

А К А Д Е М И Я   Н А У К   С С С Р

---

ИЗВЕСТИЯ  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
КРЫМСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ  
ОБСЕРВАТОРИИ

ТОМ LVIII



---

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1978

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Академик А. Б. СЕВЕРНЫЙ (ответственный редактор)

Член-кор. АН СССР А. А. БОЯРЧУК  
(заместитель ответственного редактора)

В. М. МОЖЖЕРИН (ответственный секретарь)

Канд. физ.-мат. наук П. П. ДОБРОНРАВИН

Канд. физ.-мат. наук И. Г. МОИСЕЕВ

Член-кор. АН СССР Э. Р. МУСТЕЛЬ

Доктор физ.-мат. наук В. Б. ПИКОНОВ

Доктор физ.-мат. наук В. К. ПРОКОФЬЕВ

Доктор физ.-мат. наук Н. В. СТЕШЕНКО

ЛИНИИ РЕДКИХ ЗЕМЕЛЬ В СПЕКТРЕ СОЛНЦА  
КАК ЗВЕЗДЫ

Н. Н. Степанян, З. А. Щербакова

В спектре Солнца как звезды обнаружено изменение со временем эквивалентных ширин семи линий редких земель в 1,5—2 раза. Максимальные эквивалентные ширины соответствуют более высокой флоккулярной активности Солнца, большим значениям общего магнитного поля Солнца как звезды. Шесть из семи изученных линий ослабевают в спектре солнечных пятен. В спектре флоккулов заметных изменений эквивалентных ширин не наблюдается.

THE LINES OF RARE-EARTHS IN THE SPECTRUM OF THE SUN AS A STAR, by N. N. Stepanian, Z. A. Shcherbakova. — The variability in time (1.5—2.0 times) of the equivalent widths of seven rare-earths lines was discovered in the Sun spectrum. The maximum equivalent widths correspond to the high activity of plagues, to the higher magnetic field of the Sun as a star. Six of the seven studied lines weaken in the sunspot spectrum. No perceptable changes of the equivalent widths are found in the plague spectra.

В спектрах магнитных звезд наблюдается необычное усиление линий редких земель, особенно европия.

В [1] авторы предполагают реальные изменения химического состава этих звезд, причем изменение интенсивностей линий говорит о неравномерном распределении элементов по поверхности звезды.

Интенсивности линий коррелируют с магнитным полем звезды. Связь спектральной переменности с изменением поля указывает на то, что области аномального химического состава, как правило, соответствуют областям с сильным магнитным полем. В [2] были исследованы изменения с фазой линий Eu II в спектре магнитно-переменной звезды  $\alpha^2$  CVn. Минимальные значения эквивалентных ширин в 20—25 раз отличаются от максимальных значений. Авторы нашли, что характер изменений параметров линий с фазой у разных редкоземельных элементов может несколько различаться и в рамках гипотезы наклонного ротатора химические элементы могут иметь различную степень концентрации к отрицательному магнитному полюсу. Этот результат согласуется с выводами в [3].

Однако проблема аномального химического состава и различия концентрации элементов по поверхности звезды остается до конца не решенной.

Поведение линий редких земель также исследовалось и на Солнце. К настоящему времени опубликовано несколько работ по изучению изменений линий редких земель в спектрах спокойных и активных областей на Солнце.

В [4, 5] было найдено, что линии редких земель ослабевают от центра к краю, а также в спектрах флоккулов и вспышек. В [6] исследовались линии Eu II  $\lambda 4129,7$  Å и La II  $\lambda 4086,7$  Å в пятнах и невозмущенной фотосфере.

Авторы этой работы высказывают мнение, что расширение контуров линий редких земель в пятнах происходит в результате магнитного расщепления.

Эквивалентные ширины некоторых линий редких земель в пятнах для области длин волн 4000—6500 Å были вычислены в [7]. В работе [8] определялось содержание редких земель на Солнце и эквивалентные ширины целого ряда этих элементов в спектре фотосферы Солнца.

Однако до сих пор не проводилось изучение поведения линий редких земель в спектре Солнца как звезды, которое можно было бы связать с наблюдаемыми усилениями этих линий в спектрах магнитно-переменных звезд. А. Б. Северным была поставлена задача — выяснить, имеются ли изменения редких земель в спектре Солнца как звезды.

