21^m.8/\square''$, $B - V = 1^m.02$, $U - B = -0^m.42$, $V - R = 1^m.03$, $V - I = 2^m.70$; 2) яркость собственного свечения ночного неба вместе с подсветкой от населенных пунктов в окрестностях обсерватории $V = 22^m.5/\square''$; 3) вклад подсветки от населенных пунктов минимален в восточном направлении и максимален в западном и северном, где составляет на зенитном расстоянии 45° величину $\Delta V \approx 0^m.5/\square''$; 4) включение местного освещения увеличивает яркость ночного неба во всем оптическом диапазоне на 10–20%, особенно в южном и северном направлениях.

THE NIGHT SKY BRIGHTNESS MEASUREMENTS AT THE CRIMEAN ASTROPHYSICAL OBSERVATORY, *by Yu.S. Efimov and V.I. Burnashov.* The measurements of the night sky brightness in *UBVRI* – bands at the Crimean Astrophysical Observatory were made in 1989, May 31 and June 4. The following conclusions are made: 1) the mean measured brightness and colors of the night sky in zenith are: $V = 21^m.8/\square''$, $B - V = 1^m.02$, $U - B = -0^m.42$, $V - R = 1^m.03$, $V - I = 2^m.70$; 2) the intrinsic brightness of the night sky in zenith is $V = 22^m.5/\square''$; 3) the light pollution has the minimum in the east and maximum in the west and in the north directions where it is equal to $\Delta V = 0^m.5/\square''$ at zenith distance 45°; 4) the light pollution from the local illumination increases the brithness of the night sky at all optical region to 10–20%, mostly in the south and north directions.

Одним из условий нормального функционирования астрофизической обсерватории является минимальная запыленность атмосферы и минимальный уровень яркости ночного неба. Выполнение этих требований ведет к размещению обсерваторий в горах, вдали от крупных населенных пунктов. К сожалению, процессы урбанизации, рост городов в окрестностях обсерваторий неизбежно приводят к увеличению засветки ночного неба искусственными источниками света. Известны случаи, когда уровень светового загрязнения вырастал катастрофически быстро, примерно на 1^m за 10 лет [1, 2].

Недавно опубликован проект международного соглашения по охране обсерваторий от светового загрязнения [3]. Было выяснено, что местные источники света дают значительный вклад в повышение яркости ночного неба [4].

Крымская астрофизическая обсерватория находится недалеко от двух крупных городов: Симферополя и Бахчисарая, в непосредственной близости от группы небольших сел и поселков. Попытка определения исходящей от них засветки неба была предпринята еще в 1945 г., при выборе места для Обсерватории [5]. Оказалось, что уже в то время, почти полвека назад, засветка от населенных пунктов, расположенных в северном направлении, была вполне ощутимой. К сожалению, многочисленные неопределенности, связанные с применявшейся тогда аппаратурой, затрудняют прямое сопоставление полученных в [5] результатов с результатами последних лет. Ясно, что со временем уровень этой засветки будет возрастать, создавая серьезную опасность для астрономических наблюдений в северной и северо-восточной частях неба.

Для предотвращения отрицательного влияния местной засветки на астрономические наблюдения в 1945 г. при создании КрАО было принято специальное постановление правительства об установлении защитной зоны с радиусом 3 км вокруг обсерватории с запрещением в ней крупного строительства и согласования всякого иного строительства в этой зоне с президиумом Академии наук. К сожалению, с самого начала на территории КрАО было начато строительство жилого поселка, предопределившее неуклонный рост местной засветки неба.

Рост окружающих обсерваторию городов и поселков, а также продолжающееся строительство новых объектов на ее территории, делают весьма актуальной задачу контроля за уровнем засветки ночного неба от местных и дальних источников света с

целью недопущения в дальнейшем роста светового загрязнения хотя бы от источников света, расположенных на территории обсерватории.

Ниже излагается методика измерения яркости ночного неба в КрАО и приводятся их основные результаты.

Методика наблюдений

Определение засветки неба от ближних и дальних источников света проводилось в две ясные безлунные летние ночи: 31 мая–1 июня и 4–5 июня 1989 г. Измерения проводились на зенитных расстояниях 45 и 60° в направлениях на восток, юг, запад и полюс. Все измерения проводились в областях неба, удаленных от Млечного пути, и начинались и заканчивались измерениями яркости неба в зените. Для раздельного определения уровней засветки от ближних и дальних источников измерения делались в два этапа.

Первая серия измерений проводилась во всех избранных направлениях при обычном световом режиме в поселке Научном, где расположена обсерватория: включены уличное освещение, светильники у ряда объектов, освещение в жилых домах.

Вторая серия измерений делалась при отключенных источниках света: 31 мая–1 июня было полностью отключено все освещение на всей территории поселка, за исключением отдельных объектов, а 4–5 июня отключалось только уличное освещение, так как ввиду позднего времени начала измерений другие источники света на территории поселка были уже выключены. Измерения проводились по схеме: зенит, восток ($z = 45, 60°$), юг ($z = 60, 45°$), запад ($z = 45, 60°$), полюс ($z = 45°$), зенит. В каждой точке проводилось одно полное измерение яркости ночного неба.

Аппаратура

Наблюдения проводились на телескопе АЗТ-11 с помощью финского фотометра-поляриметра конструкции В. Пииролы [6]. Прибор обеспечивает одновременность измерений в полосах *UBVRI* с центрами 0,36; 0,44; 0,53; 0,69; 0,83 мкм. Использовался режим поляризационных измерений с рабочей диафрагмой диаметром 20″ при времени накопления 10 с в каждом из 8 положений фазовой пластинки. В этом режиме каждое наблюдение состоит из восьми измерений объекта и одного измерения фона. В наших измерениях объектом был фон неба, а роль фона играл темновой ток.

Калибровка

Для перехода к звездным величинам с квадратной секунды дуги фон в зените привязывался к фотометрическому стандарту в той же области неба, исправленному за экстинцию в зените. В качестве такой звезды была выбрана HD 130044 с характеристиками $V = 6^m,74$, $B - V = 0^m,28$, $U - B = 0^m,01$. Так как эти показатели цвета соответствуют таковым для непокрасневшей звезды FOV, то для HD 130044 были приняты типичные для таких звезд показатели цвета $V - R = 0^m,18$ и $V - I = 0^m,18$. Коэффициенты экстинкции определялись по паре звезд HD 130044 и HD 126131 спектрального класса A0, для которой $V = 6^m,72$, $B - V = 0^m,09$, $U - B = 0^m,08$, $V - R = 0^m,04$, $V - I = 0^m,1$. Полученные коэффициенты экстинкции равны: $\alpha_U = 0{,}88$, $\alpha_B = 0{,}59$, $\alpha_V = 0{,}37$; $\alpha_R = 0{,}28$, $\alpha_I = 0{,}15$.

Переход от инструментальной системы *ubvri* к стандартной системе *UBVRI* делался по формулам

$$\Delta V = \Delta v - 0{,}087\,\Delta(b - v),$$
$$\Delta(B - V) = 1{,}243\,\Delta(b - v),$$
$$\Delta(U - B) = 0{,}988\,\Delta(u - b),$$
$$\Delta(V - R) = 0{,}953\,\Delta(v - r),$$
$$\Delta(V - I) = 1{,}126\,\Delta(v - i).$$

Результаты

Результаты наблюдений собраны в табл. 1, 2, в которых для каждого направления и зенитного расстояния указаны: московское время середины наблюдения, часовой угол, экваториальные и галактические координаты и результаты измерений в скоростях счета импульсов за секунду и в звездных величинах с квадратной секунды дуги в каждой полосе.

Полученные данные свидетельствуют, что яркость неба в обе ночи сильно менялась с азимутом и с зенитным расстоянием. Причиной этого является совместное действие светового загрязнения от местных и дальних источников искусственного освещения, собственное свечение неба и различный вклад звездной и зодиакальной компонент.

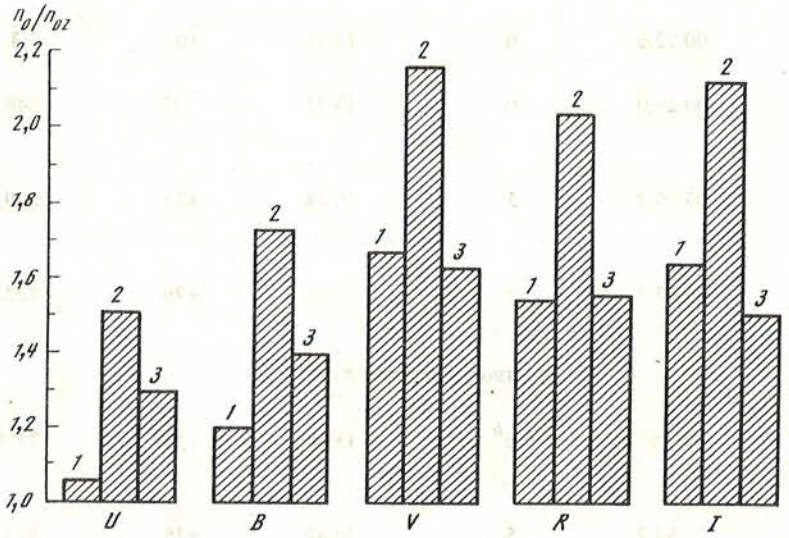


Рис. 1. Влияние дальней засветки

Местное освещение выключено. Измерения 31 мая – 1 июня 1989 г. на зенитном расстоянии 45° в направлениях на юг, запад, полюс в полосах *UBVRI*. По вертикали указана относительная яркость неба в единицах яркости неба в зените, без исправления за вклад звездной и зодиакальной составляющих фона неба. *1* – юг, *2* – запад, *3* – полюс

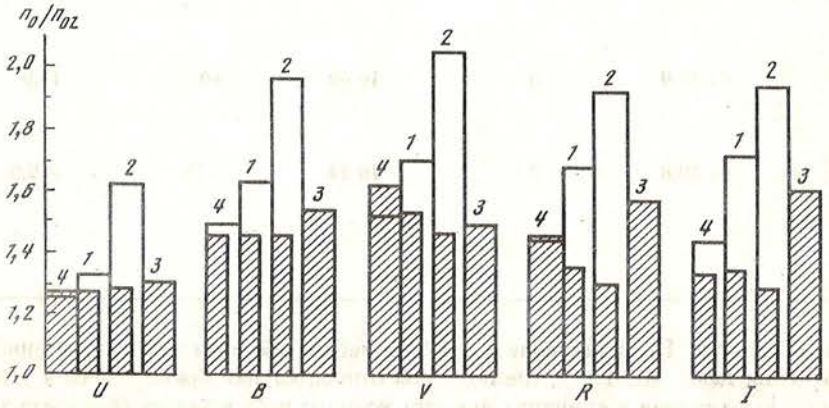


Рис. 2. Влияние дальней засветки

Измерения 4–5 июня 1989 г. на зенитных расстояниях 45° (заштрихованные столбики) и 60° (пустые столбики), *4* – восток, остальные обозначения см. на рис. 1

Таблица 1

Яркость ночного неба в КрАО 31 мая–1 июня 1989 г.

Направление	$T_{моск}$	t	α	δ	l
		Местное освещение включено			
Зенит $z = 0°$	$00^h02^m,5$	0^h	14^h56^m	+45°	76°,3
Восток $z = 45°$	00 14,8	18	21 08	+28	74,8
Юг $z = 45°$	00 22,6	0	15 16	+0	1,3
$z = 60°$	00 28,0	0	15 21	–15	348,7
Запад $z = 45°$	00 35,2	5	10 28	+25	209,3
Полюс $z = 45°$	00 43,3	5	10 37	+90	123,0
		Местное освещение выключено			
Зенит $z = 0°$	$00^h49^m,2$	0^h	15^h42^m	+45°	71°,8
Запад $z = 45°$	00 55,7	5	10 49	+25	211,2
$z = 60°$	01 00,6	5	10 54	+10	240,2
Полюс $z = 45°$	01 06,9	5	11 00	+90	123,0
Юг $z = 45°$	01 15,9	0	16 09	+0	11,9
Юг $z = 60°$	01 20,8	0	16 14	–15	359,0
Зенит $z = 0°$					

Дальняя засветка. Представление о яркости неба в обе ночи при выключенном местном освещении дают рис. 1 и 2, где показана относительная яркость неба в разных направлениях, выраженная в единицах яркости ночного неба в зените (без учета звездной и зодиакальной составляющих свечения неба). Из сравнения рисунков следует, что в ночь 31 мая–1 июня 1989 г. с более высокой относительной влажностью при $z = 45°$

b	n_a	n_b	n_v	n_r	n_i
			Местное освещение включено		
+59°,2	160	192	162	596	750
	$21^m,9$	$22^m,4$	$21^m,3$	$20^m,4$	$19^m,1$
−13,3	104	169	161	733	1187
	22,4	22,6	21,3	20,2	18,5
+45,3	120	187	163	602	925
	22,3	22,5	21,3	20,4	18,8
+33,8	124	204	184	678	1044
	22,2	22,4	21,2	20,3	18,7
+58,5	155	263	220	790	1164
	22,0	22,1	21,0	20,2	18,6
+27,4	132	215	182	699	1178
	22,1	22,3	21,2	20,3	18,5
			Местное освещение выключено		
+51°,4	105	148	101	404	589
	$22^m,4$	$22^m,7$	$21^m,8$	$20^m,9$	$19^m,3$
+63,0	159	257	227	827	1272
	22,0	22,1	20,9	20,1	18,5
+57,8	154	278	372	1169	1749
	22,0	22,1	20,4	19,7	18,1
+27,4	136	207	171	632	905
	22,1	22,4	21,3	20,4	18,9
+34,8	111	178	175	625	988
	21,8	22,0	20,8	19,4	18,5
+24,7	103	166	161	641	1015
	22,4	22,6	21,3	20,4	18,7
	104	148	109	405	607
	22,4	22,7	21,8	20,9	19,3

(заштрихованные столбики) яркость неба была выше, чем в тех же направлениях в ночь 4–5 июня 1989 г., особенно в западном секторе, в направлении на Бахчисарай–Севастополь.

Местная засветка. Включение местных источников света (уличное освещение, освещение витрин и подъездов жилых домов, ряда объектов на территории) заметно увели-

Таблица 2

Яркость ночного неба в КрАО 4–5 июня 1989 г.

Направление	$T_{моск}$	t	α	$\delta°$	$l°$
		Местное освещение включено			
Зенит $z = 0°$	23^h46^m	00^h10^m	14^h43^m	+45	78
Восток $z = 60°$	23 56	19 04	19 59	+18	57
$z = 45°$	00 01	20 31	18 38	+30	59
Юг $z = 60°$	00 08	00 02	15 13	–15	347
$z = 45°$	00 13	00 07	15 13	0	1
Запад $z = 45°$	00 19	03 32	11 55	+30	197
$z = 60°$	00 24	04 31	11 01	+18	228
Полюс $z = 45°$	00 30	04 38	11 00	+90	123
Зенит $z = 0°$	00 37	00 00	15 44	+45	8
		Местное освещение выключено			
Зенит $z = 0°$	00^h56^m	00^h02^m	16^h02^m	+45,3	71
Восток $z = 60°$	01 07	19 20	20 55	+14	61
$z = 45°$	01 13	20 30	19 50	+30	66
Юг $z = 60°$	01 18	00 01	16 25	–15	1
$z = 45°$	01 24	00 07	16 25	+00,0	14
Запад $z = 45°$	01 31	03 34	13 05	+30	70
$z = 60°$	01 36	04 31	12 13	+18	260

b°	n_a	n_b	n_v	n_r	n_i
			Местное освещение включено		
+61,0	122	157	114	446	669
	$22^m,2$	$22^m,7$	$21^m,7$	$20^m,8$	$19^m,2$
−6,0	141	229	215	877	1410
	22,1	22,3	21,0	20,0	18,3
+15,5	138	190	150	505	900
	22,1	22,5	21,4	20,5	18,8
+35,0	165	233	194	677	1100
	21,9	22,2	21,1	20,3	18,6
+46,0	139	197	165	579	916
	22,1	22,4	21,3	20,5	18,8
+78,0	148	210	160	639	964
	22,0	22,4	21,4	20,4	18,7
+63,0	197	297	254	951	1419
	21,7	22,0	20,8	20,0	18,3
+27,4	153	214	180	694	1083
	22,0	22,3	21,2	20,3	18,6
+51,0	112	150	103	446	680
	22,3	22,7	21,8	20,8	19,1
			Местное освещение выключено		
+48,0	101	134	107	440	673
	$22^m,4$	$22^m,8$	$21^m,8$	$20^m,8$	$19^m,1$
−20,0	128	200	154	646	967
	22,2	22,4	21,4	20,4	18,7
+02,0	129	196	165	641	893
	22,2	22,4	21,3	20,4	18,8
+23,0	135	218	173	745	1158
	22,1	22,3	21,2	20,2	18,5
+31,4	129	195	155	601	905
	22,2	22,4	21,4	20,5	18,8
+85,0	130	195	148	575	869
	22,2	22,4	21,4	20,5	18,9
+77,0	164	263	208	853	1302
	21,9	22,1	21,0	21,1	18,4

Таблица 2 (окончание)

Направление	$T_{моск}$	t	α	$\delta°$,	$l°$,
Полюс $z = 45°$	01 42	04 37	12 13	+90	123
Зенит $z = 0°$	01 48	00 00	16 56	+44,7	70
		Местное освещение включено			
Зенит $z = 0°$	02^h01^m	00^h12^m	16^h57^m	+45	76

чивает яркость неба во всех направлениях, кроме восточного, где преобладало свечение Млечного Пути.

Результаты измерений в относительных единицах (отношение яркостей "освещение включено"/"освещение выключено") показаны на рис. 3 и 4 для зенитных расстояний 45° (заштрихованные столбики) и 60° (пустые столбики) без учета вклада звездной и зодиакальной компонент. Рисунки показывают, что при включенных местных

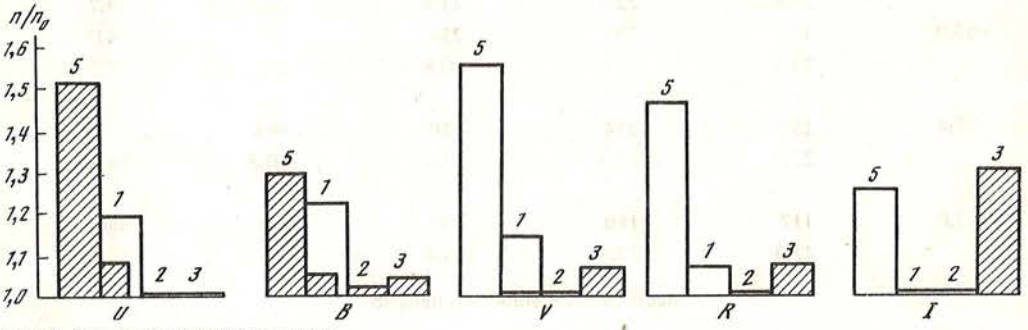


Рис. 3. Влияние местной засветки

Измерения фона ночного неба 31 мая – 1 июня 1989 г. По вертикали указано отношение яркости ночного неба в данном направлении при включенном местном освещении к яркости неба в том же направлении при выключенном местном освещении. Без исправления за вклад звездной и зодиакальной компонент.

5 – зенит, остальные обозначения см. на рис. 1,2

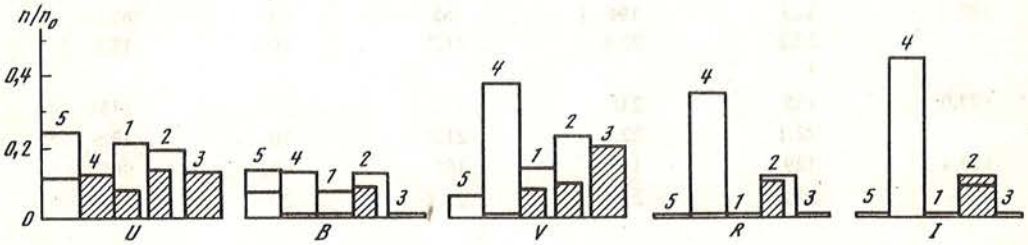


Рис. 4. Влияние местной засветки

Измерения 4–5 июня 1989 г. Повышенная яркость неба на востоке при зенитном расстоянии 60° вызвана возможным вкладом излучения от Млечного Пути или попаданием в диафрагму слабой звезды.

4 – восток, *5* – зенит, обозначения *1–3* см. на рис. 1

Таблица 2 (окончание)

$b°$,	n_a	n_b	n_v	n_r	n_i
†27,4	134	206	151	698	1083
	22,1	22,4	21,4	20,4	18,6
+38,0	102	134	97	448	671
	22,4	22,8	21,9	20,8	19,1
		Местное освещение включено			
+38,0	102	144	117	450	680
	$22,^m4$	$22,^m8$	$21,^m7$	$20,^m8$	$19,^m1$

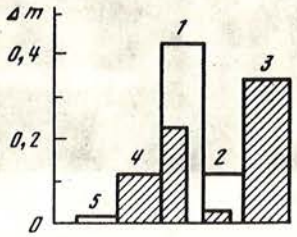
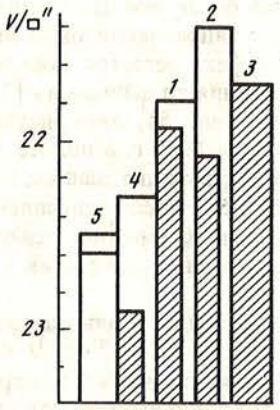


Рис. 5. Влияние местной засветки в полосе V в направлении на зенит, восток, юг, запад и полюс после исправления наблюдений на вклад звездной и зодиакальной составляющих

По вертикали указана относительная засветка (отношение яркостей неба в данном направлении при включенном и выключенном местном освещении), выраженная в звездных величинах.

Обозначения см. на рис. 4



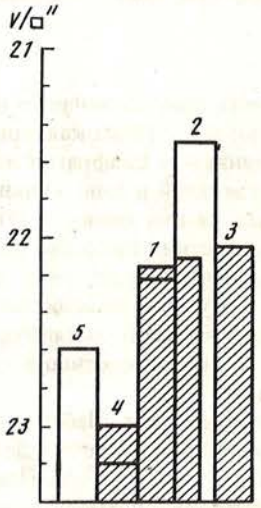


Рис. 6. Яркость ночного неба при включенном местном освещении в полосе V в звездных величинах с квадратной секунды дуги в направлениях на зенит, восток, юг, запад и полюс по наблюдениям 4–5 июня 1989 г. для зенитных расстояний 45° (заштрихованные столбики) и 60° (пустые столбики) после учета вклада звездной и зодиакальной составляющих

Обозначения см. на рис. 4

Рис. 7. То же, что и рис. 6, но при выключенном местном освещении

Обозначения см. на рис. 4

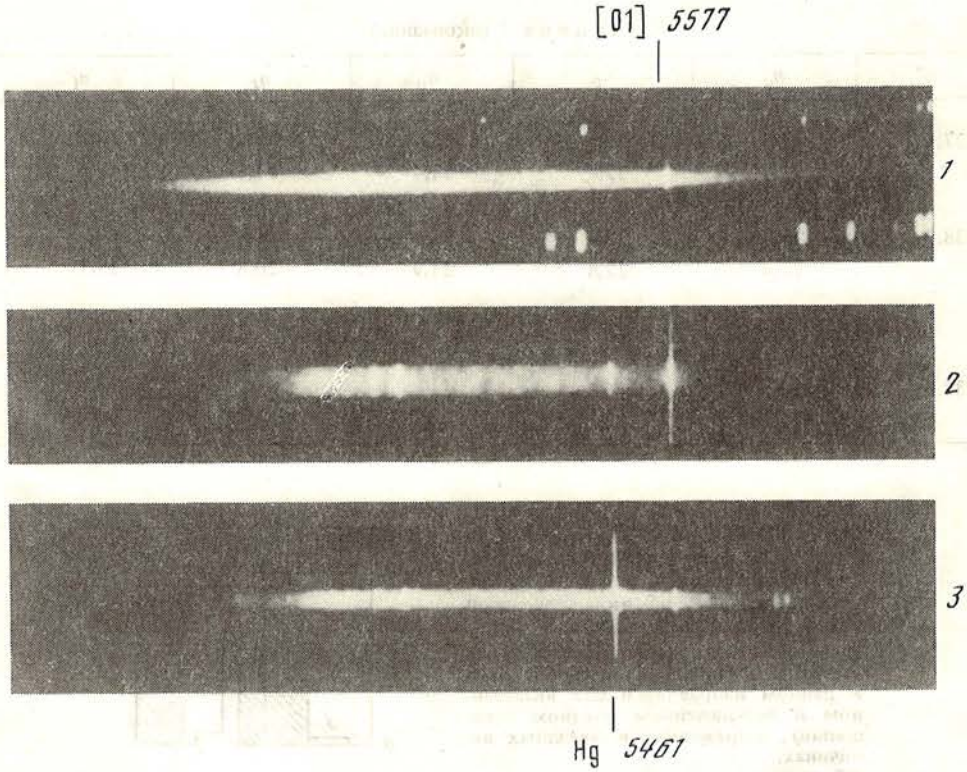


Рис. 8. Рост интенсивности линии ртути на спектре галактики NGC 3516 по наблюдениям К.К. Чуваева на 2,6-метровом телескопе Крымской астрофизической обсерватории 1972 (*1*), 1978 (*2*), 1987 гг. (*3*)

источниках света яркость ночного неба увеличивается более чем на 10%, даже на зенитном расстоянии 45°. (Высокая яркость в восточном направлении была вызвана, возможно, попаданием в диафрагму слабой звезды). Эффект остается даже при исключении влияния звездной и зодиакальной компонент свечения по данным из [7, 8] и наиболее сильно выражен на южной и северной частях неба (рис. 5). Этот рисунок является результатом сравнения яркостей ночного неба 4–5 июня 1989 г. в полосе V при включенном и выключенном местном освещении. Соответствующие данные для яркостей ночного неба в эту ночь на зенитных расстояниях 45 и 60° после исправления за вклад звездной и зодиакальной составляющих показаны на рис. 6 (местное освещение включено) и рис. 7 (местное освещение выключено) в звездных величинах с квадратной секунды дуги.

Яркость ночного неба. Наблюдения 4–5 июня 1989 г. позволили оценить яркость и показатели цвета ночного неба в зените: $V = 21^m_{,}8/\square''$, $B - V = 1^m_{,}02$, $U - B = -0^m_{,}42$, $V - R = 1^m_{,}03$, $V - I = 2^m_{,}70$. Наиболее заметный вклад в ошибку измерений вносит неточность измерения размера диаграммы фотометра-поляриметра. Так, при масштабе 13″/мм в кассегреновском фокусе телескопа АЗТ-11 ошибка в 0,05 мм для 20″ диафрагмы приводит к ошибке измерения яркости $\sim 0^m_{,}1$.

С учетом случайных ошибок измерений ошибка измерений яркости фона неба может доходить до $0^m_{,}15$. Полученные нами оценки яркости и показателей цвета ночного неба в КрАО хорошо согласуются с оценками Лютого и Шарова [4] и Дорошенко [9].

На основании полученных нами данных можно сделать вывод, что в ночь 4–5 июня 1989 г. собственное свечение неба в зените в полосе V на нижней границе атмосферы

характеризовалось величиной $22,^m5-22,^m6$ с квадратной секунды дуги, что примерно на $0,^m3-0,^m4$ слабее, чем найдено Дорошенко. Различие оценок связано, вероятнее всего, с различиями в способах учета звездной и зодиакальной компонент, а также с изменениями величины собственного свечения неба.

Рис. 6 и 7 показывают, что яркость собственного свечения неба вместе с искуственной засветкой в южном, западном и северном направлениях на зенитном расстоянии 45° возрастает до уровня $22,^m0-22,^m2$ с квадратной секунды дуги по сравнению с направлениями на восток и зенит. Перепад яркости ночного неба при переходе с востока на запад составляет одну звездную величину. Этот факт однозначно указывает на наличие весьма ощутимого светового загрязнения от городов и населенных пунктов, расположенных к западу и к северу от КрАО.

Анализ полученных данных свидетельствует, что нынешний уровень засветки неба от источников искусственного освещения уже более чем вдовое превышает установленный в 1978 г. комиссией МАС № 50 уровень допустимой засветки. Согласно решению МАС, максимально допустимый уровень засветки неба от источников искусственного освещения не должен превышать 10% от величины собственного свечения ночного неба на зенитном расстоянии 45° [10, 11].

Заметим, что яркость неба в зените в полосе V при диафрагме 20″ и включенном местном освещении соответствует объекту 15^m. В наблюдательные программы телескопов ЗТШ, АЗТ-11 и МТМ-500 входит много объектов сравнимого и даже меньшего блеска. Как видно из рисунков, даже при наличии подсветки, яркость ночного неба в КрАО все еще находится на вполне приемлемом для наблюдений слабых звезд уровне. Однако дальнейший рост подсветки приведет к снижению эффективности таких наблюдений. Существенные помехи наблюдениям возникают от использования для освещения территории ламп накаливания, увеличивающих яркость неба в непрерывном спектре, и люминесцентных ламп, дающих значительный вклад в области линий ртути и натрия. В частности, сильная линия ртути λ 4358 Å уже сейчас сильно мешает изучению свечения планетарных туманностей и других объектов в линии [OIII] λ 4363 Å [2]. На рис. 8 показаны спектры сейфертовской галактики NGC 3516, полученные К.К. Чуваевым на 2,6-метровом телескопе Крымской обсерватории в 1972–1987 гг. При почти неизменной линии свечения ночного неба [OI] λ 5577 Å виден значительный рост интенсивности линии ртути λ 5461 Å, обусловленный освещением со стороны камнедобывающих карьеров Альминского комбината стройматериалов и близлежащих населенных пунктов.

Сравнение с результатами других обсерваторий

Проблема светового загрязнения является глобальной. Поэтому контроль за состоянием яркости ночного неба ведется во многих обсерваториях мира. На рис. 9 приведены опубликованные значения яркости фона неба в визуальной области вблизи зенита, измеренные в разных пунктах в течение последних десятилетий. Некоторыми авторами публиковались значения, обусловленные только собственным свечением атмосферы и искусственной засветкой. Для того чтобы представить все измерения в более однородном виде, в таких случаях дополнительное излучение, вызванное звездной составляющей и зодиакальным светом и выраженное в числе звезд 10-й величины на квадратный градус, принималось равным 215 S_{10}. Как видно из рисунка, средняя величина измеренного в зените фона неба для лучших наблюдательных пунктов составляет около $21,8^m/\square''$. Это значение, по-видимому, и следует принимать в качестве среднего естественного уровня фона ночного неба.

Искусственная засветка особенно выделяет обсерватории Маунт Вилсон и Дэвид Дэнлэп (№ 12 и № 32 на рис. 9). Весьма значительно повышен фон за счет засветки со стороны Алма-Аты в обсерватории Астрофизического института Академии наук Казахстана на Каменском плато (№ 5). Крымская астрофизическая обсерватория (№ 1) по уровню яркости фона ночного неба занимает пока некое среднее место между Майданаком (№ 3) и Маунт Гамильтон (№ 21).

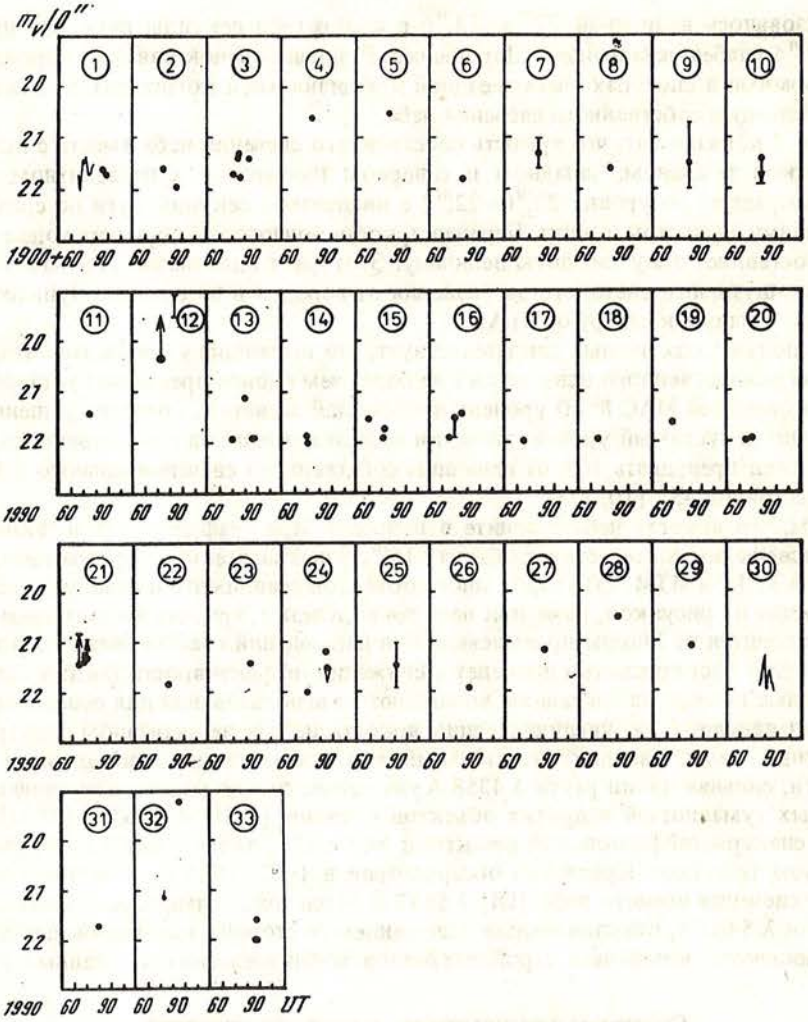


Рис. 9. Измеренная яркость фона ночного неба в визуальной области спектра
1 – Крымская астрофизическая обсерватория [4, 9], *2* – Санглок [9, 16], *3* – Майданак [16, 20], *4* – Терскол [21], *5* – Алма-Ата (Каменское плато) [21], *6* – Ассы-Тургень [21], *7* – Душаг-Эрекдак [22], *8* – Абастумани [23], *9* – Ужгород [24], *10* – САО РАН [25], *11* – Чельмира [16], *12* – Маунт Вилсон [10], *13* – Китт Пик [26–28, 41], *14* – Сан-Педро Мартир [29], *15* – Мак Дональд [30, 31], *16* – Маунт Паломар [10, 15, 32], *17* – Маунт Пинос [15], *18* – Санта-Роса [15], *19* – Пайпер-Маунтин [15], *20* – Хьюниперо-Сьерра [2, 15], *21* – Маунт-Гамильтон [2, 15], *22* – Сакраменто-Пик [33], *23* – Канарские о-ва, Ла Пальма [34], *24* – Мауна Кеа [35, 36, 42], *25* – Бразполь [27], *26* – Кисо [27], *27* – Андерсон-Меса (Ловелл, обсерватория) [27], *28* – Марс Хилл (Ловелл, обсерватория) [37], *29* – Сайдинг-Спрингс [38], *30* – Сен-Бенито [39], *31* – Маунт Леммон [37], *32* – Дэвид Дэнлэп [37], *33* – Сьерро-Тололо [37, 43]

Распределение энергии в спектре ночного неба

Рис. 10, построенный по данным Тарнроуза [12] для обсерватории Маунт Паломар, дает представление о распределении энергии в спектре ночного неба в диапазоне λ 3000–10000 Å с разрешением около 80 Å для λ 5800 Å, и около 160 Å для остального диапазона. Отмечено положение отдельных линий: [OI] – линии свечения ночного неба и нескольких линий ртути, обусловленных искусственным светом от уличных фонарей. Дублет натрия включает оба компонента, как искусственного, так и природ-

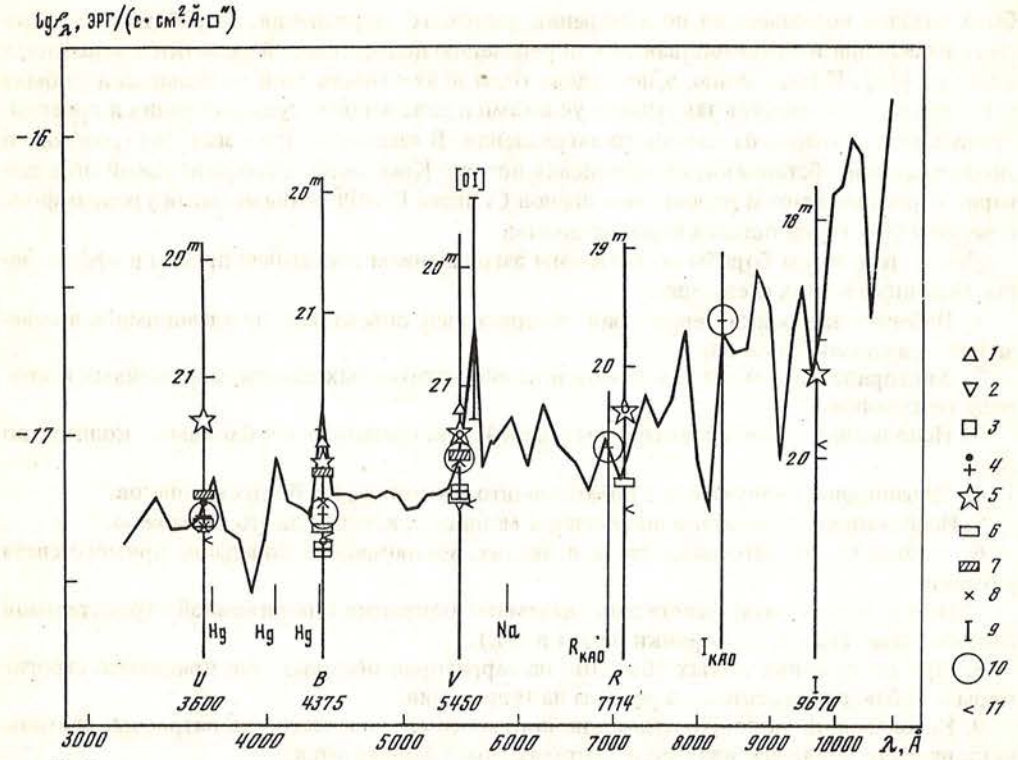


Рис. 10. Распределение энергии в спектре ночного неба

Сплошная линия – по данным Тарнроуза для обсерватории Маунт-Паломар [10], *1* – Майданак [19], *2* – Сан-Педро Мартир [29], *3* – Мак-Дональд [30], *4* – САО РАН [25], *5* – Канарские острова [34], *6* – КрАО [9], *7* – Санглок [9], *8* – КрАО [4], *9* – КрАО [40], *10* – КрАО, измерения 1989 г., *11* – Сьерро-Тололо [43]

ного происхождения. Разными значками отмечены результаты широкополосных фотометрических измерений. Коэффициенты абсолютной калибровки и эффективные длины волн для системы *UBV* взяты по данным Боярчука и др. [13], для полос *R*, *I* – из монографии Страйжиса [14].

Отметим попутно, что с увеличением зенитного расстояния атмосферная экстинкция и относительный рост вклада собственного свечения атмосферы приводят как к увеличению естественной яркости фона неба (примерно вдвое на зенитном расстоянии 70° по отношению к яркости неба в зените), так и к его покраснению. Искусственная засветка увеличивает яркость и по-разному меняет цвет фона неба, в зависимости от того, вызвана она небольшим поселком или многолюдным мегаполисом [2, 15]. Это объясняется разным вкладом рекламного освещения, светом автострад, поглощением в слое смога и т.д. Имеет значение и высота пункта наблюдения.

Меры защиты астрономических обсерваторий от светового загрязнения

Увеличение уровня светового загрязнения со временем вызывает тревогу астрономов во всем мире. В ряде стран начат систематический контроль уровня искусственной засветки неба, ведется активная разъяснительная работа среди населения. В результате иногда удавалось остановить или сдержать рост засветки, угрожающей самому существованию астрономических обсерваторий.

В 1981 г. на совещании рабочей группы Астросовета по проблеме "Астроклимат"

была создана подкомиссия по измерению светового загрязнения, разработавшая методику измерений и применившая ее к определению искусственной засветки в некоторых пунктах [16]. К сожалению, в последние годы деятельность этой подкомиссии не была отмечена сколько-нибудь заметными успехами в деле защиты существующих и проектируемых обсерваторий от светового загрязнения. В частности, это касается угрожающей экологической обстановки, сложившейся вокруг Крымской астрофизической обсерватории и расположенной рядом с ней Южной Станции ГАИШ: минимальный уровень фона середины 60-х годов остался недостижимым.

Между тем, меры борьбы со световым загрязнением достаточно просты и эффективны. Основные из них следующие:

1. Избегать застройки территорий обсерваторий объектами, нуждающимися в освещении или создающими его.
2. Зашторивать окна жилых домов и административных зданий, обращенных в сторону телескопов.
3. Использовать для осветительных целей действительно необходимое количество света.
4. Экранировать излучатели с помощью штор, экранов, глубоких колпаков.
5. Использовать осветители пониженной мощности всюду, где это возможно.
6. Устанавливать источники света в местах, исключающих попадание прямого света в башни.
7. Использовать возле осветителей наземные покрытия с пониженной отражательной способностью (трава, кустарники, грунт и т.д.).
8. При сооружении новых объектов на территории обсерватории принимать строгие меры к соблюдению светового режима на территории.
9. Использовать монохроматические источники света, в частности натриевые светильники низкого давления, излучение которых легко фильтруется.

Выводы

Измерения яркости ночного неба в КрАО 31 мая и 4 июня 1989 г. в полосах *UBVRI* показали, что: 1) измеренная яркость и показатели цвета ночного неба в зените характеризуются величинами $V = 21^m_{,}8/\square''$, $B - V = 1^m_{,}02$, $U - B = -0^m_{,}42$, $V - R = 1^m_{,}03$, $V - I = 2^m_{,}70$; 2) яркость собственного свечения ночного неба вместе с подсветкой от населенных пунктов в окрестностях обсерватории равна в зените $22^m_{,}5$ в полосе V; 3) вклад подсветки от населенных пунктов минимален в восточном направлении и максимален в западном и северном, где он составляет $\Delta V = 0^m_{,}5$ при зенитном расстоянии 45°, следовательно, восточное направление предпочтительнее для наблюдений предельно слабых объектов; 4) включение местного освещения (уличные светильники и светильники на некоторых объектах) увеличивает скорость ночного неба во всем оптическом диапазоне на 10–20%, особенно в южном и северном направлениях. Уровень подсветки неба источниками искусственного света уже более чем вдвое превышает допустимый, установленный МАС в 1978 г.

Авторы глубоко благодарны всем сотрудникам лаборатории физики звезд и галактик за постоянный интерес к работе и полезные дискуссии, а также К.К. Чуваеву, предоставившему репродукции спектров галактики NGC 3516, Н.М. Шаховскому и А.В. Бердюгину за помощь в наблюдениях и Л.И. Аксиментьевой, В.Т. Жоголевой и Л.И. Филатовой за помощь при изготовлении иллюстраций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Barry R.* // Commun. IAPPP. 1988. N 9. P. 10.
2. *Walker M.F.* // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1973. Vol. 85. P. 508.
3. *Murdin P., Sanches F.* // Proc. Intern. Conf. Flagstaff, Ariz., May 22–23, 1986. 1987. P. 203.
4. *Лютый В.М., Шаров А.С.* // Астрон. журн. 1982. Т. 59, № 1. С. 174.
5. *Никонов В.Б., Никонова Е.К.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1948. Т. 3. С. 109.

6. *Korhonen T., Piirola V.* // Astron. and Astrophys. 1980. Vol. 91. P. 372.
7. *Роч Ф., Гордон Дж.* Свечение ночного неба. М.: Мир, 1977. 150 с.
8. *Ерпылев А.С., Смирнов М.А., Багров А.В.* // Науч. информ. Астросовета АН СССР. 1987. № 64. С. 3.
9. *Дорошенко В.Т.* // Тр. ГАИШ. 1988. Т. 60. С. 328.
10. Trans. IAU. 1976. Vol. 168. P. 317.
11. Trans. IAU. 1979. Vol. 17A. P. 215.
12. *Turnrose B.E.* // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1974. Vol. 86. P. 545.
13. *Боярчук А.А., Бурнашев В.И., Бурнашева Б.А.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1988. Т. 78. С. 69.
14. *Страйжис В.* Многоцветная фотометрия звезд. Вильнюс: Мокслас, 1877. 312 с.
15. *Walker M.F.* // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1970. Vol. 82. P. 672.
16. *Шевченко В.С.* // Астроклимат и эффективность телескопов. Л.: Наука, 1984. С. 64.
17. *Шевченко В.С.* // Астрон. журн. 1973. Т. 50, № 3. С. 632.
18. *Зданавичюс К., Сюджюс И.* // Астрон. цирк. 1978. № 988. С. 4.
19. *Кардополов В.И., Филипьев Г.К.* // Письма в АЖ. 1979. Т. 5, № 2. С. 106.
20. *Кутырев А.С.* // Астрон. цирк. 1985. № 1380. С. 3.
21. *Диденко А.В.* // Там же. 1978. № 988. С. 5.
22. *Овезгельдывев О.Г., Беркелиев М.Б., Коробейникова М.П.* и др. // Астроклимат и эффективность телескопов. Л.: Наука, 1984. С. 152.
23. *Харадзе Е.К., Салуквадзе Г.Н.* // Там же. С. 136.
24. *Бибиков Е.К., Климик В.У., Мацко М.М.* и др. // Там же. С. 69.
25. *Неизвестный С.И.* // Изв. Спец. астрофиз. обс. 1982. Т. 16. С. 49.
26. *Hoag A.A., Schoening W.E., Coucke M.* // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1973. Vol. 85. P. 503.
27. Trans. IAU. 1985. Vol. 19A. P. 707.
28. *Pilachowski C., Africano J., Goodrich B.* et al. // NOAO Newsletter. 1987. N 9. P. 8.
29. *Mendoza E.* // Bol. Tonanzintla y Takubaya. 1971. Vol. 36. P. 95.
30. *Kalinowski J., Roosen R.G., Brandt J.C.* // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1975. Vol. 87. P. 869.
31. *Burkhead M.S., Burgess R.A.* // Astron. J. 1973. Vol. 78. P. 606.
32. *Carter D.* // Mon. Notic. Rov. Astron. Soc. 1979. Vol. 186. P. 897.
33. *Schneeberger T.J., Worden S.P., Beckers J.M.* // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1979. Vol. 91. P. 530.
34. *Murdin P.* // Vistas Astron. 1985. Vol. 28. P. 449.
35. *Morrison D., Jefferies J.* // Sky and Telescope. 1972. Vol. 44. P. 361.
36. *Kriscinnas K., Sinton W., Tholen D.* et al. // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1987. Vol. 99. P. 887.
37. *Gerstang R.H.* // Ibid. 1989. Vol. 101. P. 306.
38. *Smith R.H.* // Occas. Rep. Roy. Obs. Edinburgh. 1982. N 8. P. 1.
39. *Walker M.F.* // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1988. Vol. 100. P. 496.
40. *Чуваев К.К.* // Докл. АН СССР. 1952. Т. 87. С. 551.
41. *Massey P., Gronwall C., Pilachowski C.A.* // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1990. Vol. 102. P. 1046.
42. *Krisciunas K.* // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1990. Vol. 102. P. 1052.
43. Facilities Manual of the Cerro Tololo / Ed. L.A. Colbeck. Inter-American Observatory, 1990.

УДК 524.1 + 520.88

О МЕТОДАХ ПОИСКА ПЕРИОДА В ДАННЫХ ГАММА-АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Ю.Л. Зыскин

Проведено сравнение эффективности различных методов поиска периодичности, наиболее часто применяемых в гамма-астрономии сверхвысоких энергий. Посредством численного моделирования сопоставлена эффективность критериев Прозеро, Куипера, Букчери, Рэлея и различных модификаций метода наложения эпох. Показано, что для данных, полученных в области энергий $\sim 10^{12}$ эВ, наиболее эффективным являются критерии Букчери, (Z^2_m-тест) и метод наложения эпох с критерием max χ^2. Для наблюдений в области энергий $\sim 10^{15}$ эВ наиболее эффективен критерий Прозеро (T_n-тест). Показано, что применение исследованных параметрических критериев приводит к систематической погрешности определения значения периода.

THE "SEARCH FOR PERIODICITY" METHOD APPLIED FOR GAMMA-RAY OBSERVATIONAL DATA, *by Yu.L. Zyskin.* The efficiency of various methods to search for periodicity most frequently applied in VHE gamma-astronomy has been compared. The efficiency of criteria suggested by Protheroe, Kuiper, Bucceri and Rayleigh as well as of various modifications of epoch-folding analisis has been evaluated by digital modelling. It has been shown that for the data obtained in the energy region of about 10^{12} eV, the

most effective are Bucceri criterium (z^2-test) and the epoch-folding method with χ^2 maz. For the observations in the energy region 10^{15} eV the most efficient is Protheroe criterium (T_n-test). It has been indicated that the application of investigated patametrical criteria lead to a systematic error in the period value.

Введение

Практически все известные источники гамма-квантов сверхвысоких энергий являются переменными. В излучении многих из них выявлена периодичность, причем значения периодов лежат в очень широком временном диапазоне: от миллисекунд до месяцев. Анализ данных наблюдений на наличие периодичности позволяет существенно увеличить достоверность обнаружения потока гамма-квантов, осуществить "привязку" к объектам, известным из наблюдений в других энергетических диапазонах, оценить астрофизические характеристики этих объектов. Поэтому задача поиска периодичности в гамма-астрономии сверхвысоких энергий является чрезвычайно важной. В настоящее время существуют десятки методов поиска периодичности, многие из которых нашли применение в гамма-астрономии. Однако выбор метода для обработки конкретных данных является в большой степени случайным. Нами проведено сопоставление различных алгоритмов с целью сравнительной оценки эффективности их применения. Подобные сопоставления проводились и ранее (например, [1, 2]), но, как правило, ограничивались сравнением двух методов и упрощенной моделью данных.

1. Методы поиска периода

Специфическими особенностями гамма-астрономических данных являются:

а) малая глубина модуляции (малое отношение сигнал/шум). Амплитуда периодической компоненты лежит, как правило, в диапазоне $A \sim 10^{-2} \div 10^{-1}$;

б) пуассоново распределение шумовых импульсов;

в) форма световой кривой, как правило, далека от синусоидальной и имеет вид одного или нескольких узких пиков.

Эти особенности определили распространенность в гамма-астрономии таких методов, как различные модификации метода наложения эпох, критериев Рэлея, Букчери, Прозеро, Куипера и Ватсона.

Метод наложения эпох [3] применяется в следующих модификациях. После вычисления фазы каждого события $\varphi_i = \{(t_i - t_0)/T\}$ относительно пробного периода T (здесь t_i – время регистрации гамма-кванта, { } – обозначение дробной части) фазовая кривая разбивается на m равных интервалов (бинов), после чего вычисляется либо величина $\sum_{j=1}^{m} \frac{(A_j - \bar{A})^2}{\bar{A}}$, где $\bar{A} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} A_j$, A_j – амплитуда в бине с номером j (метод max χ^2), либо величина $\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n_j} \frac{(A_j - A_i)^2}{n_j}$, где n_j – число событий в j-м бине, A_i – амплитуда i-го события (метод min χ^2 [4]), либо находится амплитуда в бине с максимальным отклонением $\max\limits_{j=1,\ldots,m} (A_j/\sigma_j)$ (метод max (A/σ) [5]).

Критерий Куипера является аналогом критерия Колмогорова–Смирнова для случая круговых статистик и вычисляется следующим образом [6]:

$$V_n = \max_{0 \leqslant i \leqslant n} (\varphi_i - i/n) - \min_{0 \leqslant i \leqslant n} (\varphi_i - i/n) + 1/n,$$

где n – число событий, $\varphi_0 = 0$, φ_i – фазы, упорядоченные по возрастанию.

Сходный с ним критерий Ватсона [7] выражается в виде

$$U^2 = \sum_{i=1}^{n} \left(\varphi_i - \bar{\varphi} - \frac{2i-1}{2n} + 1/2\right)^2 + \frac{1}{12n}.$$

Критерий Рэлея вычисляется по формуле [8]

$$R = \frac{1}{n} \sqrt{(\sum_{i=1}^{n} \cos(2\pi\varphi_i))^2 + (\sum_{i=1}^{n} \sin(2\pi\varphi_i))^2}.$$

Функция плотности вероятности для этого критерия при больших значениях R близка к $P\ (\chi^2_{\nu=2}\ (2nR^2))$.

Критерий Букчери вычисляется по формуле [9]

$$Z^2_m = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n} [(\sum_{i=1}^{n} \cos(2\pi k\ \varphi_i))^2 + (\sum_{i=1}^{n} \sin(2\pi k\varphi_i))^2].$$

Функция плотности вероятности для этого критерия [10] при больших Z^2_m близка к $P\ (\chi^2_{\nu=2m}\ (Z^2_m))$.

Критерий Прозеро имеет вид [2]

$$T_n = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^{n} (\Delta_{ik} + 1/n)^{-1},$$

где $\Delta_{ik} = 0{,}5 - ||\varphi_i - \varphi_k| - 0{,}5|$, где φ_i – фазы, упорядоченные по возрастанию.

Эффективность применения перечисленных выше критериев оценивалась на основе массива данных, полученных методом Монте-Карло. Применение таких данных предпочтительнее, чем использование данных реальных наблюдений, так как такое моделирование позволяет точно знать все заложенные в модель параметры (прежде всего, значения периода T, глубины модуляции A и форму световой кривой).

2. Модель данных

При моделировании данных наблюдений были приняты следующие допущения:

1. Фоновые события имеют случайное, равновероятное по времени распределение. Адекватность такой модели реальному распределению времени регистрации черенковских вспышек неоднократно проверялась экспериментально.
2. Число событий периодической компоненты много меньше числа фоновых событий.
3. Величина периода много меньше длительности интервала наблюдения.
4. Периодические события распределены по интервалу наблюдения случайным образом с постоянной плотностью вероятности, определяемой заданной формой световой кривой.