## 1. Наблюдения

Использовались спектрограммы Солнца как звезды, флоккулов и пятен, полученные на эшелловом спектрографе Малого башенного солнечного телескопа и горизонтального солнечного телескопа в 1974, 1967 и 1968 гг. с дисперсией в области длин волн 4000—4400 Å 0,30—0,33 Å/мм. Для обработки было выбрано семь спектрограмм Солнца как звезды (1—3.IX и 3—6.VII 1974 г.), две спектрограммы солнечных пятен (30.IX и 11.VIII 1967 г.) и две спектрограммы флоккулов (28.VII 1968 г. и 6.VI 1974 г.). Кроме того, была использована спектрограмма солнечной вспышки на лимбе 25.VII 1959 г., полученная на эшелловом спектрографе Башенного солнечного телескопа.

На всех спектрограммах было выбрано семь линий редких земель в области длин волн 4000—4400 Å. В табл. 1 приводятся эти линии (длины волн и отождествление по [9], переходы и лабораторные интенсивности по [10]).

Таблица 1

| $\lambda$ , Å | Элемент         | Мультиплет                     | Лабораторная интенсивность |
|---------------|-----------------|--------------------------------|----------------------------|
| 4358,170      | Nd <sup>+</sup> | $a^6I_{13/2} - z^6K_{13/2}^0$  | 200                        |
| 4086,713      | La <sup>+</sup> | $a^3F_2 - y_1D_2^0$            | 300                        |
| 4083,226      | Ce <sup>+</sup> | $b^4H_{11/2}^0 - z^4H_{11/2}$  | 200                        |
| 4042,592      | Ce <sup>+</sup> | $b^2G_{7/2}^0 - 122_{9/2}$     | 200                        |
| 4023,011      | Nd <sup>+</sup> | —                              | 80                         |
| 4021,338      | Nd <sup>+</sup> | $a^6I_{13/2} - 24_{15/2}^{0+}$ | 80                         |
| 4014,934      | Ce <sup>+</sup> | $c^2G_{7/2}^0 - z^4G_{9/2}^+$  | 125                        |

Кроме этого рассматривались линии редких земель в области длин волн 5400—5850 Å из списка, приведенного в [7] для солнечных пятен: 5821,96 Å (La), 5818,74 Å (Eu<sup>+</sup>), 5550,38 Å (Sm), 5357,86 Å (La).

Для сравнения обрабатывались также две линии: Fe I 4028,763 и Fe I 4036,377, которые не изменяют своей интенсивности в хромосфере [11].

Для всех перечисленных выше линий были получены регистрограммы на микрофотометре в прямых интенсивностях Крымской обсерватории. Оказалось, что линии редких земель в области длин волн 5400—5850 Å очень слабы в фотосфере и в спектре Солнца как звезды, их трудно обработать без большой ошибки. Поэтому эти линии в дальнейшем исключались из обработки.

Были определены эквивалентные ширины линий редких земель в области  $\lambda 4014\text{--}4358$  А и линий железа для Солнца как звезды, линий редких земель для солнечных пятен и флоккулов. Ошибка определения среднего значения  $W$  составила 1,35 мА.

## 2. Результаты наблюдений

Результаты обработки спектров сведены в табл. 2. В столбцах 1—3 приводятся длины волн, отождествление и эквивалентные ширины редких земель и двух линий Fe I, взятые из [9]. В столбце 4 приведены эквивалентные ширины некоторых линий редких земель для центра Солнца из [8]. В остальных столбцах даны результаты наших измерений. Столбцы 5—11 содержат измеренные эквивалентные ширины линий редких земель и железа в спектре Солнца как звезды. В столбцах 12—18 даны эквивалентные ширины в пятнах и флоккулах.

Из таблицы видно, что эквивалентные ширины линий редких земель в спектре Солнца как звезды заметно меняются с течением времени.