Обозначим число фоновых событий $N_ф$, число событий периодической компоненты $N_и$, длительность экспозиции τ. Тогда для фоновых событий, имеющих пуассоново распределение, согласно [11], справедливо соотношение:

$$t^0_{i+1} = t^0_i - n_ф \cdot \ln(\xi_0),$$

(где $t^0_0 = 0$; $i = 1, \ldots, N_ф$; $n_ф = N_ф/\tau_i, \xi_0$ – случайная величина, имеющая прямоугольное распределение на интервале (0,1). Если амплитуда источника, или, другими словами, глубина модуляции, равна A $(A \ll 1)$, то $N_и = AN_ф$; $n_и = An_ф$. Тогда моменты времени прихода гамма-квантов от переменного источника с периодом, равным T, можно промоделировать следующим образом:

$$t'_{i+1} = t'_i - n_и \ln(\xi_0),$$

$$t''_i = T\,[t_i/T],$$

$$t'''_i = t''_i + \Delta\varphi_i T,$$

где $t'_0 = 0$; [ ] – обозначение целой части, $\Delta\varphi_i$ – случайная величина, принадлежащая полусегменту [0,1) и имеющая на нем распределение, соответствующее форме световой кривой. На рис. 1 показана плотность вероятности $P\ (\Delta\varphi)$ случайной величины $\Delta\varphi$,

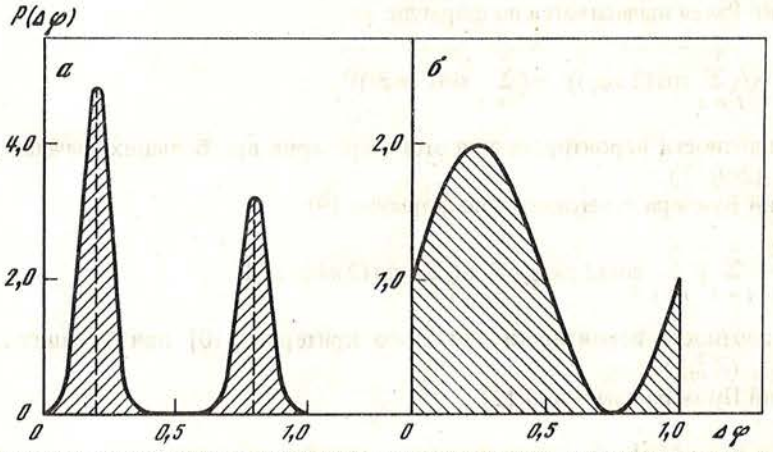


Рис. 1. Формы световых кривых, примененные в моделировании, представленные в виде функций плотности вероятности P $(\Delta\varphi)$ фазы $\Delta\varphi$
а – световая кривая в виде двух пиков, *б* – синусоидальная световая кривая

рассматривавшаяся в данном моделировании. Плотность вероятности на рис. 1,*а* моделировалась следующим образом: $\Delta\varphi_i = \frac{\Delta}{2}\xi_g + \delta(\xi_0)$, где Δ – ширина пика на периодограмме, ξ_g – случайная величина, имеющая гауссово распределение с нулевым средним и дисперсией, равной 1,

$$\delta(\xi_0) = \begin{cases} 0{,}2, \text{ если } 0 \leqslant \xi_0 < 0{,}6, \\ 0{,}8, \text{ если } 0{,}6 \leqslant \xi_0 < 1. \end{cases}$$

Синусоидальная плотность вероятности (рис. 1,*б*) моделировалась методом Неймана [11].

Наложив и упорядочив массивы $\{t_i^0\}$, $i = 1, \ldots, N_ф$ и $\{t_i'''\}$, $i = 1, \ldots, N_и$, получаем искомую модель сильно зашумленного сигнала с требуемой формой световой кривой $\{t_i\}$, $i = 1, \ldots, N$, где $N = N_и + N_ф = (1 + A)\,N_ф$, отвечающую условиям 1–4.

Для генерации значений случайных переменных и применялись алгоритмы URAND и RANDG [12]. Описанное выше моделирование проводилось для следующих значений параметров: экспозиция τ = 500 с; период сигнала T = 0,12345678 с; ширина пика Δ = 0,005; 0,01; 0,02; амплитуда сигнала A = 0,03; 0,05; 0,10; 0,20; объем выборки N = 50; 100; 200; 500; 1000; 2000 событий.

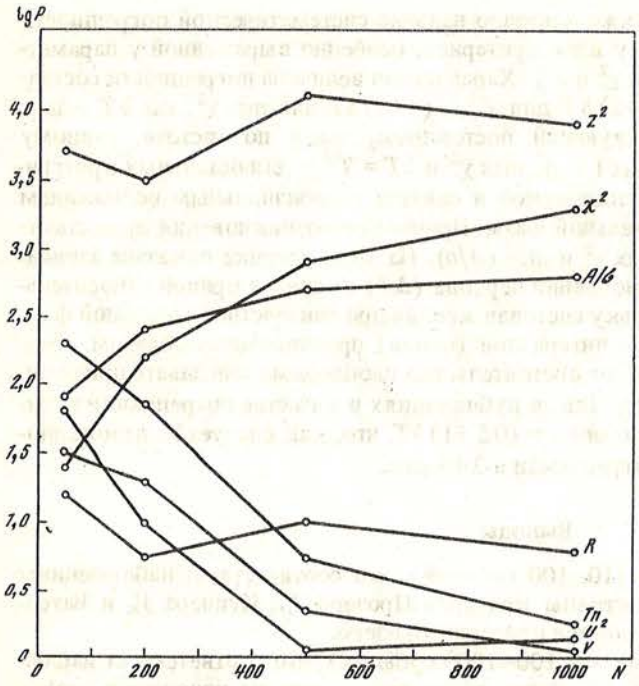
3. Сравнение эффективности различных критериев

В качестве оценки эффективности применялась относительная мощность критерия. Для каждого метода при найденном значении периода оценивалась вероятность случайного отклонения P (при этом достоверность найденного значения равна $1-P$). Зависимость величины $-\lg P$ от объема массива данных показана на рис. 2 для случая световой кривой в виде узких пиков (см. рис. 1,*а*). Из рис. 2 следует, что рассматриваемые критерии разделяются на 3 группы:

1. Эффективность критериев Прозеро T_n, Ватсона U^2 и Куипера V_n резко падает с увеличением объема выборки N.

2. Эффективность метода наложения эпох ($\max \chi^2$ и $\max(A/\sigma)$ возрастает с увеличением объема выборки, как $\sim \sqrt{N}$.

3. Эффективность критериев Букчери Z_m^2 и Рэлея R практически не зависит от объема выборки.



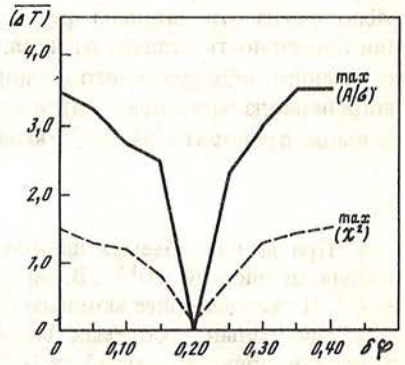


Рис. 2. Зависимость относительной мощности различных критериев от объема выборки
P – вероятность случайного отклонения для данного критерия, N – объем выборки

Рис. 3. Зависимость систематической погрешности восстановления периода $\overline{\Delta T}$ от сдвига фазовой кривой $\delta\varphi$ для метода наложения эпох
$\overline{\Delta T}$ – в единицах шага периода

Следовательно, при малых объемах массивов данных ($N \sim 10 \div 100$) предпочтительным является применение критериев T_n, U^2, V_n и Z^2_m, при больших ($N \geqslant 100 \div 1000$) более эффективны методы наложения эпох и Z^2_m. Наиболее мощными оказались критерии Z^2_m при любых объемах выборки, T_n при малых объемах выборки и max χ^2 при больших объемах выборки.

Сопоставление мощности критериев при равных объемах массивов данных и одинаковой глубине модуляции, но при различных формах световой кривой показало следующее. Чувствительность критериев $\max\chi^2$, $\max(A/\sigma)$, Z^2_m, T_n и R сильно зависит от формы световой кривой, в то время как чувствительность критериев $\min\chi^2$, U^2 и V_n практически не зависит от нее. Так, критерий Рэлея и критерий Z^2_m низких порядков ($m \sim 2 \div 10$) эффективны только для световой кривой, близкой к синусоидальной. Эффективность критериев $\max\chi^2$, $\max(A/\sigma)$, Z^2_m высоких порядков ($m \geqslant 20$) и T_n резко возрастает при уменьшении ширины пика. Характерно, что критерии, эффективность которых не зависит от формы световой кривой, являются наименее мощными (например, при ширине пика $\Delta = 0{,}05$ мощность критерия $\min\chi^2$ на порядок ниже, чем критерия $\max\chi^2$).

Следовательно, если поиск периода производится при отсутствии априорной информации о форме световой кривой, предпочтительно использование пар критериев, т.е. одновременное вычисление для каждого пробного периода значений критериев с противоположным характером зависимости от формы фазограммы. Удачными сочетаниями являются пары "$\max\chi^2 + R$", и "$Z^2_2 + Z^2_m$", $m \approx 20 \div 40$. Так, применение пары "$\max\chi^2 + R$" при любой форме световой кривой в более чем в 3 раза эффективнее, чем применение критерия $\min\chi^2$ при близких затратах машинного времени.

Описываемое моделирование также показало наличие систематической погрешности определения периода практически у всех критериев, особенно выраженной у параметрических критериев max (A/σ), max χ^2 и Z^2_m. Характерная величина погрешности составляет $(4 \div 5)\,\delta T$ для max (A/σ), $(1 \div 2)\,\delta T$ для Z^2_m, $(2 \div 3)\,\delta T$ для max χ^2, где δT – шаг независимости периода, соответствующий постоянному шагу по частоте, равному $1/\tau$ ($\delta T = T^2/(m\tau)$ для методов max (A/σ), max χ^2 и $\delta T = T^2/\tau$ для остальных критериев). Эта погрешность является методической и связана с произвольным положением световой кривой относительно начальной фазы. Причина ее возникновения проиллюстрирована на рис. 3 для методов max χ^2 и max (A/σ). На этом рисунке показана зависимость средней погрешности восстановления периода (ΔT) от сдвига кривой относительно фазового интервала $\delta\varphi$. Поскольку световая кривая при неизвестной начальной фазе расположена относительно фазовых интервалов (бинов) произвольным образом, средняя погрешность отлична от нуля. Это обстоятельство необходимо учитывать при оценке точности обнаруженного периода. Так, в публикациях в качестве погрешности величины периода часто приводятся величины $\sim (0{,}5 \div 1)\,\delta T$, что, как следует из изложенного выше, приводит к занижению погрешности в $2 \div 3$ раза.

Выводы

1. При малых объемах данных (10–100 событий), что соответствует наблюдениям в области энергий 10^{15} эВ, эффективны критерии Прозеро T_n, Куипера V_n и Ватсона U^2. Из них наиболее мощным является критерий Прозеро.

2. При больших объемах данных ($\geqslant$ 100–1000 событий), что соответствует наблюдениям в области энергий $\sim 10^{12}$ эВ, более эффективны методы наложения эпох с χ^2-критерием, наибольшего отклонения в бине max (A/σ), Букчери Z^2_m и Рэлея R. Из них наиболее мощными являются критерии Z^2_m и χ^2.

3. При форме световой кривой, близкой к синусоидальной, более чувствительны критерии Рэлея R, Букчери Z^2_m с малыми значениями m ($m \sim 2 \div 10$), min χ^2. При световой кривой в виде одного или нескольких узких пиков эффективны методы наложения эпох max χ^2, max (A/σ), Букчери Z^2_m с большими значениями параметра m.

4. Чувствительность параметрических критериев сильно зависит от формы световой кривой. Оптимальное значение параметра m для критерия Букчери Z^2_m, числа бинов для метода наложения эпох max χ^2, max (A/σ) составляет $m \approx 1/\Delta$, где Δ – ширина пика на кривой.

5. Параметрические критерии имеют, как правило, систематическую погрешность определения периода. Средняя погрешность равна $\sim (1 \div 3)\,\delta T$ для методов max χ^2, Z^2_m, $(3 \div 4)\,\delta T$ для метода max (A/σ), где δT – шаг периода. В публикациях в качестве оценки погрешности часто приводится величина $0{,}5\,\delta T$, что приводит к завышению точности найденного периода.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Leahy D.A., Elsner R.C., Weisskopf M.C.* // Astrophys. J. 1983. Vol. 272, N 1. P. 256–258.
2. *Protheroe R.J.* // Proc. 19th Intern. Cosmic. Ray. Conf. La Jolla, 1985. Vol. 3. P. 485–488.
3. *Jurkevich J.* // Astrophys. Space Sci. 1971. Vol. 13. P. 154–156.
4. *Баско М.М.* Переменные звезды. М.: АстросоветАН СССР, 1976. Т. 2. Прил. С. 337–342.
5. *Нешпор Ю.И., Зыскин Ю.Л.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1981. Т. 63. С. 157–160.
6. *Kuiper N.H., Ned A.K.* // Wet. Proc. 1960. Vol. A63. P. 38.
7. *Watson G.S.* // Biometrica. 1961. Vol. 48. P. 109.
8. *Мардиа К.* Статистический анализ угловых наблюдений. М.: Наука, 1978. 240 с.
9. *Bucceri R.* Astron. and Astrophys. 1983. Vol. 128. P. 245.
10. *Bucceri R.* // Space Sci. Rev. 1988. Vol. 49. P. 55–58.
11. *Бусленко Н.П., Шрейдер Ю.А.* Метод статистических испытаний (Монте-Карло) и его реализация на цифровых вычислительных машинах. М.: Физматгиз, 1961. С. 226.
12. *Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К.* Машинные методы математических вычислений. М.: Мир, 1980. 280 с.

УДК 524.1

МЕТОД ЛОЖНЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ СКАНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ГАММА-ТЕЛЕСКОПА ГТ-48

В.П. Фомин

Предложена методика обработки наблюдательного материала, получаемого при сканировании объектов за счет суточного вращения Земли на установках типа ГТ-48. Методика позволяет устранять влияние геометрических факторов, появляющихся в результате применения некоторых из критериев отбора для выделения событий, ответственных за гамма-ливни; сглаживает влияние неоднородности чувствительности по полю зрения телескопа, который состоит из многоканального светоприемника.

Предварительная обработка одного из массивов данных, полученного при сканировании рентгеновского источника Суд X-3 с использованием предложенной методики, дала обнадеживающий результат.

"FALSE SOURCES" METHOD FOR THE ANALYSIS OF SCANNING DATA WITH GAMMA-RAY TELESCOPE GT-48, *by V.P. Fomin.* A new method to analize the data obtained by scanning technique on Gamma-ray telescope is discussed.

The geometrical factor being adopted as a result of gamma-ray selection according to some criteria is practically excluded. Moreover, the non uniform sensitivity of multichannel light detector is decreased.

Preliminary results on Cyg X-3 data treatment are presented.

Введение

В последнее время в значительной степени возрос интерес к наземным гамма-астрономическим наблюдениям в энергетической области 10^{12} эВ. В первую очередь этот интерес вызван теми результатами наблюдений, которые получены к настоящему времени, а именно – обнаружение потока гамма-квантов от пульсара в Крабовидной туманности [1], рентгеновского источника Cyg X-3 [2], галактической плоскости [3] и др.

В то же время все последующие наблюдения таких объектов традиционными методами исчерпали себя, потому что время обнаружения потока гамма-квантов, составляющего доли процента от фона космических лучей, очень велико и измеряется годами.

В связи с этим во многих лабораториях мира ведутся интенсивные работы по созданию телескопов (регистраторов черенковских вспышек широких атмосферных ливней) второго поколения. Два таких телескопа, десятиметровый рефлектор Смитсонианской астрофизической обсерватории (США) [1] и многозеркальный телескоп ГТ-48 Крымской астрофизической обсерватории [4] уже действуют. Отличительной особенностью подобных телескопов является то, что в фокальной плоскости телескопа строится изображение черенковских вспышек, которое затем анализируется с целью отбора событий, генерированных гамма-ливнями.

К настоящему времени предложено несколько эффективных критериев отбора. Так, например, в [5] были предложены методы отбора ливней по распределению яркости от центра к краю изображения и по соотношению яркости вспышки в двух спектральных областях длин волн – ультрафиолетовой и видимой. В [1] предлагаются критерии с использованием таких параметров вспышки, как направление вытянутости изображения, азимутальная ширина черенковской вспышки (Azwidth), расстояние между осью вытянутости и центром поля зрения, где находится исследуемый объект (Miss) и др. На рис. 1. показано типичное поле зрения гамма-телескопа для 37-канального варианта. Такие системы реализованы как у нас в КрАО, так и в Смитсонианской обсерватории. Здесь же дано схематическое изображение распределения яркости во вспышке в виде эллипсоида и приведены для нее параметры Azwidth (A) и Miss (M).

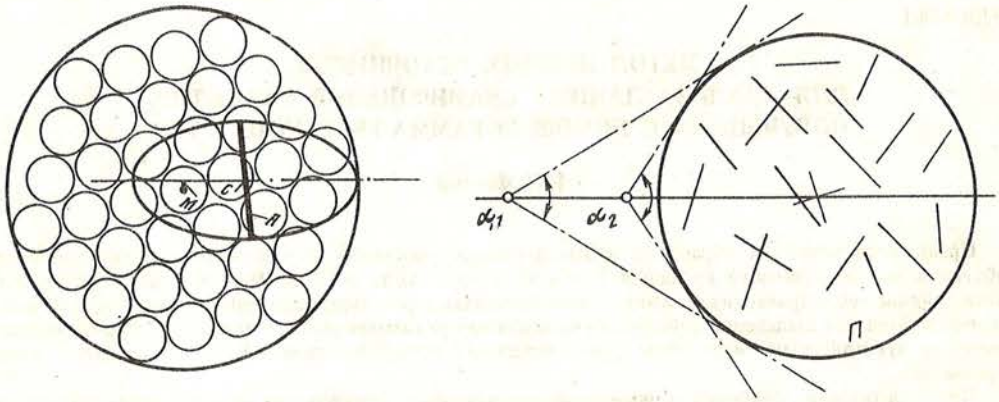


Рис. 1. Типичное поле зрения гамма-телескопа с 37-канальным светоприемником
Эллипсоид – схематическое изображение черенковской вспышки. *C* – положение центроида черенковской вспышки, *A* – азимутальная ширина вспышки (Azwidth), *M* – параметр "Miss" для изображенной вспышки. Штрихпунктирная линия – большая ось

Рис. 2. Схематическая картина прохождения объекта через поле зрения телескопа
α_1, α_2 – углы, под которыми видно поле зрения телескопа (П) с первой и второй точек положения объекта. Черточки в поле зрения отображают направление больших осей вспышек, распределенных случайным образом

Одной из основных сложностей для таких систем регистрации является достижение однородной чувствительности по всему полю зрения. При этом под однородной чувствительностью в многоканальных светоприемниках имеется в виду достижение одинаковой квантовой чувствительности фотокатодов, одинаковых коэффициентов усиления и порогов срабатывания дискриминаторов во всех каналах регистрации. Так как практически достичь выполнения приведенных требований очень трудно, то возникают заметные систематические ошибки в определении направления ее вытянутости. Здесь необходимо отметить, что все перечисленные выше критерии отбора рассматриваются в предположении, что источник гамма-квантов находится на оптической оси телескопа, т.е. в центре поля зрения. При этом наблюдения ведутся таким образом, что половину времени исследуемый объект находится в поле зрения телескопа, а вторую половину – вне его, с таким же зенитным углом. После отбора ливней сравнивают интенсивности счета в обоих направлениях. Отсюда ясно, что любые критерии, в которые входят элементы направленности вспышки, очень сильно понижают эффективность отбора с увеличением упомянутых выше систематических ошибок.

Еще одним недостатком такого способа наблюдений является то, что необходимо более или менее точно знать координаты исследуемого объекта на небесной сфере.

Кроме этого способа наблюдения существуют и другие. Пожалуй, самым распространенным является метод сканирования, когда объект проходит через поле зрения телескопа за счет суточного вращения Земли. Здесь привлекательно то, что за счет движения объекта в поле зрения систематические ошибки в определении направленности вспышек в некоторой степени нивелируются. Кроме того, телескоп остается при одном и том же зенитном угле во времени сканирования и требования на точность наведения телескопа менее жесткие по сравнению с режимом слежения за объектом,

С другой стороны, в методе сканирования также есть свой недостаток. При использовании таких параметров отбора, как "Miss" и т.п., которые зависят от расстояния между объектом и центром вспышки, появляется геометрический фактор, отражающий расстояние от объекта до центра поля зрения. Действительно, при удалении объекта от центра поля зрения, при изотропном распределении осей вытянутости вспышек, их число с направлением на объект будет в первом приближении падать пропорционально углу

α, под которым видно поле зрения телескопа из точки, где расположен объект. Этот эффект показан на рис. 2.

Если же мы используем параметры, в которые направление вытянутости входит более сложным образом, то и влияние геометрического фактора более сложно отразится на зависимости отобранных ливней от расстояния объекта до центра поля зрения (R), а картина для γ-событий вообще неясна. В качестве иллюстрации этого эффекта далее на рис. 4 представлена зависимость интенсивности счета ливней, отобранных по приведенному выше параметру "Miss", в зависимости от расстояния R. К отобранным ливням относились все события, которые удовлетворили условию "Miss" $\leqslant 0{,}35^\circ$. Здесь хорошо видно, что интенсивность в несколько раз падает при удалении объекта от центра поля зрения. Разумеется, это является результатом влияния геометрического фактора, а не гамма-источника.

Метод ложных источников

В связи с изложенным выше нами предлагается метод обработки результатов сканирования объекта без проведения дополнительных сканирований для выяснения влияния геометрического фактора. С этой целью мы вводим так называемые ложные объекты. На рис. 3 показано расположение реального и 4 ложных объектов для некоторого произвольного момента времени. Все объекты с разных сторон относительно центра поля зрения движутся по траекториям, проходящим через центр. Причем, если для реального объекта движение есть результат суточного вращения Земли, то для ложных – движение лишь синхронизовано по скорости с реальным объектом. Их траектории развернуты относительно пути движения реального объекта на равные интервалы углов (см. рис.3). Точкой поворота является центр поля зрения телескопа. Расстояние от центра до ложных объектов (R) смещено относительно расстояния до реального объекта на некоторую

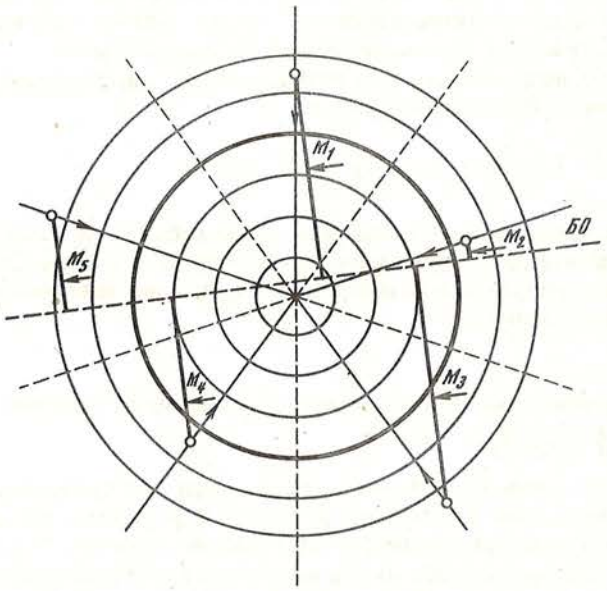


Рис. 3. Схема расположения объекта сканирования и ложных объектов в некоторый произвольный момент времени

БО – ось эллипсоида, точки – объекты сканирования; $M_1, \ldots, M_5$ – параметр "Miss" для 1, ...,5-го объектов соответственно

величину ΔR. Причем, смещение для двух из ложных объектов положительно, а для двух других – отрицательно и остается постоянным во время сканирования. Это сделано с той целью, чтобы ни в один из моментов времени координаты ложных объектов не совпадали с координатами реального объекта. Число ложных объектов определялось соображениями симметрии и независимости в определении угловых параметров вспышки для каждого из объектов. На рис. 3 стрелками обозначены направления движения объектов вдоль их собственных траекторий для некоторого момента времени. При этом движение к центру поля зрения принималось как движение вдоль отрицательных значений по R. Здесь же показаны в качестве иллюстраций значения параметра "Miss" для каждого из объектов от произвольной вспышки с заданным направлением ее вытянутости. M_1, ..., M_5 – параметр "Miss" для 1, ..., 5-го объекта, соответственно. (Для реального объекта индекс равен 1).

Далее, траектория движения каждого объекта разбивается на равные интервалы по R. За начало отсчета интервалов принимается центр поля зрения ($R = 0$). В каждом скане находится число зарегистрированных событий n_{ij} для j-го интервала и i-го объекта, и время пребывания объекта в этом интервале t_{ij} (экспозиция). Эта операция повторяется для всех сканов, после чего находятся суммарные значения зарегистрированных событий N_{ij} и соответствующие им значения экспозиций T_{ij}. Отношение $I_{ij} = N_{ij}/T_{ij}$ дает значение интенсивности для i-го объекта в j-м интервале по R. В обработку входят лишь события, отобранные по тому или иному угловому параметру.

На рисунках 4-1 – 4-5 показаны интенсивности счета событий, отобранных по параметру "Miss" для реального и ложных объектов. В качестве массива данных был выбран материал, полученный на установке ГТ-48 при сканировании объекта Cyg X-3 в 1989 г. Как и следовало ожидать, все зависимости подобны и отличаются лишь границами по R. С другой стороны, зависимости для ложных объектов отражают лишь изменение интенсивности за счет геометрического фактора, а для реального объекта – сумму за счет геометрического фактора и вклад гамма-событий от объекта сканирования Cyg X-3. Поэтому, если сейчас из реального хода интенсивности вычтем усредненный по направлениям ход для ложных объектов, то мы должны получить избыточный ход интенсивности счета ливней при сканировании реального объекта.

Усредненный по направлениям ход интенсивности, обусловленной геометрическим фактором, находится следующим образом:

$$N_{fj} = \sum_{i=2}^{5} N_{ij}\,; \qquad T_{fj} = \sum_{i=2}^{5} T_{ij}\,; \qquad I_{fj} = N_{fj}\,/\,T_{fj}.$$

Здесь i – номер объекта, N_{fj} – суммарное число событий по всем ложным объектам для j-го интервала по R, T_{fj} – суммарная экспозиция соответствующая j-му интервалу, I_{fj} – усредненная по направлениям интенсивность счета ливней в интервале j.

Избыточная интенсивность

$$I_j = I_{1j} - I_{fj},$$

статистическая ошибка принимается равной следующему выражению:

$$\Delta I_j = \sqrt{N_{1j}/T_{1j}^2 + N_{fj}/T_{fj}^2}.$$

На рис. 4–5 показан избыточный ход интенсивности для приведенного выше массива данных, отобранных лишь по параметру "Miss" В результате проведенных операций хорошо видно, что геометрический фактор практически исчез, в пределах статистических ошибок нет зависимости избыточной интенсивности от расстояния по R.

Здесь необходимо отметить, что во время сканирования того или иного объекта в разных сканах реальный объект меняет свою траекторию по полю зрения детектора, так как монтировка телескопа ГТ-48 азимутальная. Это приводит к тому, что влияние неоднородности чувствительности по полю зрения для реального объекта уменьшается

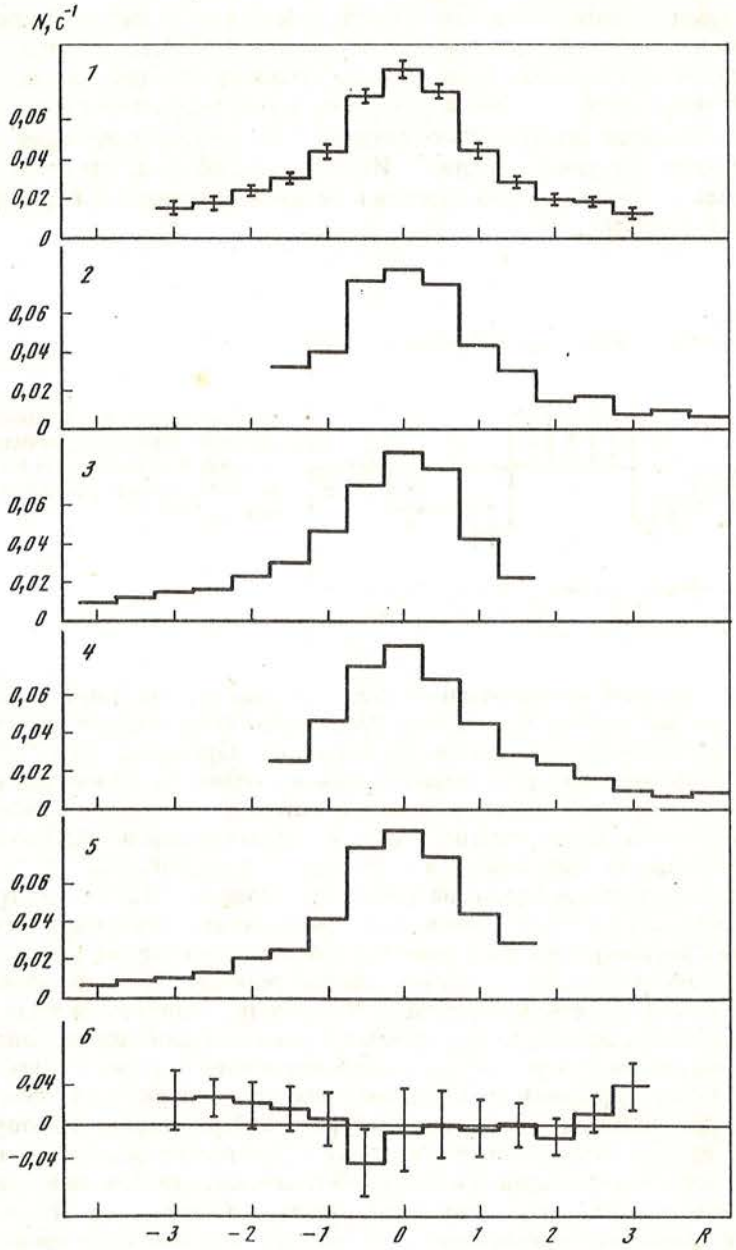


Рис. 4. Интенсивность счета событий после отбора по параметру "Miss" в зависимости от расстояния между центром поля зрения и объектом сканирования R
1 – для реального объекта, *2–5* – для ложных объектов, *6* – избыточная интенсивность

по сравнению с тем, если бы объект проходил по одной и той же траектории в поле зрения телескопа или, что еще хуже, стоял на месте.

Можно рассмотреть вопрос, как будет выглядеть ход избыточной интенсивности при включении других критериев отбора, в которых геометрический фактор отсутствует или слабо выражен. К таким критериям можно отнести, например, критерий "Azwidth" или отношение ультрафиолета к видимой области излучения. Очевидно, если будет иметь

место отбор гамма-события, то в зависимости интенсивности счета событий от R для реального объекта появится дополнительный избыток в области с центром $R = 0$. Для ложных объектов этот избыток интенсивности появится для одной пары при $R = \Delta R$, а для другой пары при $R = -\Delta R$. В результате в усредненном по направлениям ходе интенсивности появятся два избытка с центрами $\pm\Delta R$; а в результирующей разности мы должны наблюдать следующую картину: Избыток для области, где имеет место прохождение объекта через центр поля зрения и по бокам два провала интенсивности на расстоянии $\pm\Delta R$ от центра.

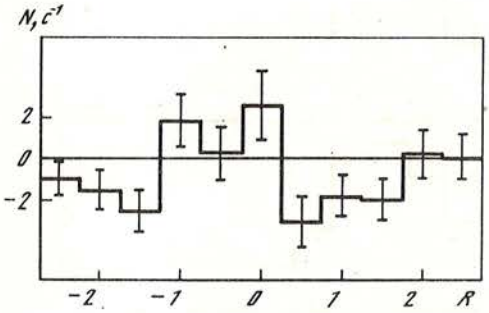


Рис. 5. Результат предварительной обработки методом ложных источников для части массива данных сканирования Cyg X-3

И наконец, в качестве иллюстрации на рис. 5 показан результат предварительной обработки массива данных Cyg X-3, где был произведен отбор событий сразу по нескольким параметрам. Были включены в анализ следующие параметры: "Miss", " Azwidth", "концентрация" (отношение двух самых больших амплитуд в 37 каналах ко всем остальным), "заполненность" (число каналов, в которых зарегистрировалось событие) и др. На рисунке хорошо видно, что в области с координатами центра $-0{,}5^\circ$ наблюдается избыточная интенсивность счета ливней, а в областях с координатами -2° и $+1^\circ$ видны провалы, причем они наблюдаются на равных расстояниях $\pm 1{,}5^\circ$ от центра избытка.

В этих расчетах $\Delta R = 1{,}5^\circ$, что совпадает с приведенными значениями положения дефицита. Оценка достоверности по форме кривой дает величину на уровне 4σ, но в то же время еще раз подчеркнем, что приведенный результат предварительный и представлен здесь лишь в качестве иллюстрации. В обработку вошла лишь часть материала.

В заключение можно сказать, что предложенный нами метод обработки наблюдательного материала, полученного в результате сканирования того или иного объекта на небесной сфере, работает эффективно – устраняет влияние геометрического фактора, появляющегося в результате использования критериев отбора ливней, в которые входят такие параметры, как направление вытянутости и расстояние объекта до центра поля зрения. Более того, формой кривой избыточной интенсивности, при наличиии реального источника гамма-квантов, он должен подчеркивать его положение. И что еще более важно, в предложенном методе частично сглаживается влияние неоднородности чувствительности по полю зрения телескопа.

Автор весьма признателен А.А. Степаняну за полезные обсуждения и постоянную поддержку в проведении этой работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Weekes T.C., Cowley M.F., Fegan D.J.* et al. // Ap. J. 1989. Vol. 342. P. 379.
2. *Vladimirsky B.M., Stepanian A.A., Fomin V.P.* // Pfoc. 13th Intern. Conf. Cosmic. Rays. 1973. P. 456–461.
3. *Фомин В.П.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1977. Т. 56. С. 35–38.
4. *Владимирский Б.М., Зыскин Ю.Л., Нешпор Ю.И.* и др. // Космические лучи. 1988. Вып. 25. С. 76–86.
5. *Степанян А.А., Фомин В.П., Владимирский Б.М.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1983. Т. 66. С. 234–241.

УДК 520,27 + 520,874

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ АНТЕННЫ ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА

А.Ф. Бачурин, М.А. Миронов, П.Н. Стежка

Описаны наблюдения радиоизлучения на краю солнечного диска, проведенные на 22-метровом радиотелескопе КрАО на волне 2,25 см, с использованием фотоэлементов для контроля и введения поправок в амплитуду колебаний антенной температуры на выходе радиометра. Показано, что амплитуда кратковременных (длительностью до 20 с) паразитных колебаний, вызванных неточным слежением за выбранной на краю диска Солнца точкой, с учетом сигнала от фотоэлементов может быть уменьшена введением поправок в запись радиоизлучения в среднем в 2–3 раза. Это позволяет надежно обнаружить на РТ-22 кратковременные всплески радиоизлучения от локальных радиоисточников на краю солнечного диска, приращение антенной температуры которых составляет 120–150 К и выше.

ON USE OF PHOTOCELLS FOR ANTENNA POSITION CONTROL DURING SOLAR RADIO EMISSION OBSERVATIONS, *by A.F. Bachurin, M.A. Mironov and P.N. Stezhka.* Observations of radio emission from the edge of solar disk carried out using 22-metre radio delescope of the Crimean Astrophysical Observatory at 2.25 cm wavelength by using the photocells for control and correction of antenna temperature pulsations at the radiometer output are described. It is shown that the amplitudes of short-term oscillations are superposed on the effective signal. They were measured in 20-sec interwals during one hour. The oscillation amplitudes depend upon the inexact tracking on the solar disk edge. The superposed signals from radiometer can be corrected with photocells' signal by 2–3 times. The RT-22 allows us a reliable detection of short–term radio bursts from local solar radio sources at the solar disk edge with the antenna temperature increase to 120–150 K and more.

В связи с возможным обнаружением 160-минутных колебаний радиорадиуса Солнца на волне 2,25 см [1] представляют интерес наблюдения радиопульсаций на краю солнечного диска. Эти наблюдения важны также при исследовании радиовсплесков вблизи лимба, где видимая геометрическая плотность радиоисточников, связанных с солнечными пятнами, а значит, и вероятность появления радиовсплесков значительно больше, чем в центре диска. Однако при наведении электрической оси антенны с узкой диаграммой направленности (ДН) в точку, расположенную на краю диска Солнца или вблизи его, возникают большие паразитные колебания радиосигнала, вызванные неточностью сопровождения антенной выбранной точки. Для учета паразитных колебаний и введения поправок предлагается использовать сигналы от фотоэлементов.

Применение фотоэлементов для радионаблюдений Солнца, правда, для других целей, было предложено А.Б. Северным еще в середине 60-х годов, когда были проведены пробные наблюдения. Однако их результаты не были опубликованы, и с тех пор подобные наблюдения не проводились вплоть до 1982 г. В 1982 г. авторами были выполнены пробные наблюдения пульсаций радиоизлучения с использованием двух фотоэлементов при наведении антенны на край солнечного диска, показавшие высокую корреляцию между сигналами на выходе радиометра, работавшего на волне 2,25 см, и от фотоэлементов.

Описываемые ниже наблюдения радиоизлучения Солнца с применением сигналов от фотоэлементов проводились 25 августа 1989 г. на 22-метровом радиотелескопе Крымской астрофизической обсерватории, имеющем оптический телескоп, оптическая ось которого параллельна электрической оси РТ-22.

Электрическая ось антенны наводилась в точку отстоящую от центра диска Солнца на $19'$, располагавшуюся в $5^h\,30^m$ UT на той же высоте, что и центр солнечного диска, и проводилось сопровождение. Изображение солнечного диска проецировалось на экран, жестко соединенный с оптическим телескопом. На экране закреплялись два фотоэлемента. Один фотоэлемент (назовем его горизонтальным) устанавливался в точке изображения, соответствующей пересечению лимба с альмукантаратом, второй (вертикальный) – на пересечении лимба с вертикальным кругом. Альмукантарат и вертикальный

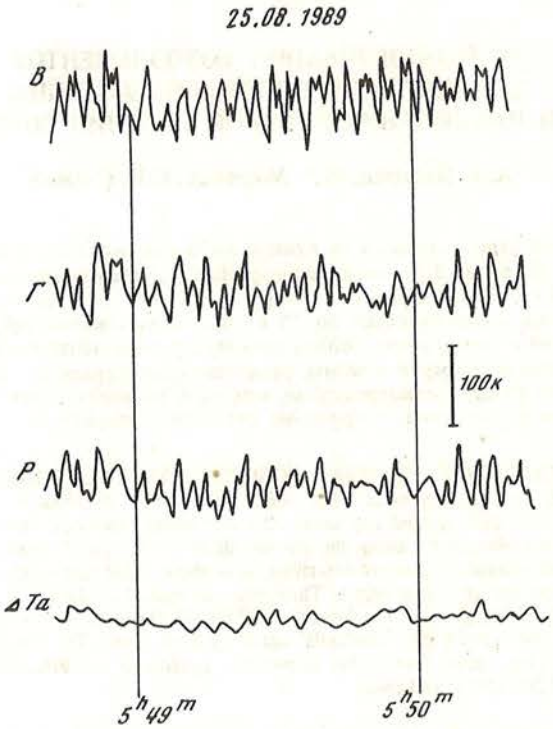


Рис. 1. Копия записи сигналов вертикального (В) и горизонтального (Г) фотоэлементов на выходе радиометра (Р) и разность выходного сигнала радиометра и приведенного фотоэлемента ΔT_a

круг выбирались так, чтобы они проходили через центр диска Солнца. Сигналы от радиометра и фотоэлементов регистрировались самописцами.

На рис. 1. показана копия записи сигналов вертикального фотоэлемента (обозначена буквой *В*), горизонтального фотоэлемента (*Г*), радиометра (*Р*) и разность сигнала радиометра и сигнала горизонтального фотоэлемента, приведенного к масштабу сигнала радиометра. Отрезок, ограниченный горизонтальными черточками, на рис. 1 изображает калибровочную "ступеньку" и соответствует антенной температуре 100 К. Видна высокая корреляция между записями солнечного радиоизлучения и сигнала от горизонтального фотоэлемента. В то же время не видно какой-либо корреляции между сигналом от вертикального фотоэлемента и двумя первыми.

Обработка данных наблюдений, при которой использовались только записи сигналов радиометра и горизонтального фотоэлемента, проводились следующим образом. Сначала сигнал от этого фотоэлемента приводился по величине к тому же масштабу по амплитуде колебаний, что и сигнал на выходе радиометра. Для этого вычислялся коэффициент m, равный $A_р/A_ф$, где $A_р$ – амплитуда колебаний сигнала радиометра, $A_ф$ – амплитуда соответствующих им колебаний сигнала фотоэлемента, Коэффициент m вычислялся как среднее отношение указанных величин в течение одной минуты с $5^h\,49^m$ до $5^h\,50^m$ UT. Затем начало отсчета сигнала от фотоэлемента приводилось в соответствие с началом отсчета сигнала радиометра с учетом коэффициента m . Разность (ΔT_a) приведенных к одному масштабу сигналов вычислялась по формуле

$$\Delta T_a = T_a - mL, \qquad (1)$$

где T_a – антенная температура, L – сигнал от фотоэлемента, отсчитанный от вычисленного начала отсчета. Масштабный коэффициент, определенный в интервале времени

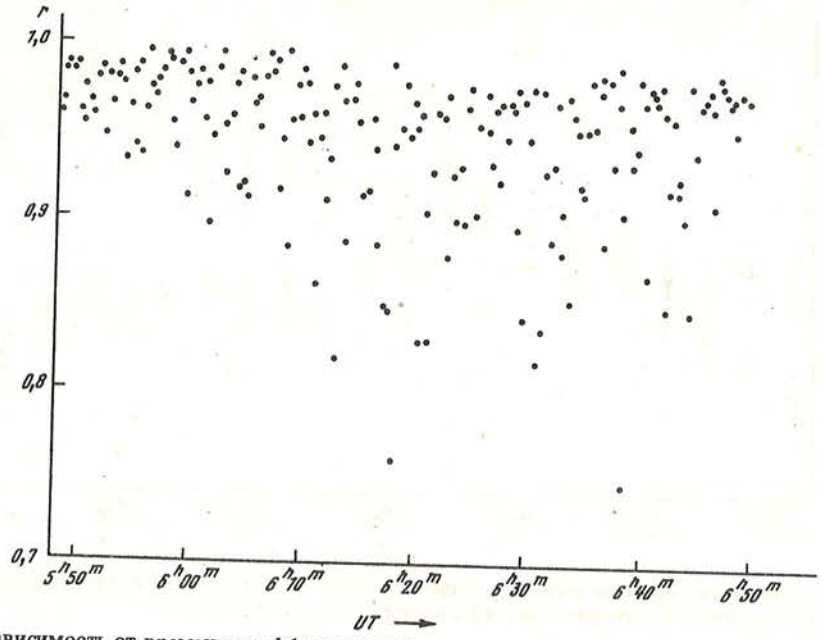


Рис. 2. Зависимость от времени коэффициента корреляции между сигналами радиометра и горизонтального фотоэлемента, вычисленного по записи 10 последовательных амплитуд колебаний

$5^h\,49^m$–$5^h\,50^m$, равен 0,884. При повторных вычислениях в другом интервале времени по истечении 6 мин наблюдений он оказался равным 0,904. При обработке записей этот коэффициент был принят равным первоначальному значению, т.е. 0,884. Указанным способом по (1) вычислена разность ΔT_a для 2000 записей амплитуд колебаний, полученных в течение примерно одного часа наблюдений. В дальнейшем для краткости будем говорить не "запись амплитуды колебаний", а просто "измерение". Разность сигналов радиометра и горизонтального фотоэлемента показана в нижней части рис. 1. Видно, что амплитуда паразитных колебаний антенной температуры уменьшилась не менее чем в 2–3 раза по сравнению с их амплитудой на выходе радиометра.

На рис. 2 показана зависимость от времени коэффициента корреляции r между сигналами от радиометра и фотоэлемента, причем одно значение r вычислено по 10 последовательным измерениям. Видно, что подавляющее большинство значений $r > 0{,}9$.

Среднее арифметическое значение коэффициента корреляции, вычисленное по десяткам измерений, для первой и второй тысяч измерений равно соответственно 0,949±±0,005 и 0,937±0,009, а для всех 2000 измерений r = 0,943±0,006. Здесь со знаком "±" указаны среднеквадратичные ошибки среднего. Видно, что с течением времени коэффициент корреляции несколько уменьшается, а разброс его значений незначительно возрастает. Среднее значение r, вычисленное по сотням последовательных записей амплитуд колебаний, оказалось равным 0,87, а коэффициент корреляции по всем 2000 измерений понизился до 0,63±0,01, где со знаком "±" указана средняя ошибка. Это говорит о том, что в разность сигналов радиометра и фотоэлемента входит переменная во времени составляющая, характерное время изменения которой заметно превышает 18–20 с, в течение которых проводилась запись 10 амплитуд колебаний сигналов.

На рис. 3 представлена зависимость от времени сигналов радиометра (кружки) и горизонтального фотоэлемента (треугольники). Вертикальные черточки обозначают среднеквадратичные ошибки среднего. Одно значение соответствующей величины найдено усреднением по 3-минутным измерениям. Видно, что зависимости от времени, изображенные на рис. 3, отклоняются от линейной. Измерения амплитудных характеристик радиометра и фотоэлементов показали, что они линейны, особенно в их средних

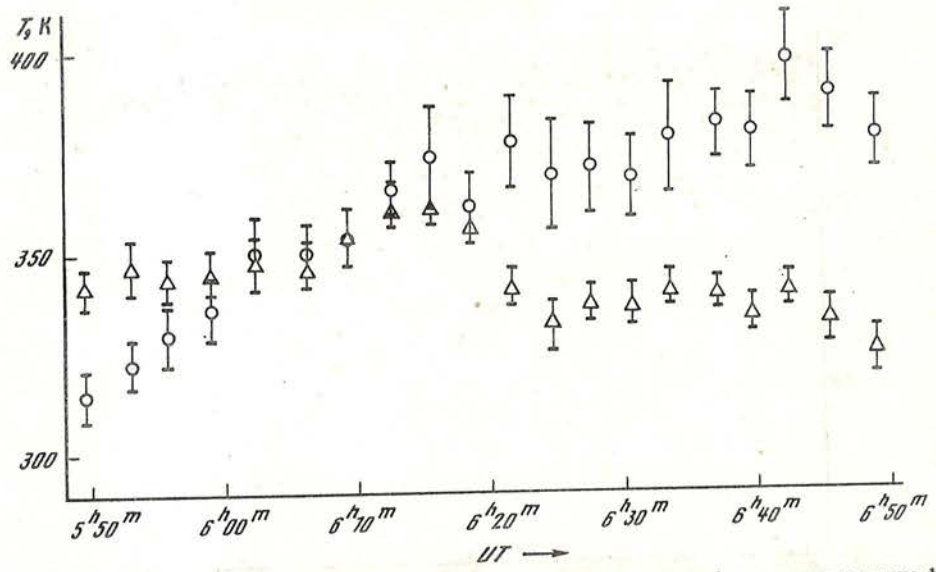


Рис. 3. Зависимость от времени сигналов на выходе радиометра (кружки) и горизонтального фотоэлемента (треугольники), усредненных по 3-минутным интервалам времени

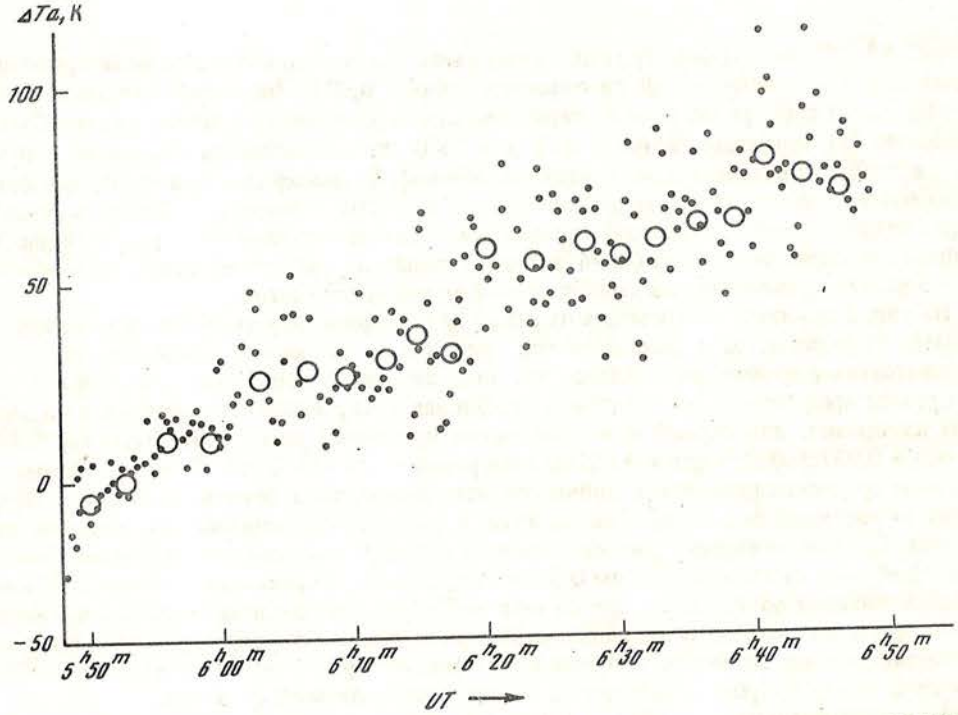


Рис. 4. Разность сигналов радиометра и горизонтального фотоэлемента в зависимости от времени Точки соответствуют усреднению по 10 последовательным измерениям, кружки – по 100 измерениям

частях. Видно также, что среднеквадратичные ошибки меньше у сигнала от фотоэлемента. Следует отметить, что коэффициент корреляции между величинами сигналов радиометра и фотоэлемента с их среднеквадратичными ошибками составляет соответственно 0,55±0,015 и –0,10±0,22, т.е. о первой корреляции сделать какой-то вывод затруднительно, тогда как о второй можно сказать, что она практически отсутствует. Корреляция между абсолютными значениями среднеквадратичных отклонений сигналов на выходе радиометра и фотоэлемента в 3-минутных интервалах времени равна практически нулю (r = –0,02±0,22). В трех последних значениях коэффициента корреляции со знаком "±" указаны средние ошибки.

На рис. 4 показана зависимость от времени величины ΔT_a, усредненной по 10 измерениям (точки) и по 100 измерениям (светлые кружки). Можно увидеть, что эта величина изменяется со временем приблизительно линейно, причем разброс значений при этом увеличивается. В 3-минутных интервалах времени он не превышает 60 К. Значения ΔT_a, усредненные по 100 измерениям, вычислены по (1). Из отмеченного следует, что можно надежно обнаружить всплеск радиоизлучения, если разность ΔT_a в течение 3-мин возрастает не менее чем на 120–150 К.

О причине появления медленно изменяющейся компоненты антенной температуры сказать определенно затруднительно. Эта компонента может быть вызвана как аппаратурными эффектами, так и изменениями самого радиоизлучения Солнца на краю диска. На фотопластинке, полученной 25 августа 1989 г. с помощью телескопа АФР-2 оптической службой Солнца КрАО вблизи края солнечного диска на угловом расстоянии примерной 4′ от точки, за которой проводилось слежение на РТ-22, находилась группа пятен. Ее гелиографические координаты 25 августа были $\varphi = 23S$, $\lambda = 83\ W$. Не исключено, что радиоизлучение этой группы пятен могло внести вклад в медленно изменяющуюся компоненту, наблюдавшуюся нами. Нельзя исключить полностью и такую причину, как 160-минутные колебания радиорадиуса Солнца, хотя приближенная оценка показывает, что приращение антенной температуры при таких колебаниях не должно превышать 40 К, если амплитуда колебаний радиорадиуса Солнца составляет около 1",3, как вычислено в работе А.Ф. Бачурина*. Во всяком случае вопрос о составляющей, медленно изменяющейся по сравнению с колебаниями в 20-секундном интервале времени, требует специального рассмотрения.

Укажем некоторые возможные причины уменьшения корреляции между сигналами на выходе радиометра и фотоэлемента со временем.

1) Вклад в сигнал горизонтального фотоэлемента, вносимый сигналом от вертикального фотоэлемента, поскольку точка на Солнце, находившаяся первоначально на одном альмукантарате с центром солнечного диска, с течением времени отклонится от него. Оценка показывает, что в случае одного часа наблюдений этим вкладом можно пренебречь.

2) Неточность определения положения центра изображения диска Солнца на экране и установки на нем фотоэлементов в выбранную точку слежения.

3) Неточность сопровождения радиотелескопом этой точки за счет ошибки в установке скорости слежения и изменения со временем прогиба опор, несущих вторичное зеркало радиотелескопа.

На основании отмеченного можно сделать следующие выводы.

1. С учетом сигнала от фотоэлементов и введения соответствующих поправок можно в несколько раз уменьшить амплитуду наблюдаемых паразитных колебаний антенной температуры на записи радиоизлучения при слежении за точкой, выбранной на краю солнечного диска.

2. В течение часа наблюдений среднеарифметический коэффициент корреляции между сигналами от радиометра и от фотоэлемента, измеренный на 20-секундных интервалах времени составляет 0,94, а на 3-минутных интервалах он равен 0,87.