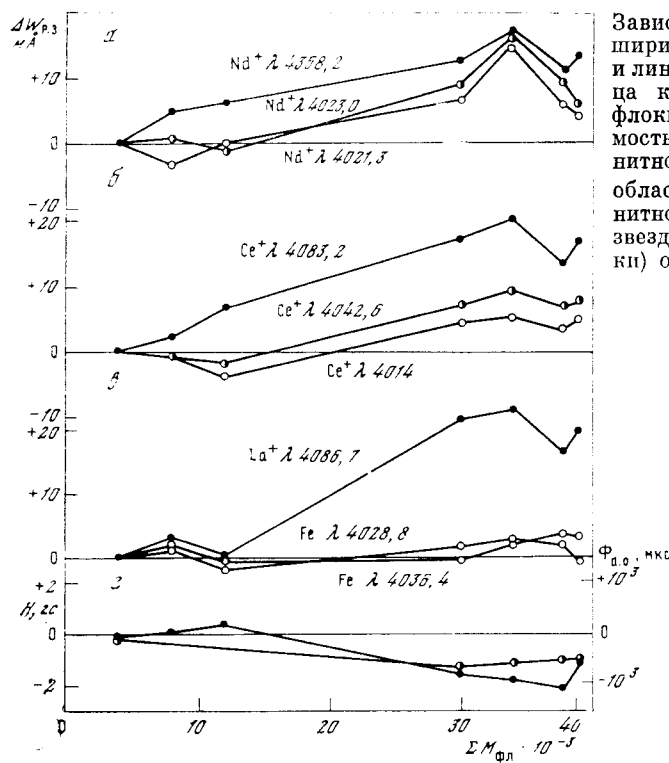
Так, для линии  $\text{Ce}^+ 4014,934$  А эквивалентная ширина 3—6.VII в 1,5 раза больше, чем 1—3.IX. Для остальных линий редких земель это изменение еще больше. В то же время линии железа оставались практически неизменными.

Найденные изменения эквивалентных ширин линий редких земель в спектре Солнца как звезды были сопоставлены с уровнем активности Солнца. За характеристику активности Солнца принята мощность флоккулов ( $\Sigma M_{\text{фл}} = \Sigma IS$ , где  $I$  — интенсивность флоккула в относительных единицах,  $S$  — площадь флоккула в квадр. град.).

На рисунке построена зависимость эквивалентных ширин линий редких земель в спектре Солнца как звезды и линий железа от мощности флоккулов. По оси ординат отложена  $\Delta W = W - W_{\text{min}}$ .  $W_{\text{min}}$  редких земель была взята при самой минимальной мощности флоккулов. По оси абсцисс — суммарные потоки от флоккулов  $\Sigma M_{\text{фл}}$ , взятые из [12].

Таблица 2

| $\lambda, \text{А}$ | Элемент         | $W_{\text{фл}} [9]$ | $W_{\text{фл}} [8]$ | W (Солнце как звезда), мА |      |      |       |       |       |       |                | Пятна          |                  |                 |                  | Флоккулы        |                   |                   |                   |
|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|----------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                     |                 |                     |                     | 1.IX                      | 2.IX | 3.IX | 3.VII | 4.VII | 5.VII | 6.VII | $W_{\text{ф}}$ | $W_{\text{H}}$ | $W_{\text{H}_2}$ | $W_{\text{фI}}$ | $W_{\text{фII}}$ | $W_{\text{фH}}$ | $W_{\text{фH}_2}$ | $W_{\text{фI}_2}$ | $W_{\text{фH}_2}$ |
| 4358,170            | Nd <sup>+</sup> | 38                  | —                   | 41,6                      | 46,5 | 47,7 | 54,1  | 58,8  | 53,0  | 55,2  | 49,6           | 65,1           | 60,1             | 38,5            | 33,7             | —               | —                 | 64,2              | —                 |
| 4086,713            | La <sup>+</sup> | 42                  | 41,8                | 40,4                      | 42,9 | 40,3 | 61,7  | 63,3  | 56,5  | 59,6  | 54,5           | 10,9           | 12,8             | 35,4            | 33,4             | —               | —                 | 56,6              | —                 |
| 4083,226            | Ce <sup>+</sup> | 26                  | 25,6                | 18,1                      | 20,3 | 24,7 | 34,7  | 38,0  | 31,2  | 36,6  | 30,3           | 9,2            | 11,8             | 16,2            | 17,2             | —               | —                 | 26,8              | —                 |
| 4042,592            | Ce <sup>+</sup> | 13                  | 10,2                | 13,2                      | 12,5 | 12,2 | 20,2  | 22,7  | 19,6  | 22,4  | 17,7           | 14,5           | 14,0             | 12,6            | 13,4             | —               | —                 | 24,9              | —                 |
| 4023,011            | Nd <sup>+</sup> | 18                  | —                   | 16,2                      | 16,3 | 14,7 | 25,1  | 32,9  | 25,4  | 22,1  | 23,2           | 17,8           | 5,4              | 9,9             | 10,6             | —               | —                 | 11,6              | —                 |
| 4024,338            | Nd <sup>+</sup> | 16                  | 12,9                | 15,6                      | 12,0 | 15,4 | 21,9  | 30,4  | 21,4  | 19,7  | 21,5           | 15,9           | 9,0              | 10,3            | 9,7              | —               | —                 | 8,6               | —                 |
| 4014,934            | Ce <sup>+</sup> | 34                  | —                   | 36,2                      | 35,4 | 32,2 | 40,2  | 41,1  | 39,4  | 40,7  | 32,6           | 9,3            | 6,8              | 25,4            | 25,6             | —               | —                 | 26,2              | —                 |
| 4028,763            | Fe              | 43                  | —                   | 32,9                      | 34,0 | 32,3 | 52,2  | 54,8  | 36,5  | 53,4  | —              | —              | —                | —               | —                | —               | —                 | —                 | —                 |
| 4036,377            | Fe              | 24                  | —                   | 35,2                      | 36,6 | 33,1 | 36,6  | 37,4  | 36,9  | 34,4  | —              | —              | —                | —               | —                | —               | —                 | —                 | —                 |