Бачурин А.Ф. Попытка обнаружения 160-минутных колебаний радиорадиуса Солнца на волне 2,25 см // Кинематика и физика небесных тел. 1990. Т. 6. С. 75–79.

3. С помощью фотоэлемента можно надежно обнаружить на записи радиоизлучения кратковременные радиовсплески на краю солнечного диска, приращение антенной температуры в которых составляет 120–150 К и выше.

УДК 522.2

АХРОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СЛЕФОГТА–ЛИНФУТА

Г.М. Попов

Рассмотрены системы типа Шмидт–Кассегрен с плоским полем и ахроматическим корректором, скленным из двух асферических линз. Материал корректора – плавленый кварц и фтористый литий. Зеркала системы сферические. Системы имеют хорошее исправление аберраций в спектральной области 2000 ... 25000 А при плоском поле зрения до 6° и относительном отверстии до 1:2,5 при фокусном расстоянии около 1 м. Имеются системы с фокальной поверхностью, вынесенной за пределы системы, что делает возможным применение громоздких светоприемников.

Системы могут быть применены как в космических, так и в наземных приборах, работающих в широкой области спектра.

THE ACHROMATIC SLEVOGT-LINFOOT SYSTEMS, *by G.M. Popov*. The flat-fielded Schmidt–Gassegrain systems with achromatic cemented correcting plate are discussed. The correcting plate is made of fuzed quartz and litium fluoride. The systems have spherical mirrors. The systems have well eliminated aberration in the spectral region 2000–25000 A and a flat field up to 6° and speed up to f/2.5; their focal lenght is about 1 m. There are systems having outside focal plane are available providing the usage of large light receivers. These systems can be used as in space telescopes so in the ground based ones for the large spectral region.

Введение

Общеизвестная система Шмидта, обладая большим и хорошо исправленным полем зрения, имеет существенный недостаток – поле зрения ее искривлено. Кроме того, ее фокальная поверхность расположена внутри системы и, следовательно, труднодоступна. Это осложняет применение громоздких светоприемников – ЭОП, телевизионной техники и др. Поэтому желательно иметь телескоп с фокальной поверхностью, расположенной за пределами системы.

Вскоре после изобретения системы Шмидта были предприняты попытки устранить ее недостатки ценой усложнения. Сначала Бекер [1], а затем Слефогт [2] и Линфут [3] разработали системы типа Шмидт–Кассегрен (рис. 1), обладающие плоской фокальной поверхностью. Все эти системы состоят из асферической коррекционной пластинки Шмидта и двух зеркал. При необходимости фокальная поверхность может быть вынесена за пределы системы. Системы Бекера, к сожалению, имеют по крайней мере одно асферическое зеркало, что затрудняет изготовление оптики. Более перспективными являются системы Слефогта–Линфута; это системы Шмидта–Кассегрена со сферическими зеркалами и плоским полем зрения. Сферические зеркала удобны для изготовления и контроля. К сожалению, эти системы мало изучены; их рассмотрение [3] ограничивается аберрациями третьего порядка, т.е. грубым приближением.

Общим недостатком систем (рис. 1), содержащих классическую коррекционную пластинку Шмидта, является значительный хроматизм, превосходящий хроматизм системы Шмидта с тем же фокусным расстоянием и относительным отверстием. Поэтому применение светосильных систем в широкой области спектра невозможно. Однако уже Линфут [3] указал на принципиальную возможность исправления хроматизма при использовании корректора из двух асферических пластинок, изготовленных из стекол с различными дисперсиями. Заметим, что подобный ахроматический корректор с большим успехом был применен в камере Шмидта с отверстием 1, 2 м, установленной в

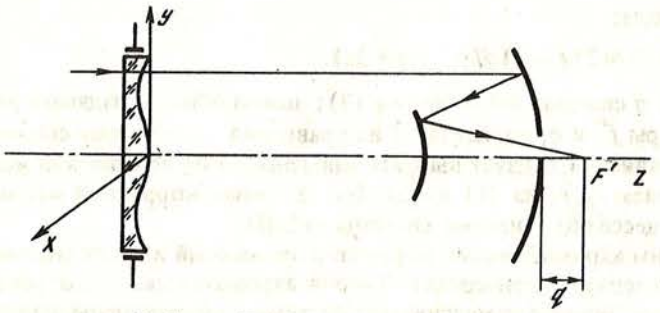


Рис. 1. Классическая система Слефогта–Линфута (система Шмидт–Кассегрен со сферическими зеркалами и плоским полем)

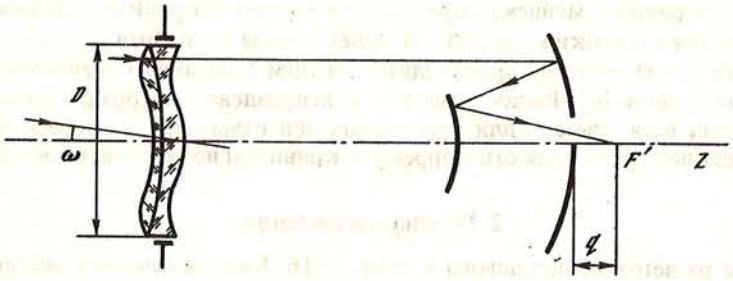


Рис. 2. Ахроматическая система Слефогта–Линфута

Австралии. Ранее мы показали [4], что возможно выбрать пары стекол для корректора из двух пластинок Шмидта, при которых достигается исправление хроматизма в широкой области спектра. В этом отношении наиболее перспективной парой является кварцевое стекло в сочетании с фтористым литием, прозрачные в широкой области спектра. Ранее нами [4] показано, что системы Шмидта с подобным корректором могут работать в весьма широкой области спектра (2000 ... 25000 Å). Покажем, что возможны системы Слефогта–Линфута с подобным корректором, работающие в столь же широкой области спектра, что представляет значительный интерес как для космических, так и для наземных приборов (рис. 2).

1. Методика расчета

Предварительный расчет системы производится в предположении, что корректора нет, поскольку он практически не имеет оптической силы. Поэтому предварительный расчет сводится к расчету параксиальных характеристик системы из двух зеркал, входящих в систему Шмидта–Кассегрена. При расчете применяются известные выражения [5, с. 26]

$$r_4 = 2f'd/(f' + d - q), \tag{1}$$

$$r_5 = 2(q - d)\,d/(f' + 2d - q), \tag{2}$$

где f' – эквивалентное фокусное расстояние системы, d – расстояние между зеркалами, q – расстояние фокальной поверхности от вершины главного зеркала; r_4 и r_5 – радиусы кривизны первого (главного) и второго зеркал соответственно.

Возможны два основных случая: 1) величины f', d, q заданы, тогда расчет сводится к вычислению r_4 и r_5 по формулам (1) и (2); 2) радиусы r_4 и r_5 связаны некоторым условием, например условием исправления кривизны поля $r_4 \approx r_5$; в этом случае

из (1) и (2) имеем:

$$2f'd/(f-q+d) \approx 2(q-d)\,d/(f'-q+2d). \qquad (3)$$

Параметры f', d, q связаны выражением (3); целесообразно задавать наиболее существенные параметры f' и q, определяя d из уравнения, к которому сводится (3). При решении этого уравнения следует выбрать наименьший по абсолютной величине корень; найдя d, вычисляем r_4, r_5 из (1) и (2). Более точная коррекция кривизны поля производится в процессе оптимизации системы на ЭВМ.

Мы рассмотрим ахроматический корректор, склеенный из двух асферических пластин (поверхность склейки сферическая). Теория ахроматического корректора обсуждена нами в [4]. Здесь будет рассматриваться система с корректором, содержащим два материала – кварцевое стекло и фтористый литий, поскольку они обеспечивают минимальный остаточный хроматизм в сочетании с высокой прозрачностью в широкой области спектра [4]. Для уменьшения влияния бликов корректору придается менискообразная форма; кривизна мениска определяется радиусом кривизны склейки, который может выбираться в широких пределах. В нашем случае он выбран равным – 100 дм.

Дальнейший расчет системы производится на ЭВМ с помощью специальной программы, описанной нами в [6]. Расчет сводится к исправлению аберраций на оси для двух выбранных длин волн света λ для нескольких зон отверстия, а также к исправлению комы для заданного угла поля ω и коррекции кривизны поля, если это необходимо.

2. Результаты расчетов

Результаты расчетов представлены в табл. 1–16. Каждая нечетная таблица содержит конструктивные элементы системы, а каждая четная – размеры δ' (мкм) пятна наименьшего рассеяния при различных ω и λ.

Профили асферических поверхностей корректора имеют вид

$$z = u/r + Bu^2, \qquad (4)$$

где $u = (x^2+y^2)/2$ (см. рис. 1), B – постоянная.

Обозначения следующие: r_i – радиусы кривизны при вершинах, d_i – расстояния между вершинами поверхностей, D – диаметр входного отверстия (апертурная диафрагма совмещена с оправой корректора), f' – эквивалентное фокусное расстояние системы, A – относительное отверстие, s' – расстояние фокальной поверхности от вершины последней поверхности (т.е. выпуклого зеркала, q – расстояние фокальной поверхности от вершины главного зеркала (все перечисленные размеры даны в дециметрах), ω° – угол наклона пучка параллельных лучей к оси системы, λ – длина волны света (Å). Дисторсия для всех систем не превышает сотых долей процента и может быть еще уменьшена перемещением апертурной диафрагмы в пространство между корректором и главным зеркалом – прием, указанный Линфутом [3].

Фокусное расстояние всех систем близко к 1 м; относительное отверстие – 1:2,5 до 1:5,8 при плоском поле зрения до $2\omega = 6^\circ$. Заметим, что хроматизм увеличения пренебрежимо мал для всех систем. Очевидно, основными аберрациями являются остаточные хроматизм положения и сферохроматическая аберрация, а также полевые абер-

Таблица 1

r_i	d_i	B_i	r_i	d_i	B_i
–98,977	0,1	0,001706 (SiO_2)	–98,283	13,59	0,003072 (LiF)
–100	0,19		–12,36	–4,39	
			–11,92	2,558	

Примечание: $D = 3{,}5$; $q = -1{,}853$; $f' = 8{,}824$; $A = 1:2{,}5$; $2\omega = 6^\circ$. SiO_2 – кварц плавленный, LiF – фтористый литий.

Таблица 2

ω	λ						
	1990	2144	2536	3404	5461	15000	25000
0	16,3	12,4	22,5	26,5	24,3	17	11,7
1,15	19,3	13,8	24,2	28,4	26,1	18,49	14,37
1,72	21,12	17,1	27,1	31,1	29,02	21,8	16,64
2,86	25,17	21,7	31,1	35,0	32,9	25,9	22,4
s'	2,5575	2,5582	2,5590	2,5593	2,5591	2,5585	2,5577

Таблица 3

r_i	d_i	B_i	r_i	d_i	B_i
–99,058	0,1	0,001568 (SiO_2)	–98,44	13,82	0,002822 (LiF)
–100,0	0,19		–12,36	–4,15	
			–11,92	3,078	

Примечание: $D = 3,5$; $q = -1,073$; $f' = 9,363$; $A = 1:2,67$; $2\omega = 6°$.

Таблица 4

ω	λ						
	1990	2144	2536	3404	5461	15000	25000
0	19,5	8,5	18,24	22,2	20,08	12,89	14,92
1,15	22,04	11,4	20,07	24,1	21,97	14,65	17,86
1,72	24,03	13,3	23,12	27,0	25,0	17,95	20,62
2,86	27,74	20,5	26,67	30,6	28,9	22,7	21,89
s'	3,0774	3,0781	3,0789	3,0793	3,0791	3,0785	3,0776

Таблица 5

r_i	d_i	B_i	r_i	d_i	B_i
–99,209	0,1	0,001283 (SiO_2)	–98,732	14, 39	0, 002307 (LiF)
–100	0,19		–12,36	–3,65	
			–11,92	4,396	

Примечание: $D = 3,5$; $q \cong 0,745$; $f' = 10,73$; $A = 1:2,94$; $2\omega = 6°$.

Таблица 6

ω	λ						
	990	2144	2536	3404	5461	15000	25000
0	17,87	7,5	15,6	19,3	17,39	10,7	13,44
1,15	21,57	11,2	17,6	21,5	19,57	12,8	17,94
1,72	23,82	12,9	20,05	23,7	22,14	16,1	15,59
2,86	27,79	19,9	25,14	29,3	28,28	23,5	24,53
s'	4,3948	4,3955	4,3964	4,3968	4,3966	4,3960	4,3951

Таблица 7

r_i	d_i	B_i	r_i	d_i	B_i
–99,277	0,1	0,001139 (SiO_2)	–98,862	14,73	0,002049 (LiF)
–100	0,19		–12,36	–3,39	
			–11,92	5,245	

Примечание: $D = 3{,}5$; $q \simeq 1{,}819$; $f' = 11{,}61$; $A = 1:3{,}32$; $2\omega = 6°$.

Таблица 8

ω	λ						
	1990	2144	2536	3404	5461	15000	25000
0	10, 85	10, 0	18, 9	22, 4	20, 58	14, 1	6, 94
1,15	15,36	11,8	20,51	24,0	22,35	16,2	9,5
1,72	17,2	14,0	22,58	26,1	24,69	18,9	12,3
2,86	21,38	22,1	28,43	32,7	31,24	27,6	23,06
s'	5,2445	5,2453	5,2462	5,2466	5,2464	5,2458	5,2449

Таблица 9

r_i	d_i	B_i	r_i	d_i	B_i
–99,409	0,1	0,001662 (SiO_2)	–99,122	13,54	0,002985 (LiF)
–100,0	0,19		–12,36	–4,399	
			–11,92	2,537	

Примечание: $D = 2$; $q = -1{,}862$; $f' = 8{,}808$; $A = 1:4{,}4$; $2\omega = 6°$.

Таблица 10

ω	λ						
	1990	2144	2536	3404	5461	15000	25000
0	2,2	0,8	2,7	3,4	3,1	1,73	1,36
1,15	3,5	1,8	3,4	4,26	3,8	2,23	2,11
1,72	4,3	2,5	3,7	4,22	4,5	3,34	2,8
2,88	3,6	3,33	4,5	4,48	5,13	4,5	3,9
s'	2,53903	2,5393	2,5395	2,5396	2,5396	2,5394	2,5391

Таблица 11

r_i	d_i	B_i	r_i	d_i	B_i
–99,433	0,1	0,001465 (SiO_2)	–99,181	14,05	0,002591 (LiF)
–100,0	0,19		–12,36	–3,899	
			–11,92	3,691	

Примечание: $D = 2$; $q = -0{,}208$; $f' = 10{,}0$; $A = 1:5$; $2\omega = 6°$.

Таблица 12

ω	λ						
	1990	2144	2536	3404	5461	15000	25000
0	2,2	0,8	2,92	3,9	3,7	2,52	0,8
1,15	3,8	1,8	3,53	4,6	4,55	3,36	1,7
1,72	4,2	2,8	4,44	5,4	5,44	4,6	3,4
2,88	5,1	4,1	5,48	6,5	6,63	5,91	5,28
s'	3,6941	3,6944	3,6947	3,6948	3,6948	3,6946	3,6944

Таблица 13

r_i	d_i	B_i	r_i	d_i	B_i
−99,478	0,1	0,001255 (SiO_2)	−99,252	14,35	0,002254 (LiF)
−100,0	0,19		−12,36	− 3,65	
			−11,92	4,395	

Примечание: $D = 2$; $q = 0,745$; $f' = 10,73$; $A = 1:5,32$; $2\omega = 6°$.

Таблица 14

ω	λ						
	1990	2144	2536	3404	5461	15000	25000
0	1,9	0,6	2,4	3,0	2,7	1,4	1,1
1,15	3,3	1,8	3,0	3,7	3,5	2,4	2,2
1,72	3,8	3,3	4,4	4,2	5,0	4,2	3,6
2,88	6,6	5,0	6,1	6,8	6,8	6,3	7,4
s'	4,3950	4,3953	4,3955	4,3957	4,3956	4,3954	4,3952

Таблица 15

r_i	d_i	B_i	r_i	d_i	B_i
−99,5	0,1	0,001117 (SiO_2)	−99,293	14,69	0,002006 (LiF)
−100,0	0,19		−12,36	−3,39	
			−11,92	5,209	

Примечание: $D = 2$; $q = 1,819$; $f' = 11,61$; $A = 1:5,81$; $2\omega = 6°$.

рации (в основном это астигматизм). Впрочем, эти аберрации малы и размеры пятна рассеяния порядка 0,03 мм даже на краю поля. Кривизна поля для всех систем практически отсутствует, т.е. поле плоское. Рабочая область спектра ~2000 Å ... ~25000 Å. Длина системы (без учета выноса фокуса) не более 1,5 f'. Заметим, что возможно также и создание ахроматических систем Слефогта–Линфута для широкой области спектра с корректором, содержащим кварцевое стекло и флуорит, но при этом остаточный хроматизм растет; впрочем, его можно уменьшить, работая в более узкой области спектра.

Таблица 16

ω	λ						
	1990	2144	2536	3404	5461	15000	25000
0	1, 00	1, 28	2, 93	3, 7	3, 3	2, 05	0, 38
1,15	2,5	2,1	3,4	4,1	3,9	2,98	1,9
1,72	3,4	3,8	4,8	5,4	5,4	4,8	4,1
2,88	7,45	5,9	7,3	8,2	8,2	7,4	7,5
s'	5,2444	5,2447	5,2450	5,2451	5,2451	5,2449	5,2446

При работе в визуальной и близкой к визуальной области спектра можно применять и корректоры из обычных стекол; наилучшие в отношении хроматизма пары стекол приведены в [4]. Система с ахроматическим корректором может быть сделана более короткой ценой введения асферики на обоих зеркалах.

3. Область применения

Описанные системы могут служить всюду, где требуются объективы, работающие в широкой области спектра при высоком качестве изображения, значительной светосиле и плоском поле зрения. При необходимости можно использовать системы с наружным расположением фокальной поверхности, что приводит к некоторому увеличению потерь света на экранирование вторичным зеркалом (обычно потери света на экранирование в подобных системах порядка 15–20%).

Целесообразно применение систем в космических приборах, при наблюдениях со стратостатов, в лабораторных исследованиях при широкой области спектра.

Автор признателен В.И. Пронику за просмотр рукописи и ценные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Baker J.G.* // Proc. Amer. Philos. Soc. 1940. Vol. 82, N 3. P. 339.
2. *Slevogt H.* // Ztschr. Instrumentenk. 1942. Bd. 62, N 10. S. 312.
3. *Linfoot E.H.* // Proc. Soc. 1945. Vol. 57, pt 3, N 321. P. 199.
4. *Попов Г.М.* Ахроматические системы Шмидта // Изв. Крым. астрофиз. обс. Наст. сб.
5. *Попов Г.М.* Асферические поверхности в астрономической оптике. М.: Наука, 1980.
6. *Попов Г.М.* // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1986. Т. 74. С. 161–170.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ К Т. 53–80

О поляризации эмиссии усов у солнечного лимба. 1985. 73. 3–8.
О тонкой структуре поляризованных элементов вспышек. 1985. 70. 3–7.
Об исследовании поляризации усов с H_α-фильтром. 1986. 75. 52–58.
Определение параметров линейной поляризации усов по монохроматическим наблюдениям. 1988. 80. 110–117.

17. *Бабин А.Н., Попов Г.М., Попова М.Б.* Двухлинзовые объективы-суперахроматы для широкой области спектра. 1983. 68. 141–147.

18. *Барановский Э.А.* Бальмеровские линии в солнечных вспышках. 1983. 67. 84–89.
К вопросу о слоистой структуре солнечных вспышек. 1986. 75. 3–7.
К вопросу об определении физических условий во флоккулах и в хромосферной сетке. 1975. 53. 75–81.
Модель верхней хромосферы и энергетический баланс в области солнечной вспышки. 1984. 69. 100–107.
Энергетический баланс и плотность вещества в солнечных вспышках. 1985. 72. 154–158.

19. *Барановский Э.А., Коваль А.Н.* К вопросу о непрерывной эмиссии вспышек. 1982. 65. 35–42.
Определение физических условий в ядрах непрерывной эмиссии. 1981. 64. 127–131.

20. *Барановский Э.А., Кучера А., Щербакова З.А.* Линии *H, K* и инфракрасный триплет Ca II во флоккулах. 1987. 77. 3–8.

21. *Барановский Э.А., Ограпишвили Н.Б., Степанян Н.Н.* Изменение температуры и плотности во флоккулах развивающейся активной области. 1986. 75. 47–51.

22. *Барановский Э.А., Северный А.Б.* Модель хромосферы над активной областью по наблюдениям линий водорода L_α, L_β и ультрафиолетовых линий нейтральных и ионизованных элементов. 1979. 60. 99–107.

23. *Барановский Э.А., Степанян Н.Н.* Изменение физических условий в пятнах активной области McMath 14943 12–19 сентября 1977 г. 1980. 62. 125–130.
Изменение физических условий во флоккулах с их развитием. 1976. 55. 14–26.
Модель флоккула на уровне хромосферы и переходного слоя и ее изменение с развитием флоккула. 1979. 60. 135–145.

24. *Барановский Э.А., Щербакова З.А.* Инфракрасные линии водорода и гелия в спектрах вспышек. 1985. 71. 54–61.
Модель пятна и вспышки над пятном. 1987. 77. 25–31.

25. *Бачурин А.Ф.* Изменение радиорадиуса Солнца с фазой цикла солнечной активности на волнах 2,25 и 3,5 см. 1983. 68. 68–74.
Наблюдения Луны с целью уточнения радиорадиуса Солнца. 1985. 72. 211–216.
О методике определения радиорадиуса Солнца сканированием. 1986. 74. 117–120.
О радиорадиусе Солнца на волнах 1,9; 2,5 и 3,5 см. 1983. 67. 127–131.
Радиодиаметр Солнца на волнах 1,9; 2,5 и 3,5 см. 1982. 65. 71–79.
Радиорадиус Солнца на волне 2,25 см в 1980–1984 годах. 1987. 77. 79–82.
Радиорадиус Солнца на волне 2,25 см в 1980–1986 гг. 1988. 79. 46–48.
Радиорадиус Солнца на волне 2,25 см в направлении полярных областей в максимуме солнечной активности. 1984. 69. 130–132.

26. *Бачурин А.Ф., Дворяшин А.С., Ерюшев Н.Н.* О событиях на Солнце в период 3.IV 1972 г. на волнах 1,9; 2,5 и 3,5 см. 1976. 54. 227–232.
О спектральном индексе двух локальных радиоисточников на Солнце в коротковолновой части сантиметрового диапазона. 1976. 55. 70–73.
Радиоизлучение мощной активной области на Солнце в июле 1974 г. на волнах 3,5; 2,5 и 1,9 см. 1977. 57. 156–168.

27. *Бачурин А.Ф., Дворяшин А.С., Ерюшев Н.Н., Нефедьев В.П., Цветков Л.И.* Изменения потока радиоизлучения на волнах 1,9; 2,5; 3,2 и 3,5 см во время развития всплесков. 1983. 68. 25–30.

28. *Бачурин А.Ф., Дворяшин А.С., Ерюшев Н.Н., Цветков Л.И.* Об изменении диаметра радиоизображения Солнца в коротковолновой части сантиметрового диапазона. 1978. 58. 40–43.
Поляризованное радиоизлучение мощной активной области на Солнце в июле 1974 г. на волнах 1,9; 2,5 и 3,5 см. 1980. 61. 37–51.
Поляризованное радиоизлучение протонной области на Солнце 4.III. 1974 г. на волнах 1,9; 2,5 и 3,5 см. 1979. 59. 111–119.
Развитие локальных радиоисточников и всплесковая активность на Солнце в коротковолновой части сантиметрового диапазона. 1980. 62. 166–175.
Связь изменений радиояркости Солнца с холмами магнитного поля и флоккулами в период минимума солнечной активности. 1981. 64. 152–161.

29. *Бачурин А.Ф., Ерюшев Н.Н.* О яркостной температуре "спокойного" Солнца в сантиметровом диапазоне. 1976. 54. 241–243.

30. *Белякина Т.С.* О затмении в двойной системе симбиотической звезды CI Cyg. 1979. 59. 133–142.
Симбиотическая затменно-переменная звезда CI Cyg. Анализ кривой блеска. 1983. 68. 108–113.

Симбиотическая затменно-переменная CI Cyg. Переменность холодного компонента. 1987. 76. 40–42.
UBV-фотометрия симбиотических звезд *Z* And и AG Peg. 1986. 75. 136–141.
31. *Белякина Т.С., Архипова В.П., Докучаева О.Д., Носкова Р.И.* Кривая блеска пекулярной симбиотической звезды HM S ge. 1988. 78. 43–51.
32. *Белякина Т.С., Бондарь Н.И., Гершберг Р.Е., Ефимов Ю.С., Краснобабцев В.И., Петров П.П., Пиирола В., Саванов И.С., Чуваев К.К., Шаховская Н.И., Шаховской Н.М., Шенаврин В.И.* Исследование пекулярного объекта Кувано–Хонда (PU Vul) 1985. 72. 3–71.
33. *Белякина Т.С., Бурнашев В.И., Жилин В.М.* Фотометрические и спектральные наблюдения спектрально-двойной звезды ξ And в 1974 г. 1977. 56. 16–23.
34. *Белякина Т.С., Миникулов Н.Х.* $U-B$, $B-V$-диаграмма для водородного газа с плотностью $n_e = 10^6$ см$^{-3}$. 1987. 76. 51–53.
– Белякина Т.С. см. № 12.
– Бенюх В.В. см. № 53.
35. *Берлянд Б.О., Буров В.А., Степанян Н.Н.* Начальная фаза развития групп пятен и их прогноз. 1979. 60. 146–156.
36. *Бескин Г.М., Гершберг Р.Е., Неизвестный С.И., Плахотниченко В.Л., Пустильник Л.А., Шварцман В.Ф.* Фотометрические исследования вспыхивающих звезд типа UV Кита с временным разрешением $3\cdot10^{-7}$ с на 6-м телескопе. 1988. 79. 71–94.
– Бескровная Н.Г. см. № 288.
37. *Бобова В.П.* Изучение 160-минутных пульсаций Солнца геофизическим методом. 1987. 77. 90–96.
38. *Бобова В.П., Владимирский Б.М., Ляцкая А.М.* О присутствии периодических вариаций электронной концентрации в среднеширотном *E*-слое ионосферы с периодом, близким к периоду пульсаций Солнца 160 минут. 1985. 70. 46–50.
39. *Бобова В.П., Владимирский Б.М., Пудовкин М.И.* О присутствии 160-минутных пульсаций, вероятно обусловленных пульсациями Солнца, в АЕ-индексе. 1985. 71. 19–24.
Спектр колебаний геомагнитного АЕ-индекса в диапазоне периодов 130–200 мин как возможное отражение спектра глобальных осцилляций Солнца. 1986. 74. 121–131.
– Бобова В.П. см. № 75, 76.
40. *Бойко А.Я., Косовичев А.Г., Попов Ю.П., Соколов В.С.* Об условиях образования зон повышенной температуры и плотности тока в атмосфере Солнца. 1988. 79. 11–22.
– Бондаренко В.П. см. 102.
– Бондаренко Н.М. см. № 75.
41. *Бондарь Н.И., Шаховская Н.И.* Патрульные электрофотометрические наблюдения H_α-эмиссии в спектре Кассиопеи. 1984. 69. 40–41.
– Бондарь Н.И. см. № 3, 32, 83, 226.
42. *Боярчук А.А., Боярчук М.Е.* Спектроскопическое исследование трех сверхгигантов класса F8. 1981. 63. 66–85.
43. *Боярчук А.А., Бурнашев В.И., Гринин В.П., Зверева А.М., Шейхет А.И.* Результаты ультрафиолетовых наблюдений кометы Галлея с борта астрофизической станции "Астрон". 1988. 78. 126–139.
44. *Боярчук А.А., Бурнашева Б.А., Бурнашев В.И.* Абсолютная калибровка *UBV*-величин на основе данных о распределении энергии в спектрах звезд. 1988. 78. 69–73.
45. *Боярчук А.А., Любимков Л.С.* Детальный анализ сверхгигантов класса F. I. Распределение микротурбулентности и содержание элементов в атмосферах звезд γ Cyg и αUMi. 1981. 64. 3–12.
Детальный анализ сверхгигантов класса F. II. Распределение микротурбулентности и содержание элементов в атмосфере ρ Cas. 1983. 66. 130–138.
46. *Боярчук А.А., Саванов И.С.* Силы осцилляторов для линий ионизованного железа. 1985. 74. 49–68.
Силы осцилляторов для нейтрального железа и его содержание в атмосфере Солнца, 1985. 70. 57–128.
47. *Боярчук А.А., Эглитис И.* Спектрофотометрическое исследование литиевой звезды ξ Boo A. 1981. 64. 13–24.
48. *Боярчук М.Е.* Содержание лития в звездных атмосферах. 1976. 55. 127–156.
49. *Боярчук М.Е., Киппер М.А., Хянни Л.Ф.* Анализ атмосфер полуправильных переменных звезд. 1977. 57. 3–18.
50. *Боярчук М.Е., Саванов И.С.* Содержание элементов в атмосфере гиганта γ^2 Leo. 1988. 78. 14–21.
Химический состав атмосфер гигантов класса КО β Gem и γ^1 Leo 1987. 76. 21–36.
– Боярчук М.Е. см. № 42.
51. *Бруевич В.В., Бурнашев В.И., Гринин В.П., Килячков Н.Н., Котышев В.В., Шаховская Н.И., Шевченко В.М.* Синхронные фотоэлектрические наблюдения вспыхивающих звезд в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. 1980. 61. 90–109.

52. *Брунс А.В.* К вопросу о нанесении новых отражающих слоев на зеркала приборов в процессе проведения внеатмосферных исследований. 1981. 63. 197–203.
Система гидирования орбитального солнечного телескопа. 1979. 59. 211–218.
Устройство орбитального солнечного телескопа станции "Салют-4". 1979. 59. 31–56.
Эффективность вогнутых дифракционных решеток с профилированными штрихами. 1984. 69. 139–145.
53. *Брунс А.В., Бенюх В.В.* Выбор теплового режима и термическая защита от деградации поверхности зеркал орбитального солнечного телескопа ОСТ-1. 1980. 61. 173–181.
54. *Брунс А.В., Гречко Г.М., Губарев А.А., Климук П.И., Севастьянов В.И., Северный А.Б., Стешенко Н.В., Феоктистов К.П.* Результаты спектральных исследований солнечных активных областей на "Салюте-4". 1979. 59. 3–30.
55. *Брунс А.В., Лиманский Л.Г.* Система преобразователей напряжения для электропитания орбитального солнечного телескопа ОСТ-1. 1979. 59. 206–210.
56. *Брунс А.В., Сидоров Г.Г., Стешенко Н.В.* Ультрафиолетовый спектрограф орбитального солнечного телескопа станции "Салют-4". 1979. 59. 57–63.
57. *Брунс А.В., Черемухин Г.С.* Метод количественной оценки соответствия параметров устройства комплексу технических требований. 1983. 68. 152–157.
58. *Букач А.Б.* Испытание пятиканального спектрофотометра на телескопе АЗТ-8. 1981. 63. 204–215.
Результаты лабораторных испытаний информационно-измерительной системы 5-канального спектрофотометра. 1979. 60. 197–204.
Сравнительные характеристики современных приемников излучения. 1988. 80. 188–197.
59. *Букач А.Б., Границкий Л.В., Елисеев В.С., Комиссаров В.Н.* Микрофотометр прямых интенсивностей с шаговым приводом. 1977. 56. 129–132.
60. *Букач А.Б., Границкий Л.В., Комиссаров В.Н., Кувшинов В.М.* Звездный магнитограф и поляриметр на счете фотонов для измерения циркулярной поляризации в узких и широких спектральных полосах. 1977. 57. 209–220.
61. *Букач А.Б., Ильин И.В., Тарасов А.Е., Щербаков А.Г.* Сканирующий спектрометр на базе диссектора с ЭОП. 1987. 76. 192–199.
– Букач А.Б. см. № 101, 102, 103, 226.
62. *Бурнашев В.И.* Абсолютная спектрофотометрия двойных звезд. 1983. 66. 162–182.
Абсолютная спектрофотометрия двойных звезд. II. 52 Per, 58 Per, 5 Lac. 1987. 76. 76–79.
Абсолютная спектрофотометрия углеродных звезд. 1979. 60. 32–36.
Абсолютная спектрофотометрия четырех сверхгигантов. 1980. 62. 3–16.
Абсолютная спектрофотометрия υSgr. 1981. 63. 104–117.
Звездные спектрофотометрические стандарты. I. 1988. 80. 54–62.
Определение эффективных температур, ускорений силы тяжести и параметра металличности поздних звезд на основе данных о распределении энергии в их спектрах. 1983. 67. 13–32.
Определение *B*-величин по данным спектрофотометрических каталогов. 1987. 76. 70–75.
Распределение энергии в спектрах 50 звезд. 1977. 57. 57–81.
Сравнение каталогов абсолютного распределения энергии в спектрах звезд. 1982. 65. 94–99.
Узкополосная фотометрия υSgr. 1988. 80. 69–75.
63. *Бурнашев В.И., Маланушенко В.П., Полосухина Н.С.* Результаты узкополосной фотометрии магнитно-переменной звезды βCr B. 1986. 74. 42–46.
64. *Бурнашев В.И., Никонов В.Б.* Редукции близких электрофотометрических систем в исследованиях переменных звезд. 1976. 54. 24–34.
65. *Бурнашев В.И., Скульский М.Ю.* Абсолютная спектрофотометрия βLyr. 1978. 58. 64–74.
– Бурнашев В.И. см. № 33. 43, 44, 51, 227.
66. *Бурнашева Б.А., Гершберг Р.Е., Проник В.И.* К теории камеры Попова–Боуэна. 1980. 61. 150–159.
67. *Бурнашева Б.А., Гершберг Р.Е., Проник В.И., Стешенко Н.В.* Возможная оптическая схема телескопа с главным сферическим зеркалом диаметром 20–25 м. 1981. 63. 166–170.
68. *Бурнашева Б.А., Голландский О.П.* Периодограмма ряда наблюдений, составленного из кусков, разделенных произвольными промежутками времени. 1987. 77. 157–165.
– Бурнашева Б.А. см. № 44.
– Буров В.А. см. № 35.
69. *Бычков В.Д., Витриченко Э.А., Щербаков А.Г.* Классификация звезд и методика поиска холодных спутников спектрально-двойных систем в ближней инфракрасной области. 1978. 58. 81–88.
70. *Валтаоя Е., Валтонен М., Ефанов В.А., Лехто А., Моисеев И.Г., Нестеров Н.С., Салонен Е., Тиури М., Урпо С., Хаарала С.* Спектры радиоизлучения некоторых внегалактических радиоисточников в диапазоне 11,6–36,8 ГГц. 1985. 70. 144–151.
– Валтаоя Л. см. № 71.
71. *Валтонен М., Силланпяя А., Валтаоя Л.* Переменность объекта OJ 287. 1988. 79. 170–171.
– Валтонен М. см. № 70.

72. *Васильев А.С.* Спектрограф для неподвижного фокуса телескопа им. акад. Г.А. Шайна. 1976. 55. 224–235.
73. *Введенский В.А.,Моисеев И.Г., Погребной Б.М., Семенов Ю.Н., Стежка П.Н.* Модернизированная система управления РТ-22 КАО. 1988. 78. 201–205.
– Веретенникова В.К. см. № 75, 76.
– Витриченко Э.А. см. № 69.
74. *Владимирский Б.М.* Дискретные источники гамма-излучения, исторические сверхновые и пульсары. 1980. 61. 55–60.
О вероятном вкладе дискретных источников в общую гамма-светимость Галактики. 1988. 80. 83–88.
О возможной классификации пульсаров и природе гамма-источников. 1983. 66. 192–204.
О возможной природе гамма-источника SG 195+4. 1981. 63. 146–150.
О возможности выделения двух классов радиопульсаров и их вероятной природе. 1988. 79. 157–165.
Первичные электроны высоких энергий, гамма-наблюдения с аэростатов и возмущения магнитосферы. 1979. 60. 92–98.
Пространственное распределение пульсаров в Галактике и природа гамма-источников. 1985. 72. 125–130.
Cyg X-3 – сверхновая девятнадцатого века? 1979. 60. 84–91.
75. *Владимирский Б.М., Бобова В.П., Бондаренко Н.М., Веретенникова В.К.* Пульсации с периодом 160 минут в земной магнитосфере, возможно обусловленные колебаниями Солнца. 1983. 68. 75–80.
76. *Владимирский Б.М., Бобова В.П., Репин В.Н., Веретенникова В.К.* О присутствии в магнитосфере Земли колебаний с периодом 160 мин, обусловленных пульсациями Солнца. 1981. 64. 132–139.
77. *Владимирский Б.М., Зыскин Ю.Л., Нешпор Ю.И., Степанян А.А., Фомин В.П., Шитов В.Г.* Определение угловых характеристик черенковских вспышек широких атмосферных ливней с энергией $> 10^{13}$ эВ. 1985. 70. 152–157.
78. *Владимирский Б.М., Левицкий Л.С.* Солнечная активность и декаметровое радиоизлучение Юпитера. 1976. 55. 81–84.
79. *Владимирский Б.М., Нешпор Ю.И., Степанян А.А., Фомин В.П.* Результаты наблюдений потока гамма-квантов от рентгеновского источника Cyg X-3. 1978. 58. 44–50.
– Владимирский Б.М. см. № 38, 39, 168, 187, 222, 223, 266, 267.
– Волоснов В.А. см. № 273.
80. *Галдецкий А.В., Окс Е.А.* Квазистатические штарковские профили водородных линий, уширенных плазменной турбулентностью. 1982. 65. 59–70.
81. *Галкина Т.С.* К вопросу о периодических изменениях в спектре звезды X Персея, отождествляемой с рентгеновским источником 3 *U*0352+30. II 1983. 66. 149–153.
О проведении эмиссии в спектре Гамма Кассиопеи в сентябре–ноябре 1977 г. и в сентябре–октябре 1979 г. 1981. 64. 72–80.
О спектральной переменности Be-звезды φ Персея. 1988. 80. 41–53.
Об изменении относительной интенсивности фиолетового (V) и красного (R) компонентов эмиссионной линии H_α и лучевой скорости, определенной по ним, в спектре X Персея. 1986. 75. 163–165.
Об изменении эмиссии в линиях H_α и H_β в спектрах некоторых Be-звезд: γCas, ξ Tau, 66 Oph. 1985. 72. 72–84.
Периодические изменения в спектре X Персея, отождествляемой с рентгеновским источником 3U0352+30. 1980. 61. 77–89.
Спектр симбиотической звезды CH Лебедя в 1982 г. 1985. 73. 101–110.
Спектральные наблюдения Гаммы Кассиопеи в 1985–1986 гг.
Анализ эмиссионных линий водорода H_α и H_β. 1987. 77. 115–125.
Спектральные наблюдения пекулярной звезды CH Cyg в июле–октябре 1980 г. 1983. 67. 33–41.
Спектральные наблюдения HD206267, отождествляемой с рентгеновским источником Cep X-4. 1981. 63. 86–92.
Спектрофотометрическое исследование тесной двойной системы δ Orionis. 1976. 54. 128–158.
Сравнительные спектральные характеристики трех Be-звезд: φ Персея, θ Северной Короны и X Персея. 1986. 74. 23–33.
Тесные двойные системы ранних спектральных классов как возможные кандидаты в рентгеновские источники. I. Спектральные наблюдения X Персея. 1977. 57. 45–56.
82. *Галкина Т.С., Миникулов Н.Х.* Спектральные наблюдения 112 Геркулеса (HD174933). 1985. 73. 111–121.
83. *Галкина Т.С., Шаховская Н.И., Бондарь Н.И.* Спектральные и электрофотометрические наблюдения пекулярной звезды CH Лебедя в 1980–1981 гг. 1984. 69. 19–29.
– Галкина Т.С. см. № 151.

84. *Герасимов С.А., Нешпор Ю.И., Степанян А.А.* Начальный период и возраст пульсара. 1982. 65. 163–167.
– Герасимов С.А. см. № 222.
85. *Гершберг Р.Е., Лиморенко К.Я., Проник В.И.*. Исследование вогнутых астрономических зеркал методом Гартмана. 1983. 67. 132–157.
86. *Гершберг Р.Е., Проник В.И.* Контроль вогнутых и выпуклых асферических зеркал Т-образным сферометром. 1981. 63. 171–179.
– Гершберг Р.Е. см. № 32, 36, 66, 67, 181.
87. *Гирняк М.Б., Скульский М.Ю., Шанин Г.И., Щербаков А.Г.* Изучение эмиссионной линии He I, λ 10830 Å в спектре β Лиры. 1978. 58. 75–80.
88. *Голландский О.П.* Об одном простом способе цифровой фильтрации наблюдательных данных. 1979. 60. 162–167.
– Голландский О.П. см. № 68, 250.
89. *Головатый В.В., Проник В.И., Яцык О.С.* Содержание гелия, кислорода и неона в планетарных туманностях. 1979. 59. 167–181.
90. *Гопасюк С.И.* Измерение солнечных магнитных полей вне пятен по линии разной силы. 1985. 72. 159–170.
Некоторые особенности вращения пятен. 1981. 64. 108–117.
О возможном присутствии в пятнах крутильных колебаний с периодом около 40 мин. 1985. 73. 9–14.
Об использовании в астрофизике эффекта Ханле для измерения магнитных полей. 1979. 60. 108–113.
Особенности поля скоростей в пятне. 1983. 66. 77–82.
Пространственная неоднородность проводимости и бессиловые магнитные поля. II. 1975. 53. 104–107.
Фотосферные движения газа в одиночном пятне. 1977. 57. 107–121.
91. *Гопасюк С.И., Демкина Л.Б.* Структура элементов общего магнитного поля Солнца. 1987. 76. 138–146.
92. *Гопасюк С.И., Калман Б., Романов В.А.* Эволюция активной области и ее крупномасштабных токовых структур. 1985. 72. 171–183.
93. *Гопасюк С.И., Карташова Л.Г.* О структуре магнитного поля и ее эволюции в окрестности пятен. 1981. 63. 25–45.
94. *Гопасюк С.И., Лазарева Л.Ф.* Поле скоростей и вспышечная активность в группе пятен. 1986. 74. 84–91.
95. *Гопасюк С.И., Лямова Г.В.* Крутильные колебания солнечных пятен. 1987. 77. 17–24.
96. *Гопасюк С.И., Лямова Г.В., Ханейчук В.И.* Крутильные колебания пятен и вращение подфотосферных слоев Солнца. 1988. 79. 34–40.
97. *Гопасюк С.И., Рачковский Д.Н.* Поляризация резонансно-рассеянного излучения, обусловленного внутренними источниками среды. 1983. 67. 65–77.
– Гопасюк С.И. см. № 4, 5, 14.
98. *Горбачева И.В., Горский С.М., Лебедев В.П., Любимцев В.И.* Интерференционно-фазовый метод измерения магнитных полей в атмосфере Солнца. 1977. 57. 237–241.
99. *Горкин Л.Б., Косовичев А.Г.* Пространственная структура собственных колебаний Солнца. 1988. 80. 157–174.
100. *Горский С.М., Лебедев В.П.* Интерференционно-фазовый метод измерения лучевых скоростей в атмосфере Солнца. 1977. 57. 228–236.
– Горский С.М. см. № 98.
101. *Границкий Л.В., Букач А.Б., Букач Н.И.* Расширение динамического диапазона информационно-измерительной системы 4 5-канального спектрографа. 1981. 64. 180–187.
102. *Границкий Л.В., Букач А.Б., Каплин Ю.В., Бондаренко В.П., Смирнов А.И.* Информационно-измерительная и управляющая система пятиканального звездного спектрометра. 1979. 60. 185–196.
103. *Границкий Л.В., Букач А.Б., Каплин Ю.В., Букач Н.И.* Многоканальная информационно-измерительная система. 1980. 62. 193–197.
– Границкий Л.В. см. № 59. 60.
– Гречко Г.М. см. № 54.
104. *Григорьева Н.Б.* Исследование ярких образований в спиральных ветвях галактики NGC 2903. 1976. 54. 171–175.
Многоцветная фотометрия ярких образований в галактике NGC 2403. 1979. 59. 188–194.
Многоцветная фотометрия ярких образований в галактике NGC 4003. 1980. 62. 39–43.
105. *Гринин В.П.* Интерпретация профиля линии гидроксила 1667 МГц в мазерном источнике M1-92 и проблема вращения околозвездных оболочек. 1985. 70. 139–143.
О возможном механизме отрицательных всплесков излучения вспыхивающих звезд. 1976. 55. 179–187.

О происхождении аномальных бальмеровских декрементов в спектрах эруптивных звезд. 1980. 62. 54–58.
Образование спектральных линий в оболочках звезд при наличии радиально-симметричной аккреции. 1977. 56. 3–10.
Перенос резонансного излучения в протяженных оболочках с дифференциальным вращением и расширением. Диффузионное приближение. 1976. 54. 176–183.
Физические условия в активных областях вспыхивающих звезд. 1979. 59. 154–166.
106. *Гринин В.П., Катышева Н.А.* Бальмеровский декремент в движущихся оболочках звезд. 1980. 62. 59–65.
Относительные интенсивности водородных линий в движущихся средах. 1980. 62. 66–78.
107. *Гринин В.П., Мицкевич А.С.* Образование эмиссионного спектра Ca II в движущихся оболочках звезд. 1988. 78. 28–36.
108. *Гринин В.П., Петров П.П., Шаховская Н.И.* Результаты патрульных спектральных и фотометрических наблюдений RW Aur. I. Переменность бальмеровских линий. 1985. 71. 109–126.
109. *Гринин В.П., Цымбал В.В.* Скорости релаксационных процессов и термохимическое равновесие атмосфер холодных сверхгигантов. 1982. 65. 168–179.
– Гринин В.П. см. № 43, 51.
– Губарев А.А. см. № 54.
110. *Гусейнов М.Дж.* О величине вертикального градиента напряженности магнитного поля в тени пятен. 1978. 58. 31–34.
О величине вертикального градиента напряженности магнитного поля в холодном компоненте тени солнечных пятен. 1988. 78. 170–176.
О количестве энергии сжатия магнитного поля над яркой областью в общей полутени группы пятен. 1988. 80. 106–109.
О полярности магнитного поля в светлых точках тени пятен. 1983. 68. 36–38.
О различии абсолютных значений напряженности магнитного поля в тени солнечных пятен, определяемых по спектральным линиям нейтрального ванадия и железа. 1975. 53. 66–74.
О факторе зеемановского расщепления линии Sr I λ4607,3 Å. 1987. 76. 169–171.
Об условиях равновесия полного давления пятна с давлением окружающей его фотосферы. 1983. 66. 83–88.
Распределение напряженностей магнитных полей поперек тени пятен по линиям поглощения Fe I, Zr I и Y I. 1985. 72. 184–187.
Факторы магнитного расщепления для избранных спектральных линий Солнца в диапазоне длин волн λ4400–6750 Å, вычисленные по лабораторным значениям множителей Ланде комбинирующихся термов. 1985. 70. 51–56.
111. *Гусейнов М.Дж., Русских В.И.* Сравнение распределений напряженности магнитного поля поперек тени пятен по линиям поглощения с различной чувствительностью к температуре. 1983. 68. 31–35.
– Дворяшин А.С. см. № 26, 27, 28.
112. *Дейниченко О.Н.* Исследование химического состава атмосфер красных гигантов γ And и υ^2 Cas и и сверхгигантов ε Peg. 1982. 65. 116–127.
Спектрофотометрическое исследование бариевой звезды HD 77912. 1979. 60. 56–65.
– Демидов М.Л. см. № 169.
113. *Демкин В.М., Зинченко И.И., Нестеров Н.С., Шанин В.Н.* Система автоматизации многоканальных радиоастрономических наблюдений. 1986. 74. 176–179.
– Демкина Л.Б. см. № 91.
114. *Джафарли А.М., Любимков Л.С.* Возможные причины появления широких депрессий в ультрафиолетовых спектрах *B*- и *A*-звезд. II. Околозвездные оболочки. 1988. 80. 18–29.
– Джафарли А.М. см. № 189.
115. *Дидковский Л.В.* О точности фотогидирования Башенного солнечного телескопа: измерения с помощью фотоприемной матрицы. 1986. 75. 182–188.
Управление телетайпом и рациональное использование памяти управляющего вычислительного комплекса М-6000. 1979. 60. 205–207.
Устройство для измерения колебаний яркости Солнца на основе фотоприемной интегральной матрицы. 1985. 72. 217–225.
Устройство с 1024 информационными каналами для измерения колебаний яркости Солнца. 1988. 78. 177–181.
116. *Дидковский Л.В., Кожеватов И.Е., Степанян Н.Н.* Опыт использования интегрального спектрометра на башенном солнечном телескопе БСТ-2 Крымской астрофизической обсерватории. 1986. 74. 142–157.
117. *Дидковский Л.В., Котов В.А.* Дифференциальные наблюдения осцилляций яркости фотосферы Солнца. 1987. 76. 119–137.
Наблюдения 5-минутных осцилляций яркости фотосферы Солнца. 1986. 74. 132–141.
Периодические вариации яркости Солнца: опыт наблюдений с 1024-канальной матрицей. 1988. 80. 124–129.
Пространственно-временной анализ осцилляций яркости Солнца. I. 1988. 80. 118–123.

118. *Дидковский Л.В., Котов В.А., Тарасова Т.Н.* Пятиминутные осцилляции яркости Солнца по наблюдениям с фотодиодной матрицей. 1988. 79. 184–188.
119. *Димов Н.А., Ковтуненко В.М., Легкодым А.В., Попов Г.М., Родин А.Л., Стешенко Н.В.* Структура дифракционного изображения в некоторых типах звездных интерферометров. 1988. 78. 206–222.
120. *Димов Н.А., Терез Э.И.* Аппаратура для ультрафиолетовой фотометрии звезд на ИСЗ "Космос-215". 1976. 55. 196–199.
121. *Дмитриенко Е.С.* К вопросу о переменности орбитального периода DQ Herculis. 1988. 78. 37–42.
О переменности формы кривых блеска DQ Herculis с 1954 по 1985 г. 1987. 76. 62–69.
– Дмитриенко Е.С. см. № 238.
122. *Добричев В.М.* Каталог профилей и эквивалентных ширин линии *K* Ca II в спектрах металлических звезд. 1980. 62. 34–38.
123. *Добродий О.А., Проник И.И.* Многоцветная фотометрия сверхассоциаций пекулярной пары галактик NGC 4038/39. 1979. 60. 66–79.
– Додонов С.Н. см. № 242.
– Докучаева О.Д. см. № 31.
124. *Домнин С.Л., Ефанов В.А., Корсенская Е.С., Корсенский В.А., Моисеев И.Г., Нестеров Н.С., Стрепка И.Д.* Система регистрации и обработки радиоастрономической информации в реальном масштабе времени. 1977. 57. 205–208.
125. *Домнин С.Л., Ефанов В.А., Корсенский В.А., Корсенская Е.С., Моисеев И.Г., Нестеров Н.С., Никитин П.С.* Автоматизированная система обработки радиоастрономической информации в процессе наблюдений на основе ЭВМ М-6000. 1980. 62. 198–201.
126. *Домнин С.Л., Ефанов В.А., Корсенский В.А., Моисеев И.Г., Нестеров Н.С.* Применение ЭВМ для исключения влияния нестабильности радиометров на результаты измерений. 1977. 57. 199–204.
Структура локального источника на Солнце по наблюдениям затмения при помощи РТ-22 КАО АН СССР в интегральном и циркулярно-поляризованном излучении на волне 1,35 см. 1978. 58. 35–39.
127. *Домнин С.Л., Ефанов В.А., Моисеев И.Г., Нестеров Н.С.* Активность рентгеновского источника Лебедь X-3 в 1975–1978 гг. на λ = 1,35 см. 1980. 62. 103–107.
Поведение активной области McMath 14822 на волне 13,5 см.1980. 62. 176–182.
128. *Дорошенко В.Т., Ефимов Ю.С., Теребиж В.Ю., Шаховской Н.М.* Анализ переменности блеска объекта OJ 287. 1985. 73. 143–153.
129. *Дубов Э.Е.* Дальнейшее развитие модели хромосферы и переходного слоя. 1976. 55. 27–36.
130. *Дубов Э.Е., Любимков Л.С.* Распределение радиояркости по диску Солнца. 1981. 64. 140–151.
– Елисеев В.С. см. № 59.
– Ерлексова Г.Е. см. № 250.
– Ерюшев Н.Н. см. № 6, 26, 27, 29.
131. *Ефанов В.А.* Компенсация паразитных сигналов в радиометрах. 1983. 66. 241–244.
132. *Ефанов В.А., Зинченко И.И., Кисляков А.Г., Кузнецов И.В., Моисеев И.Г., Наумов А.И.* Наблюдения источников космического радиоизлучения на волне 3,9 мм. 1975. 53. 144–149.
133. *Ефанов В.А., Кисляков А.Г., Моисеев И.Г., Нестеров Н.С., Чернышев В.И., Штейншлегер В.Б.* О радиоизлучении тепловых источников в туманностях Омега и в Орионе на волнах 3,9 и 13,5 мм. 1975. 53. 196–201.
134. *Ефанов В.А., Корсенская Е.С., Корсенский В.А.* Электронный цифровой усреднитель. 1977. 56. 133–137.
135. *Ефанов В.А., Котов В.А., Моисеев И.Г., Нестеров Н.С., Северный А.Б.* 160-минутные колебания поляризованного по кругу радиоизлучения Солнца на волне 13,5 мм. 1983. 67. 111–117.
136. *Ефанов В.А., Ламбрум Н., Моисеев И.Г., Нестеров Н.С., Стюарт Р.* Наблюдения областей повышенной яркости у полюсов Солнца на волнах 3,5; 8 и 13,5 мм. 1980. 61. 52–54.
137. *Ефанов В.А., Моисеев И.Г., Нестеров Н.С.* Высокочастотные спектры внегалактических радиоисточников. 1983. 66. 205–209.
Наблюдения внегалактических радиоисточников на волнах 8,2 и 13,5 мм. 1984. 69. 78–89.
Некоторые результаты исследований внегалактических радиоисточников в микроволновом диапазоне. 1980. 62. 108–116.
Обзор внегалактических радиоисточников на волне 1,35 см. 1979. 60. 3–13.
Плотности потоков внегалактических объектов с избытком коротковолнового радиоизлучения и их переменность на волне 1,35 см. 1977. 56. 68–74.
Плотность потоков излучения радиоисточников на волне 1,35 см. 1976. 54. 159–164.
Структура активной области на волне 1,35 см по затменным наблюдениям 15 декабря 1982 г. 1985. 71. 100–103.
138. *Ефанов В.А., Моисеев И.Г., Нестеров Н.С., Райт А.* Исследования быстрых вариаций радиоизлучения некоторых внегалактических объектов. 1980. 61. 70–76.
139. *Ефанов В.А., Моисеев И.Г., Нестеров Н.С., Тиури М., Урпо С.* Наблюдения переменных внегалак-

тических радиоисточников на волнах 8 и 13 мм на РТ-22 КАО и РТ-14 PXUT. 1983. 68. 104–107.
Наблюдения радиоисточников на РТ-22 КАО и РТ-14 PXUT в миллиметровом диапазоне волн. 1981. 64. 103–107.

140. *Ефанов В.А., Моисеев И.Г., Нестеров Н.С., Шаховской Н.М.* О переменности ЗС 273, OJ 287 и PKS 0735 + 17 в радио- и оптическом излучении. 1981. 64. 91–97.

141. *Ефанов В.А., Моисеев И.Г., Северный А.Б.* Прохождение Меркурия по диску Солнца 9 мая 1970 года и колебания радиоизлучения на волне 8 мм. 1975. 53, 121–129.

– Ефанов В.А. см. № 14, 70, 124, 125, 126, 127.

142. *Ефимов Ю.С.* Поляризационные наблюдения белых карликов. 1981. 63. 118–139.
Поляризационные наблюдения R Северной Короны во время ее минимума в 1977 г. 1980. 62. 17–26.
Поляризация излучения R Cr B. 1980. 61. 110–119.

143. *Ефимов Ю.С., Шаховской Н.М.* Поляризационные и фотометрические наблюдения поляра AM Her. 1982. 65. 143–154.
Поляризационные наблюдения поляра AN UMA. 1981. 64, 55–66.
Поляризационные наблюдения MV Lyr. 1980. 61. 120–123.

– Ефимов Ю.С. см. № 32, 128, 289.

144. *Жилин В.М.* О точности фундаментальной квазимонохроматической электрофотометрии звезд. 1977. 57. 82–86.

– Жилин В.М. см. № 33.

145. *Зайцева Г.В., Тарасов А.Е., Щербаков А.Г.* О переменности эмиссии H_α в максимуме блеска WW Vul. 1985. 72. 85–88.

– Залалетдинова Н.Г. см. № 190.

146. *Зверева А.М.* Звездная составляющая в ультрафиолетовом излучении фона неба. 1983. 68. 133–140.
Метод определения яркости фона неба по данным эксперимента "Галактика". 1980. 62. 27–33.
О возможных звездных энергетических стандартах в ультрафиолетовой области спектра λ1000–3500 Å. 1978. 58. 89–103.
Солнце как возможный энергетический стандарт в ультрафиолетовой области спектра λ3000 Å. 1980. 61. 26–33.

147. *Зверева А.М., Северный А.Б., Терез Э.И.* Результаты исследования яркости лунного неба, полученные с помощью астрофотометра АФ-ЗЛ, установленного на "Луноходе-2". 1975. 53. 3–28.

148. *Зверева А.М., Ээрме К.А.* Результаты ультрафиолетовой фотометрии звезд на ИСЗ "Космос-215". 1976. 55. 200–207.

– Зверева А.М. см. № 43.

– Зинченко И.И. см. № 113.

149. *Зыскин Ю.Л.* О влиянии геометрических характеристик светоприемников гамма-телескопов на регистрируемые угловые размеры черенковских вспышек. 1987. 77. 179–189.
Угловое распределение черенковского излучения ШАЛ от первичных протонов с энергией 10^{12} эВ: сопоставление результатов расчета с экспериментальными данными. 1988. 78. 192–200.

150. *Зыскин Ю.Л., Муканов Дж.Б.* Периодичность гамма-излучения от источника 2CG 195 + 4. 1984. 69. 67–70.

– Зыскин Ю.Л. см. № 77, 221, 222, 223.

151. *Иванова З.К., Галкина Т.С.* Эмиссионные линии водорода в спектре гамма Кассиопеи в 1979–1980 гг. 1984. 69. 34–39.

152. *Иванова З.К., Ковачев Б.Ж.* Спектроскопическое исследование сверхгиганта ρ Льва (B1-1 b). 1985. 71. 153–159.

153. *Иванова З.К., Любимков Л.С.* Исследование атмосферы сверхгиганта σ Cyg (B9-1ab). 1988. 79. 49–56.

154. *Ильин И.В.* Вычислительный алгоритм для исследования вогнутых астрономических зеркал методом Гартмана. 1985. 73. 176–188.

– Ильин И.В. см. № 61.

155. *Иоаннисиани Б.К., Тамбовский Г.А., Коншин В.М.* 2,6-метровый зеркальный телескоп им. акад. Г.А. Шайна. 1976. 55. 208–223.

156. *Иргашев Дж.И.* Некоторые особенности поля скоростей в активных областях. 1976. 54. 233–240.
О связи движений с магнитными полями в активных областях. 1976. 55. 51–59.

157. *Калман Б.* Магнитные поля и собственные движения солнечных пятен. I. 1976. 55. 60–69.
Магнитные поля и собственные движения солнечных пятен. II. Группа № 420, октябрь 1968 г. 1977. 57. 122–132.
Связь структуры полутени солнечных пятен с вектором магнитного поля. 1979. 60. 114–127.

– Калман Б. см. № 92.

– Каплин Ю.В. см. № 102, 103.

158. *Карташова Л.Г.* Волокна, не связанные с пятнами, и структура хромосферы вокруг них. 1979. 59. 73–90.
О морфологии тонкой структуры активной области в свете H_α. 1985. 71. 68–78.

О спектральных наблюдениях тонкой структуры хромосферы в активной области. 1985. 73. 70–74.
О структуре хромосферной сетки в окрестностях развитых групп пятен. 1980. 61. 34–36.
О характере активизации флоккулов накануне и во время вспышки. 1983. 68. 15–24.
О характере активизации хромосферных волоконец в связи со вспышками. 1987. 77. 32–38.
Перестройка хромосферной сетки в окрестностях развивающейся группы пятен. 1977. 56. 84–99.
Рождение и развитие активной области и хромосферная сетка. 1975. 53. 108–115.
Характерные изменения со временем в структуре ряда хромосферных образований. 1986. 74. 101–111.

159. *Карташова Л.Г., Кожеватов И.Е., Куликова Е.Х., Огирь М.Б., Степанян Н.Н.* Фотосферные лучевые скорости и тонкая структура H_α-хромосферы в развивающейся активной области СД № 135. 1987. 76. 110–118.
– Карташова Л.Г. см. № 15, 93.
– Касинский В.В. см. № 170.
– Катышева Н.А. см. № 106.
– Килячков Н.Н. см. № 51.
– Киппер М.А. см. № 49.
– Кисляков А.Г. см. № 132, 133.
– Климук П.И. см. № 54.
– Кльваня М. см. № 253.

160. *Коваль А.Н.* Контуры линий *H* и *K* ионизованного кальция в полосках непрерывной эмиссии. 1980. 61. 20–25.
О характере асимметрии эмиссионных линий в некоторых лимбовых вспышках. 1976. 55. 42–48.
Об измерении магнитных полей в протуберанцах и вспышках фотографическим методом. 1977. 57. 133–143.
Распределение энергии в непрерывном спектре вспышек, усов и ядер эмиссии. 1979. 59. 64–72.

161. *Коваль А.Н., Окс Е.А.* Некоторые результаты поиска низкочастотной плазменной турбулентности в мощных хромосферных вспышках. 1983. 67. 90–101.

162. *Коваль А.Н., Степанян Н.Н.* Изменение магнитных полей солнечных пятен в связи со вспышками. 1983. 68. 3–14.
– Коваль А.Н. см. № 16, 19.
– Ковачев Б.Ж. см. № 152.
– Ковтуненко В.М. см. № 119.
– Кожеватов И.Е. см. № 116, 159.
– Комиссаров В.Н. см. № 59, 60.
– Кононович Э.В. см. № 173.
– Коншин В.М. см. № 155.
– Корогод В.В. см. № 209.

163. *Коротин С.А., Краснобабцев В.И.* Исследование фотосферного спектра Т Тельца. 1986. 75. 166–174.
Распределение вспышек звезд типа UV Кита в рассеянных скоплениях и в окрестностях Солнца по энергиям оптического излучения. 1985. 73. 131–142.
– Корсенская Е.С. см. № 124, 125, 134.
– Корсенский В.А. см. № 124, 126, 134.

164. *Косовичев А.Г.* Метод математической обработки наблюдений солнечных осцилляций с фотодиодной матрицей. 1986. 75. 22–32.
Нелинейные эффекты акустических колебаний на Солнце. 1987. 76. 179–185.
О влиянии гравитационного излучения на 160-мин пульсации Солнца. 1985. 73. 15–25.
О возможном влиянии фонового гравитационного излучения с периодом 160 мин на Солнце и тесные двойные системы. 1986. 75. 33–39.
О методе численного расчета нелинейных радиальных пульсаций звезд. 1984. 69. 108–123.
Определение внутреннего вращения Солнца по расщеплению частот акустических мод колебаний. 1988. 80. 175–187.
Решение обратной задачи гелиосейсмологии на основе наблюдений собственных гравитационных колебаний Солнца. 1986. 75. 40–46.
Численное моделирование тепловых и газодинамических процессов в импульсной фазе солнечных вспышек. 1986. 75. 8–21.

165. *Косовичев А.Г., Попов Ю.П.* К вопросу о квазипериодических колебаниях в атмосфере Солнца. 1981. 63. 15–24.

166. *Косовичев А.Г., Северный А.Б.* Влияние химического состава на устойчивость собственных гравитационных колебаний Солнца. 1985. 72. 188–198.
О возбуждении пульсаций звезд при их взаимных сближениях. 1985. 70. 14–37.
– Косовичев А.Г. см. № 11, 40, 99, 170.

167. *Котов В.А.* Вращение вещества в солнечном пятне. 1976. 54. 184–200.

Вращение Солнца и вращение его общего магнитного поля. 1987. 77. 39–50.
Осцилляция Солнца и вращение тесных двойных систем в Галактике: период 160 минут.
Период колебаний звезд типа Дельта Щита, близкий к 160 минутам. 1987. 76. 10–20.
Период 160 минут звезд RR Lyr в шаровых скоплениях и сильно проэволюционировавших тесных двойных систем. 1986. 75. 113–119.
Распределение скоростей осевого вращения в солнечной системе и 160-минутные осцилляции Солнца. 1986. 75. 90–112.

168. *Котов В.А., Владимирский Б.М.* Частота 10 Гц в распределении радиопульсаров по периодам. 1987. 76. 93–97.
169. *Котов В.А., Демидов М.Л.* Магнитное поле Солнца как звезды, 1969–1976 гг. 1980. 61. 3–11.
170. *Котов В.А., Касинский В.В., Левицкий Л.С., Фомин В.П.* Поиск 160-мин периода в последовательностях рентгеновских всплесков и хромосферных вспышек Солнца. 1985. 73. 43–52.
171. *Котов В.А., Косовичев А.Г.* О возможности быстрого вращения солнечного ядра. 1987. 77. 72–78.
172. *Котов В.А., Кучми С.* О возможной связи закона планетных расстояний с явлением 160-минутной пульсации Солнца. 1985. 72. 199–207.
Период 160 минут в Солнечной системе: пульсация Солнца и собственное вращение планет и астероидов. 1985. 70. 38–45.
173. *Котов В.А., Кучми С., Кононович Э.В., Рыжикова Н.Н., Цап Т.Т.* Глобальные осцилляции Солнца по наблюдениям (относительных) флуктуаций яркости фотосферы в ближней инфракрасной области спектра. 1985. 73. 26–42.
174. *Котов В.А., Левицкий Л.С.* Вариации межпланетного и солнечного магнитных полей. 1983. 66 110–118.
Дискретность периодов вращения солнечного и межпланетного магнитных полей. 1983. 68. 56–67.
К проблеме разбаланса общего магнитного поля Солнца: аномальный характер межпланетного магнитного поля в 1970–1981 гг. 1985. 71. 32–53.
Модуляция вспышечной активности Солнца с периодом 160 мин. 1986. 75. 59–66.
Период 160 минут, внутреннее вращение и 11-летний цикл Солнца: свидетельство взаимосвязи. 1987. 77. 51–71.
Периодические изменения общего магнитного поля Солнца. 1984. 69. 90–99.
175. *Котов В.А., Левицкий Л.С., Степанян Н.Н.* Годичная вариация общего магнитного поля Солнца. 1981. 63. 3–14.
176. *Котов В.А., Лютый В.М.* Осцилляции компактных внегалактических объектов с периодом 160,01 мин и возможные космологические следствия. 1988. 79. 139–156.
Период 160 минут во внегалактических объектах: БМО (звезды типа RR Lyr) и NGC 4151. 1987. 77. 148–156.
Фотометрия сейфертовской галактики NGC 4151 и квазара ЗС 273: период 160,010 минут. 1988. 78. 89–111.
177. *Котов В.А., Северный А.Б., Цап Т.Т.* Исследование глобальных колебаний Солнца: I. Метод и инструмент. 1982. 65. 3–34.
Исследование глобальных колебаний Солнца. II. Результаты наблюдений в 1974–1980 гг., их анализ и некоторые выводы. 1983. 66. 3–70.
160-минутные колебания Солнца: наблюдения 1974–1986 гг. 1988. 79. 3–10.
178. *Котов В.А., Степанян Н.Н.* Некоторые характеристики крупномасштабных магнитных полей на Солнце. 1980. 61. 117–124.
179. *Котов В.А., Степанян Н.Н., Щербакова З.А.* Роль фонового магнитного поля и полей активных областей и пятен в общем магнитном поле Солнца. 1977. 56. 75–83.
– Котов В.А., см. № 14, 117, 118, 135.
180. *Краснобабцев В.И.* Анализ спектров звезд типа Т Тельца: AS 353, DI Cep и RY TAu. 1982. 65. 100–115.
Спектрофотометрическое изучение AS 353 – звезды типа Т Тельца. 1981. 63. 93–103.
181. *Краснобабцев В.И., Гершберг Р.Е.* Распределение вспышек красных карликовых звезд по энергиям оптического излучения. 1975. 53. 154–164.
– Краснобабцев В.И. см. № 32, 163.
– Крюгер А. см. № 272.
182. *Кувшинов В.М., Плачинда С.И.* Исследование быстрой спектральной переменности Ар-звезд 53 Cam, 41 Tau и βCrB по линиям *K* Ca II и H_δ. 1982. 65. 128–142.
О переменности потоков в линиях *K* Ca II и H_γ у Ар-звезд 53 Cam, 41 Tau, βCrB и α^2 CVn. 1983. 66. 154–161.
Фотоэлектрические исследования временных изменений линий λ 4254, 35 Å (CrI) в спектре Ар-звезды α^2 CVn. 1981. 64. 25–36.
– Кувшинов В.М. см. № 60.
183. *Кузнецов В.В., Попов Г.М., Проник В.И.* Двухлинзовый легкоюстируемый компенсатор для контроля вогнутых астрономических зеркал. 1985. 72. 231–238.
– Кузнецов И.В. см. № 132.

184. *Куйттинен К., Холсти Н., Урпо С.* Испытание с помощью компьютера следящей системы и исполнительных механизмов радиотелескопа в Метсахови. 1988. 79. 178–183.
– Куликова Е.Х. см. № 159.
– Кучера А. см. № 20.
– Кучми С. см. № 172, 173.
– Лаба И.С. см. № 278.
– Ламбрум Н. см. № 136.
185. *Лагутин А.Ф.* Многоканальный сканирующий спектрофотометр. 1980. 60. 179–185.
– Лазарева Л.Ф. см. № 94.
– Лебедев В.П. см. № 98, 100.
186. *Левицкий Л.С.* Некоторые характеристики радиоизлучения Юпитера в декаметровом диапазоне волн и их вариации со временем. 1977. 57. 177–188.
Распределение хромосферных вспышек относительно секторных границ межпланетного магнитного поля, экстраполированных на Солнце. 1980. 62. 148–153.
Экваториальная зона избегания приходов космических лучей от Солнца на спаде цикла солнечной активности в 1970–1974 гг. 1979. 60. 157–161.
187. *Левицкий Л.С., Владимирский Б.М.* Влияние секторной структуры межпланетного магнитного поля на декаметровое радиоизлучение Юпитера. 1979. 59. 104–110.
– Левицкий Л.С. см. № 78, 174, 175, 178.
– Легкодым А.В. см. № 119.
– Лехто А. см. № 70, 259.
– Лиманский Л.Г. см. № 55.
– Лиморенко К.Я. см. № 85.
– Ловкая М.Н. см. № 284.
188. *Любимков Л.С.* Глубина образования линий поглощения в звездных атмосферах. 1976. 55. 164–178.
Глубина формирования некоторых линий, используемых для записи солнечных магнитных полей. 1976. 54. 248–264.
Глубины образования спектральных линий и метод кривых роста. 1977. 57. 87–98.
Модель атмосферы и химический состав Ар-звезды 73 Dra. 1986. 75. 155–162.
О вычислении синтетических спектров звезд и Солнца. 1986. 74. 3–13.
Применение моделей атмосфер при исследовании звезд классов B–G. 1980. 62. 44–53.
Содержание гелия в атмосферах звезд, входящих в О-ассоциации и молодые скопления. 1976. 55. 112–126.
189. *Любимков Л.С., Джафарли А.М.* Возможные причины появления широких депрессий в ультрафиолетовых спектрах B- и A-звезд. I. Аномалии химического состава звездных атмосфер. 1988. 78. 3–13.
190. *Любимков Л.С., Залалетдинова Н.Г.* О содержании ртути на Солнце. 1987. 76. 102–109.
191. *Любимков Л.С., Полосухина Н.С.* Исследование атмосферы ртутно-марганцевой звезды α And. 1988. 80. 30–40.
192. *Любимков Л.С., Рачковская Т.М.* Атмосферы пульсирующих переменных типа δ Sct. I. Анализ спектров 20 CVn и δ Del. 1985. 71. 127–143.
Атмосферы пульсирующих переменных типа δ Sct. II. Анализ спектров звезд 44 Tau и V 644 Her. 1985. 72. 89–98.
Атмосферы пульсирующих переменных типа δ Sct. III. Анализ спектра звезды 28 And. 1985. 73. 82–91.
Атмосферы пульсирующих переменных типа δ Sct. IV. Содержание тория в звездах 20 CVn-28 And, V 644 Her и δ Del. 1986. 74. 14–18.
193. *Любимков Л.С., Саванов И.С.* Атмосфера Am-звезды 15 Vul. 1984. 69. 50–58.
Исследование Am-звезды 16 Ori методом моделей атмосфер. 1983. 68. 121–132.
Исследование Am-звезды 68 Tau методом моделей атмосфер. 1983. 67. 3–12.
194. *Любимков Л.С., Самедов З.А.* Исследование атмосферы сверхгиганта δ CMa (F8 Ia) и определение его эволюционных параметров. 1985. 72. 99–105.
Исследование химического состава и других параметров звезды как двойной системы. 1987. 77. 97–114.
– Любимков Л.С. см. № 45, 114, 130, 153.
– Любимцев В.И. см. № 98.
– Лютый В.М. см. № 176.
– Лямова Г.В. см. № 95, 96.
– Ляцкая А.М. см. № 38.
– Майер В.А. см. № 3.
195. *Маланушенко В.П., Щербаков А.Г.* Результаты изучения спектров Be-звезд в ближней инфракрасной области. 1979. 60. 37–48.
196. *Маланушенко В.П., Щербаков А.Г., Шутеев В.И.* Микрофотометр интенсивностей на базе микро-ЭВМ "Искра-1256". 1985. 72. 226–230.

– Маланушенко В.П. см. № 63, 243.
– Маллат Й. см. № 259.

197. *Медведев В.Г., Павленко Е.П., Прокофьева В.В.* Слабые вторичные стандарты в фотометрической системе R в рассеянном скоплении NGC 188. 1985. 73. 122–130.

198. *Меркулова Н.И.* Опыт фотоэлектрических наблюдений спектральной переменности ядер сейфертовских галактик на телескопе АЗТ-11. 1986. 75. 175–181.
Результаты наблюдения ядра сейфертовской галактики NGC 4151 на телескопе АЗТ-11 в 1982–1986 гг. 1988. 78. 82–88.

199. *Меркулова Н.И., Проник И.И.* Опыт наблюдений быстрых колебаний эмиссионного спектра ядра пекулярной галактики NGC 1275. 1983. 68. 93–103.
Опыт наблюдений быстрых колебаний эмиссионного спектра ядра пекулярной галактики NGC 1275. II. 1985. 71. 160–173.
Результаты фотоэлектрических наблюдений непрерывного и линейчатого спектра ядра галактики NGC 1275 на телескопе АЗТ-11. 1987. 77. 135–143.

200. *Меркулова Н.И., Метик Л.П., Проник И.И.* Наблюдения переменности эмиссионных линий H_β и [O III] λ 4959 + 5007 Å в спектре ядра галактики NGC 1275 на телескопе АЗТ-11 в 1982–1987 гг. 1988. 79. 133–138.
Опыт фотоэлектрических наблюдений спектральной переменности ядер сейфертовских галактик на телескопе АЗТ-11. II. Ошибки измеряемых потоков излучения, связанные с положением галактики NGC 1275 в диафрагме. 1987. 77. 144–147.

201. *Метик Л.П.* Многоцветная фотометрия галактики Маркарян 40. 1980. 61. 145–149.
Многоцветная фотометрия галактики Маркарян 141 – компонента двойной системы. 1981. 64. 98–102.

202. *Метик Л.П., Прокофьева В.В.* Телевизионные фотометрические наблюдения десяти внегалактических пекулярных объектов. 1981. 63, 140–145.

203. *Метик Л.П., Проник И.И.* Многоцветная фотометрия галактики Маркарян 279. 1979. 59. 182–187.
Многоцветная фотометрия галактики Маркарян 298 IC 1182–4. 1977. 56. 52–57.
Многоцветная фотометрия и морфология сейфертовских галактик Маркарян 290 и NGC 1275. 1976. 55. 188–195.
Спектрофотометрическое исследование околоядерной области сейфертовской галактики NGC 1275. 1987. 76. 80–85.
Спектрофотометрическое исследование околоядерной области сейфертовской галактики NGC 1275. II. 1988. 78. 74–79.
Спектрофотометрическое исследование околоядерной области сейфертовской галактики NGC 1275. III. 1988. 80. 76–82.
– Метик Л.П. см. № 200.

204. *Миникулов Н.Х.* Теоретические двухцветные диаграммы в широкополосной системе *UBV* RIJ HKLM для различных источников излучения. 1987. 76. 43–50.

205. *Миникулов Н.Х., Тарасов А.Е.* Переменность Be-звезды EM Цефея I. Результаты поляриметрических наблюдений в 1985–1986 гг. 1988. 79. 95–102.
– Миникулов Н.Х. см. № 34, 82.

206. *Мицкевич А.С.* Радиационные потери водородного газа в движущихся средах с преобладающим ударным механизмом возбуждения и ионизации атомов. 1986. 75. 142–148.
– Мицкевич А.С. см. № 107.

207. *Моисеев И.Г.* О поляризованном по кругу излучении над биполярными группами пятен на волне 1,35 см. 1977. 56. 100–104.

208. *Моисеев И.Г., Нестеров Н.С.* Калибровочные радиоисточники в миллиметровом диапазоне волн. 1985. 73. 154–164.
Корональные источники миллиметровых волн. 1986. 74. 112–116.
О повышенной радиояркости полярных областей Солнца. 1987. 77. 83–89.

209. *Моисеев И.Г., Нестеров Н.С., Ефанов С.В., Струков И.А., Корогод В.В., Скулачев Д.П.* Наблюдения на волне 8,2 мм с высокой чувствительностью полной выборки внегалактических радиоисточников. 1988. 78. 112–121.

210. *Моисеев И.Г., Нестеров Н.С., Никитин П.С., Стежка П.Н.* Система сбора и обработки радиоастрономических данных. 1986. 74. 171–175.

211. *Моисеев И.Г., Нестеров Н.С., Северный А.Б.* О переменности радиоизлучения и параметрах ядра квазара 3C 273. 1987. 76. 90–92.

212. *Моисеев И.Г., Патсон Г.Е., Соломон Л.Х., Товмасян Г.М., Хигинс Ц.С., Чугайнов П.Ф.* Радио- и оптические наблюдения некоторых вспыхивающих звезд. 1975. 53. 150–153.
– Моисеев И.Г. см. № 14, 70, 73, 124, 125, 126, 127, 132, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 272.

213. *Муканов Дж.Б.* Наблюдения гамма-излучения в области 10^{12} эВ от рентгеновского источника Cyg X-3 на Тянь-Шаньской установке в течение 1977 и 1978 гг. 1981. 63. 151–156.
Результаты наблюдений гамма-излучения сверхвысокой энергии от Крабовидной туманности, проведенных на Тянь-Шане в течение 1979–1981 гг. 1983. 67. 55–58.

214. *Муканов Дж.Б., Фомин В.П.* Результаты наблюдений галактического диска в области сверхвысоких энергий на Тянь-Шаньской высокогорной станции. 1984. 69. 64–66.
215. *Муканов Дж.Б., Нестерова Н.М., Степанян А.А., Фомин В.П.* Результаты наблюдений рентгеновского источника Cyg X-3 в энергетической области > 10^{12} эВ на Тянь-Шаньской установке для регистрации черенковских вспышек. ШАЛ. 1980. 62. 98–102.
– Муканов Дж.Б. см. № 150.
216. *Мухаметшина В.Н.* Корреляция оптической и радиопеременности ядра сейфертовской галактики NGC 1275. 1987. 76. 86–89.
217. *Назарова Л.С.* Горячие пятна в центральных областях галактик. II NGC 4314, NGC 4321. 1979. 59. 195–205.
– Насибова Ч.М., см. № 255.
– Наумов А.И. см. № 132.
– Неизвестный С.И. см. № 36.
218. *Нестеров Н.С.* Колебания яркости Солнца на миллиметровых волнах с периодом 160 минут. 1985. 71. 104–108.
Наблюдения излучения от некоторых звезд на миллиметровых волнах 1984. 69. 71–77.
Систематические ошибки наведения 22-м радиотелескопа. 1985. 73. 189–198.
Спектр мощности колебаний радиоизлучения и активные широтные зоны Солнца. 1986. 75. 67–76.
219. *Нестеров Н.С., Юровский Ю.Ф.* Пульсация радиоизлучения Солнца как звезды на волне 10 см с периодом 160 мин. 1985. 73. 75–81.
– Нестеров Н.С. см. № 14, 70, 113, 124, 125, 126, 127, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 208, 209, 210, 211.
– Нефедьев В.П. см. № 27.
220. *Нешпор Ю.И.* К вопросу о радиоизлучении рентгеновского источника Cyg X-3. 1980. 61. 67–69.
О магнитном поле пульсаров. 1985. 72. 131–134.
Период 34 дня в радиоизлучении источника Cyg X-3. 1983. 68. 118–120.
221. *Нешпор Ю.И., Зыскин Ю.Л.* Долгопериодические вариации γ-излучения в двойных рентгеновских системах 1988. 78. 122–125.
К вопросу об изменении периода 4,8 ч источника Cyg X-3. 1981. 63. 157–160.
222. *Нешпор Ю.И., Зыскин Ю.Л., Владимирский Б.М., Герасимов С.А., Степанян А.А., Фомин В.П.* Периодическая составляющая гамма-излучения источника Cyg X-3. 1980. 61. 61–66.
223. *Нешпор Ю.И., Зыскин Ю.Л., Владимирский Б.М., Степанян А.А., Фомин В.П.* Переменность Cyg X-3 в диапазоне гамма-квантов сверхвысокой энергии. 1984. 69. 59–63.
– Нешпор Ю.И. см. № 77, 75, 84, 266, 275.
– Никитин П.С. см. № 125, 210.
– Николаев Н.Я. см. № 300.
224. *Николаев П.В., Сабинин Ю.А., Тюкин В.Н.* Дискретный фотогид переменной добротности. 1977. 56. 138–141.
225. *Никонов В.Б.* О некоторых проблемах фундаментальной фотоэлектрической астрофотометрии. 1976. 54. 3–23.
226. *Никонов В.Б., Бондарь Н.И., Букач А.В.* Быстрые изменения атмосферной экстинкции. I . Одновременные наблюдения изменений атмосферной прозрачности в четырех длинах волн. 1988. 79. 111–121.
227. *Никонов В.Б., Бурнашев В.И.* Сопоставление свойств близких фотометрических систем и учет атмосферной экстинкции при гетерохромной фотометрии звезд. 1983. 66. 210–217.
228. *Никонов В.Б., Терез Г.А.* Сводные данные о распределении энергии в спектрах звезд ранних спектральных классов, приведенные к системе Ока-Шилда. 1976. 54. 35–41.
– Никонов В.Б. см. № 64.
– Носкова Р.И. см. № 31.
229. *Огирь М.Б.* К вопросу о временных группировках вспышек на Солнце. 1986. 74. 92–100.
К вопросу о связи между активными областями на Солнце. 1981. 64. 118–126.
Некоторые характеристики развивающихся групп пятен. 1975. 53. 82–94.
О расположении пятен относительно секторной структуры межпланетного магнитного поля. 1978. 58. 26–30.
О связи арочных волокон со вспышками. 1983. 66. 102–109.
О связи между изменениями яркости водородных флоккулов в активных областях на Солнце. 1980. 62. 131–141.
230. *Огирь М.Б., Цап Т.Т.* Структура магнитного поля и вспышечная активность в области McMath 9740 (октябрь 1968 г.). 1981. 63. 46–65.
231. *Огирь М.Б., Юровская Л.И.* Структура магнитного поля активных областей и шумовые бури. 1976. 54. 201–219.
– Огирь М.Б. см. № 5, 7, 159.
– Ограпишвили Н.Б. см. № 21.

232. *Окнянский В.Л., Чуваев К.К., Шаховской Н.М.* Опыт параллельных фотоэлектрических и фотографических спектральных наблюдений корональной линии [FeX] в ядре галактики NGC 4151 на телескопах АЗТ-11 и ЗТШ. 1988. 78. 80–81.
– Окс Е.А. см. № 80, 161.
233. *Павленко Е.П.* Телевизионная фотометрия Новой Лебедя 1975 (V 1500 Cyg) в 1979–1980 гг. 1983. 67. 50–54.
Телевизионная фотометрия Новой Лебедя 1975 г. (V 1500 Cyg) в 1982–1986 гг. 1988. 79. 103–110.
234. *Павленко Е.П., Прокофьева В.В.* Фотометрические исследования короткопериодической переменной блеска Новой Лебедя 1975 (V 1500 Cyg) в континууме. 1981. 64. 67–71.
– Павленко Е.П. см. № 2, 3, 197.
– Патсон Г.Е. см. № 212.
– Пелтонен Й. см. № 259.
235. *Петров П.П.* Многоцветная телевизионная фотометрия звезд типа Т Тельца. Методика наблюдений и предварительные результаты. 1976. 54. 42–68.
Многоцветная телевизионная фотометрия звезд типа Т Тельца. II. Характер переменности звезд типа Т Тельца. 1976. 54. 69–84.
236. *Петров П.П., Чуганов П.Ф., Щербаков А.Г.* Наблюдения линий H_β и He II λ 4686 в спектрах вспышек звезд типа UV Cet. 1984. 69. 3–18.
– Петров П.П. см. № 32, 108.
– Пиирола В. см. № 32.
– Плахотниченко В.Л. см. № 36.
237. *Плачинда С.И.* Измерения магнитного поля β CrB по линии 4254, 33 CrI. 1986. 74. 47–48.
Результаты измерения магнитного поля пятен с избытком содержания хрома у β CrB по линии λ 4254, 33 Å CrB.
238. *Плачинда С.И., Дмитриенко Е.С., Северный А.Б.* γ Cyg – периодическая магнитопеременная звезда? 1984. 69. 42–49.
239. *Плачинда С.И., Ченцов Е.Л.* Пульсации сверхгиганта γ Cyg с восьмидневным периодом изменения магнитного поля. 1985. 72. 120–124.
240. *Плачинда С.И., Щербаков А.Г.* Спектроскопические исследования классической цефеиды ξ Gem в видимой и ближней инфракрасной областях. 1979. 60. 49–55.
– Плачинда С.И. см. № 182.
– Погребной Б.М. см. № 73.
241. *Полосухина Н.С.* Некоторые спектральные особенности магнитно-переменной звезды β Cr B. 1976. 54. 120–127.
242. *Полосухина Н.С., Додонов С.Н.* Анализ спектральной переменности Ар-звезды 73 Dr a. I часть. 1977. 57. 19–30.
243. *Полосухина Н.С., Чуваев К.К, Маланушенко В.П.* О быстрой переменности спектра магнитной звезды 53 Cam. 1981. 64. 37–50.
– Полосухина Н.С. см. № 65, 191.
244. *Попов Г.М.* Апланатические системы из двух зеркал со сферическим главным зеркалом. 1988. 79. 189–194.
Двухзеркальные сигматические системы с известной фигурой одного из зеркал. 1980. 62. 183–188.
Использование свойств псевдоэквивалентных систем при расчетах астрономической оптики. 1975. 53. 227–239.
Концентрические системы с исправленной сферохроматической аберрацией для светосильных спектрографов. 1976. 55. 242–247.
Метод вычисления профиля поверхности, точно исправляющей сферическую аберрацию на оси в центрированной оптической системе. 1981. 63. 180–188.
Новые астрономические объективы-апохроматы. 1982. 65. 184–190.
Полевые аберрации концентрических оптических систем. 1978. 58. 113–119.
Светосильная зеркально-линзовая система для наблюдений в ультрафиолете. 1983. 66. 245–250.
Система Ричи–Кретьена с предфокальным ахроматическим мениском для широкой области спектра. 1986. 74. 161–170.
Тонкие объективы из трех линз с уменьшенным вторичным спектром. 1977. 56. 123–128.
Универсальный компенсатор Оффнера. 1980. 61. 168–172.
Эквивалентные концентрические системы. 1976. 54. 289–314.
245. *Попов Г.М., Попов Е.Г.* Лазерные интерферометры для контроля астрономической оптики. 1985. 70. 163–167.
Оптические системы лазерных неравноплечих интерферометров для контроля астрономической оптики. 1984. 69. 133–138.

Атмосферы пульсирующих переменных типа δ Sct. VII. Анализ спектра звезды 14 Aur. 1988. 78. 22–27.
Кривая блеска и спектр EM Cep. 1976. 55. 100–111,
Наблюдение оболочки у EM Cep. 1976. 56. 11–15.
О пекулярностях в спектре затменно-двойной звезды AR Aur. 1985. 70. 134–138.
Результаты исследования спектров восьми пульсирующих переменных типа δ Sct. 1988. 80. 3–17.
Спектральное изучение затменной двойной V 822 Aql. 1981. 64. 81–90.
Спектрофотометрическое изучение затменной двойной AN And. 1979. 59. 143–153.
Спектрофотометрическое исследование затменно-переменной системы V 599 Aql. 1978. 58. 56–63.
Фотоэлектрические наблюдения EM Cep в 1971–1972 годах. 1975. 53. 168–186.

255. *Рачковская Т.М., Насибова Ч.М.* Спектрофотометрическое изучение звезды ξ Tau по наблюдениям 1983–1984 гг. I . О переменности спектра. 1986. 74. 34–41.
– Рачковская Т.М. см. № 192.

256. *Рачковский Д.Н.* Влияние скважности данных на поиск периодичности при длительных рядах наблюдений. 1980. 61.12–19.
Вычисление интегропоказательной функции с повышенной точностью. 1982. 65. 180–183.
Исследование распределения магнитного поля с глубиной в невозмущенной атмосфере Солнца. 1987. 76. 172–178.
Исследования влияния квазипериодичности на значимость результатов обработки астрономических данных по методу наложения эпох. 1985. 71. 25–31.
К вопросу о структуре магнитного поля в спокойной области Солнца. 1988. 79. 41–45.
Рэлеевское рассеяние в плоскопараллельной среде. 1983. 67. 78–83.
Численный алгоритм решения уравнений переноса излучения в магнитном поле. 1986. 74. 158–161.

257. *Рачковский Д.Н., Цап Т.Т.* Изучение магнитных полей методом отношения измеренных напряженностей в линиях вне активных областей на Солнце. 1985. 71. 79–86.

258. *Рачковский Д.Н., Абраменко В.И., Цветков Л.И.* Расчет поляризационных характеристик систем символьным методом. 1981. 63. 189–196.
– Рачковский Д.Н. см. № 8, 97.
– Репин В.Н. см. № 76.
– Родин А.Л. см. № 119.
– Романов В.А. см. № 92.
– Русских В.И. см. № 111.
– Рыжикова Н.Н. см. № 173.

259. *Ряйсянен А., Пелтонен Й., Лехто А., Толмунен Т., Туовинен Й., Маллат Й.* Разработка приемника миллиметрового диапазона и его элементов в Хельсинском университете технологии. 1988. 79. 172–177.
– Сабинин Ю.А. см. № 224.

260. *Саванов И.С.* Исследование горячей Am-звезды 43 Peg методом моделей атмосфер. 1985. 71. 144–152.
Исследование трех звезд спектрального класса A методом моделей атмосфер. 1985. 73. 92–100.
Количественный анализ атмосфер двух "металлических" звезд. 1966. 66. 139–148.
Химический состав атмосферы "металлической" звезды Сириус. 1987. 76. 37–39.

261. *Саванов И.С., Халилов А.М.* Исследование α Lyr и γ Gem методом моделей атмосфер. 1985. 72. 106–119.
– Саванов И.С. см. № 32, 46, 50, 193.
– Салонен Е. см. № 70.

262. *Самедов З.А.* О природе визуально-двойной системы ν Car и химическом составе ее яркого компонента. 1988. 79. 57–62.
– Самедов З.А. см. № 194.
– Севастьянов В.И. см. № 54.

263. *Северный А.Б., Котов В.А., Цап Т.Т.* Колебания Солнца с периодом 160 мин и другие долгопериодные колебания: анализ спектра мощности за 9 лет наблюдений и интерпретации. 1985. 71. 3–18.
– Северный А.Б. см. № 22, 54, 135, 141, 147, 166, 177, 211, 238.
– Семенов Ю.Н. см. № 73.
– Сидоров Г.Г. см. № 56.
– Силланпяя А. см. № 71.
– Скулачев Д.П. см. № 209.
– Скульский М.Ю. см. № 65, 87.

264. *Слепян В.А., Слуцкая Т.Л., Степанян Н.Н.* Применение методов распознавания образов к задаче прогноза развития группы пятен. 1976. 54. 244–247.

– Слуцкая Т.Л. см. № 264.
– Смирнов А.И. см. № 102.
– Соколов В.С. см. № 40.
– Соломон Л.Х. см. № 212.
– Стежка П.Н. см. № 73, 210.

265. *Степанян А.А.* К вопросу о механизме генерации гамма-квантов рентгеновским источником Лебедь X-3. 1978. 58. 51–55.
Модель Крабовидной туманности. Спектр излучения и распределения яркости. 1980. 62. 79–97.
Точечные источники гамма-квантов и характер распределения космических лучей по диску Галактики. 1977. 57. 99–106.

266. *Степанян А.А., Владимирский Б.М., Нешпор Ю.И., Фомин В.П.* Источник гамма- излучения сверхвысокой энергии Cyg X-3 по наблюдениям 1974 г. 1976. 55. 157–163.
Некоторые результаты поиска дискретных источников гамма-квантов сверхвысокой энергии, приведенного в КАО АН СССР за 1973–1975 годы. 1979. 60. 80–83.
Результаты поиска источников γ-квантов сверхвысокой энергии, проведенного в КАО АН СССР за 1969–1973 годы. 1975. 53. 29–58.

267. *Степанян А.А., Фомин В.П., Владимирский Б.М.* Метод разделения черенковских вспышек гамма-квантов от протонно-ядерного компонента космических лучей. 1983. 66. 234–240.
Степанян А.А. см. № 78, 79, 84, 215, 223, 276, 292.

268. *Степанян Н.Н.* Изменение дифференциального вращения фоновых магнитных полей на Солнце. 1983. 67. 59–64. Фоновые магнитные поля и солнечная активность. 1985. 71. 62–67.
Фоновые магнитные поля на Солнце в 1964–1978 гг. 1982. 65. 43–58.

269. *Степанян Н.Н., Шербакова З.А.* Линии редких земель в спектре Солнца как звезды. 1978. 58. 3–7.
Поиск линий, изменяющихся в спектре Солнца как звезды. 1979. 59. 91–95.
Прогноз активности флоккула по радиоизлучению на волне 9,1 см. 1975. 53. 116–120.
– Степанян Н.Н. см. № 21, 23, 35, 116, 159, 162, 178, 175, 179, 264.

270. *Стешенко Н.В.* Оптический телескоп диаметром 25 м с составным главным зеркалом. 1981. 63. 161–165.
– Стешенко Н.В. см. № 54, 56, 67, 119, 247.
– Стрепка И.Д. см. № 124.
– Струков И.А. см. № 209.
– Стюарт Р. см. № 136.
– Суда Я. см. № 253.
– Тамбовский Г.А. см. № 155.

271. *Тарасов А.Е., Щербаков А.Г.* О переменности эмиссии H_α в спектре Be-звезды 28 Cyg. 1986. 74. 19–22.
– Тарасов А.Е. см. № 61, 145, 205.
– Тарасова Т.Н. см. № 118, 282.
– Теребиж В.Ю. см. № 128.
– Терез Г.А. см. № 228.
– Терез Э.И. см. № 120, 147.
– Тиури М. см. № 70, 139.
– Толмунен Т. см. № 259.
– Туовинен Й. см. № 259.
– Тюкин В.Н. см. № 224.

272. *Урпо С., Моисеев И.Г., Хильдебрандт Й., Крюгер А.* Пространственно-временная структура медленно изменяющегося миллиметрового радиоизлучения активного Солнца. 1988. 80. 142–145.
– Урпо С. см. № 70, 139, 184.

273. *Федулов С.В., Волосков В.А.* Зависимость коэффициентов отражения зеркал с покрытием из $Al + Al_2O_3$ от толщины пленки Al_2O_3 в диапазоне спектра 1700–10000 Å. 1980. 62. 190–192.
– Феоктистов К.П. см. № 54.
– Феррейро М. см. № 297.

274. *Фомин В.П.* Анизотропия космических лучей сверхвысоких энергий в окрестности галактического диска. 1977. 56. 35–38.

275. *Фомин В.П., Владимирский Б.М., Нешпор Ю.И., Степанян А.А.* О характере γ-излучения рентгеновского источника Cyg X-3 и объекта CaS γ-1 в энергетическом диапазоне 10^{12} эВ. 1975. 53. 59–65.
– Фомин В.П. см. № 77, 79, 170, 214, 215, 222, 223, 266, 267.
– Хаарала С. см. № 70.

276. *Хайкала Л.* О молекулярном облаке, связанном с Шарплесс 252. 1988. 79. 166–169.
– Халилов А.М. см. № 261.
– Ханейчук В.И. см. № 96.
– Хейнман А.С. см. № 295.

– Хигинс Ц.С. см. № 212.
– Хильдебрандт Й. см. № 272.
– Холсти Н. см. № 184.
– Хянни Л.Ф. см. № 49.
277. *Цап Т.Т.* Магнитные поля, поля скоростей и яркости в центральной области диска Солнца. 1978. 58. 13–25.
Магнитографические наблюдения магнитных полей в невозмущенных и активных областях на Солнце. 1979. 60. 128–134.
Некоторые особенности структуры хромосферы. 1975. 53. 95–103.
278. *Цап Т.Т., Лаба И.С.* Магнитные поля и вертикальные движения в супергранулах. 1985. 73. 62–69.
– Цап Т.Т. см. № 14, 173, 177, 230, 257, 263.
279. *Цветков Л.И.* Когерентные колебания в радиоизлучении "спокойного" Солнца. Методика и результаты наблюдений 1977–1980 гг. 1983. 67. 118–126.
Колебания в радиоизлучении спокойного Солнца на волне 2,25 см. 1986. 75. 77–85.
О методике поляризационных наблюдений радиоизлучения Солнца в диапазоне. 1,9–3,5 см. 1977. 57. 189–198.
280. *Цветков Л.И., Тарасова Т.Н.* Результаты наблюдений минутных колебаний в радиоизлучении спокойного Солнца на волне 2,25 см. 1988. 80. 130–141.
– Цветков Л.И. см. № 6, 9, 27, 28, 258.
281. *Цовоохуу Ч.* Образование линий водорода в спокойных протуберанцах. 1980. 62. 154–165.
– Цымбал В.В. см. № 109.
– Ченцов Е.Л. см. № 239.
– Черемухин Г.С. см. № 57.
– Черных Л.И. см. № 282.
282. *Черных Н.С., Черных Л.И.* Астрометрические свойства двойного 40-сантиметрового астрографа Крымской астрофизической обсерватории. 1975. 53. 209–226.
– Чернышев В.И. см. № 133.
– Чуваев К.К см. № 32, 232, 243.
283. *Чугайнов П.Ф.* Газовые оболочки звезд типа BYDra. 1977. 57. 31–44.
Звездные величины, показатели цвета и фотометрический период BYDra в 1973–1974 гг. 1976. 54. 85–88.
Изменения блеска звезды позднего спектрального типа (HD 34454), погруженной в туманность. 1980. 61. 127–130.
Изменения блеска звезды BD 29697. 1981. 64. 51–54.
Измнения блеска и эмиссии Ca II у карликовых *G*-звезд ξ Boo AB и HD 1853. 1983. 67. 42–49.
Медленная вспышка BYDraconis 23–24 мая 1984 г. 1987. 76. 54–61.
Наблюдательные свидетельства молодого возраста трех звезд типа BYDra. 1976. 55. 85–93.
Новая переменная звезда типа BYDra: HD 1935. 1980. 61. 124–126.
О вспышечной активности GI 718 = BD + 22° 3406. 1983. 68. 114–117.
О собственных цветах $(U-B)$, $(B-V)$ в максимумах вспышек звезд типа UVCet. 1982. 65. 155–162.
О существовании переменных звезд, подобных BYDra, с массой порядка солнечной массы. 1976. 54. 89–98.
Оценки площади и температуры пятен на BYDra. 1976. 55. 94–99.
Сравнение фотометрических радиусов звезд типа BUDra и звезд класса светимости V. 1977. 56. 24–27.
284. *Чугайнов П.Ф., Ловкая М.Н.* Интерпретация амплитуд изменений блеска RW Aur и BYDra. 1988. 80. 63–68.
Исследование короткопериодических изменений блеска BYDra.
Результаты 1984–1986 гг. 1988. 79. 63–70.
Природа короткопериодических изменений блеска RW Aur. 1. Частоты по наблюдениям 1983–1986 гг. 1988. 78. 52–61.
– Чугайнов П.Ф. см. № 212, 236.
285. *Шанин Г.И., Щербаков А.Г.* Спектр цефеиды ξ Gem в области λ 10580–11020. А 1975. 53. 187–195.
– Шанин В.Н. см. 113.
– Шанин Г.И. см. № 87.
– Шапиро Б.И. см. № 295.
286. *Шапошникова Е.Ф.* Высокоширотные вспышки на Солнце и возможная их связь с протонными вспышками. 1976. 55. 49–50.
Протонные вспышки на Солнце. 1979. 59. 96–103.
– Шарипова Л.М. см. № 3.

287. *Шаховская Н.И.* Зависимость между возрастом и вспышечной активностью красных карликовых звезд в окрестности Солнца. 1975. 53. 165–167.

Статистические свойства вспышечной активности звезд типа UV Кита. 1979. 60. 14–13.

288. *Шаховская Н.И., Шаховской Н.М., Бескровная Н.Г.* *UBVRI*-фотометрия и поляриметрия оптического компонента рентгеновского источника A 0535 + 26 = V725 Tau. 1986. 75. 120–135.

– Шаховская Н.И. см. № 32. 41, 51, 83, 108.

289. *Шаховской Н.М., Ефимов Ю.С.* Исследование линейной поляризации оптического излучения объектов типа BL Lac. 1977. 56. 39 –51.

Наблюдения линейной поляризации оптического излучения рентгеновских источников. 1976. 54. 99–119.

– Шаховской Н.М. см. № 32, 128, 140, 143, 232, 288.

– Шварцман В.Ф. см. № 36.

– Шевченко В.М. см. № 51.

– Шейхет А.И. см. № 43.

– Шенаврин В.И. см. № 32.

290. *Шитов В.Г.* Выбор астатической системы регулирования скорости вращения электродвигателя постоянного тока для азимутальных монтировок гамма-телескопа. 1981. 64. 171–179.

Многоканальный цифровой преобразователь угла. 1985. 70. 168–172.

Особенности азимутальной монтировки телескопа и их влияние на выбор привода. 1985. 71. 180–186.

Транзисторные ключевые схемы для электропривода гамма-телескопа. 1987. 77. 190–197.

291. *Шитов В.Г., Степанян А.А.* Система регистрации точного времени для наблюдений гамма-квантов сверхвысоких энергий. 1981. 64. 162–170.

– Шитов В.Г. см. № 77.

– Штейншлейгер В.Б. см. № 133.

– Шутеев В.И. см. № 196.

292. *Щербаков А.Г., Щербакова З.А.* О вариациях линии He I λ 10830 Å по диску Солнца. 1983. 68. 39–55.

– Щербаков А.Г. см. № 61, 69, 87, 145, 195, 196, 236, 240, 271, 285, 294, 295.

293. *Щербакова З.А.* Свечение линии *H* Ca II, наблюдаемое в спектре Солнца как звезды. 1976. 55. 37–41.

294. *Щербакова З.А., Щербаков А.Г.* Изучение линии гелия λ 10830 Å в спектре Солнца как звезды в 1981–1984 гг. 1987. 76. 98–101.

295. *Щербакова З.А., Щербаков А.Г., Шапиро Б.И., Хейнман А.С.* Спектральные наблюдения Солнца с инфрахроматической пленкой высокой чувствительности. Линия He I λ 10830 Å. 1983. 66. 119–129.

– Щербакова З.А. см. № 20, 24, 179, 269, 292.

296. *Юровская Л.И.* О влиянии некоторых особенностей развития групп пятен на радиоизлучение шумовых бурь. 1975. 53. 139–143.

297. *Юровская Л.И., Альварес О., Феррейро М.* Наблюдения затмения Солнца на Кубе 24 декабря 1973 года на волне 1,37 м. 1975. 53. 130–138.

– Юровская Л.И. см. № 231, 301.

298. *Юровский Ю.Ф.* О возможности образования всплескового компонента солнечных шумовых бурь за счет рассеяния радиоволн в солнечной короне. 1988. 80. 146–156.

Один из возможных способом интерпретации происхождения переменной составляющей солнечных шумовых бурь. 1985. 72. 208–210.

Распределение числа всплесков в зависимости от их длительности и энергетический спектр всплескового компонента солнечных шумовых бурь. 1985. 71. 87–99.

299. *Юровский Ю.Ф., Альварес О.* О квазирегулярных свойствах всплесковой компоненты солнечных шумовых бурь. 1986. 75. 86–89.

Результаты наблюдения солнечного затмения 20 апреля 1976 г. на волне 10 см. 1979. 59. 120–132.

300. *Юровский Ю.Ф., Николаев Н.Я.* Некоторые особенности флуктуаций интенсивности во всплесках радиоизлучения Солнца метрового диапазона. 1976. 55. 74–80.

301. *Юровский Ю.Ф., Юровская Л.И., Альварес О.* Одновременные наблюдения всплесков солнечного радиоизлучения в Крыму и на Кубе. 1976. 54. 220–226.

– Юровский Ю.Ф. см. № 10, 219.

– Эглитис И. см. № 47.

– Ээрме К.А. см. № 148.

– Якушин В.Н. см. № 1.

– Яцык О.С. см. № 89.

ИЗВЕСТИЯ
КРЫМСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ
Том 85

Утверждено к печати
Крымской астрофизической обсерваторией

Заведующая редакцией *В.П. Сироткина*
Редактор *Ю.А. Юдина*
Художественный редактор *В.Ю. Яковлев*
Технический редактор *Г.И. Астахова*
Корректор *Л.А. Агеева*

Набор выполнен в издательстве
на наборно-печатающих автоматах

Н/К

Подписано к печати 03.06.92. Формат 70 X 100 1/16
Бумага этикеточная. Гарнитура Пресс-Роман
Печать офсетная. Усл.печ.л. 13,7. Усл.кр.-отт. 13,9
Уч.-изд.л. 16,1. Тираж 950 экз.
Тип. зак. 2217. Заказное

Ордена Трудового Красного Знамени
издательство "Наука"
117864 ГСП-7, Москва В-485,
Профсоюзная ул., д. 90

Ордена Трудового Красного Знамени
1-я типография издательства "Наука"
199034, Санкт-Петербург В-34, 9-я линия, 12