Зависимость эквивалентных ширин линий редких земель и линий железа в спектре Солнца как звезды от мощности флоккулов (а — в) и зависимость результирующего магнитного потока  $\Phi_{\text{a.o.}}$  активных областей (точки) и общего магнитного поля  $H$  Солнца как звезды (полузачерненные кружки) от мощности флоккулов (г)

Из этого рисунка видна зависимость эквивалентных ширин линий редких земель от активности Солнца. С ростом мощности флоккулов в 10 раз эквивалентные ширины увеличиваются на 5—20 мÅ, что существенно превышает ошибку измерений. Эквивалентные ширины линий железа практически не меняются.

На этом же графике показано изменение величины результирующего магнитного потока активных областей  $\Phi_{\text{a.o.}}$ , взятой из [12], где  $\Phi_{\text{a.o.}}$  — разность магнитных потоков от активных областей N- и S-полярностей. Можно видеть, что максимальные эквивалентные ширины линий редких земель совпадают с максимальным значением магнитного поля активных областей со знаком поля (—). Там же нанесены значения напряженности  $H$  общего магнитного поля Солнца как звезды [12]. Они показывают аналогичное поведение.

Затем мы попытались выяснить, какие именно активные образования на Солнце ответственны за увеличение эквивалентных ширин редких земель.

В табл. 2 приводятся результаты определения эквивалентных ширин линий редких земель для двух пятен и двух флоккулов. Хотя флоккулы и тем более пятна занимают незначительную долю площади всего Солнца и не могут вносить значительного вклада в общее излучение Солнца, выяснение поведения линий редких земель в этих образованиях представляет определенный интерес ввиду различия физических условий в них.

Рассеянный свет в пятнах определялся по методу Говарда [13], и для этой цели использовалась линия  $\text{Sr}^+ \lambda 4161,801 \text{ Å}$ , рекомендованная в [14]. Ее присутствие в пятне обусловлено рассеянным светом фотосферы и эффектом замыкания из-за дрожаний изображения Солнца. Измеренные эквивалентные ширины линий редких земель исправлялись за рассеянный свет.

В спектрах пятен редкие земли ослабевают, за исключением линии  $\text{Nd}^+ \lambda 4358,170 \text{ Å}$ , которая и по [9] усиливается в пятне.

Таким образом, холодные образования с сильным магнитным полем, т. е. образования типа солнечных пятен, не могут дать усиление рассмотренных нами линий редких земель.

Эквивалентные ширины редких земель в двух наблюдаемых флоккулах не показали изменений по сравнению с фотосферой Солнца (см. столбцы 15—18 в табл. 2). Этот результат противоречит работам [4, 5] и, по-видимому, потому, что в них изучались линии редких земель в крыльях линий Ca II, которые принадлежат более высоким слоям атмосферы. В спектре лимбовой вспышки 25.VII 1959 г. линии редких земель наблюдаются в эмиссии, кроме линии  $\text{Ce}^+ \lambda 4014,934 \text{ \AA}$ . То есть ни флоккулы, ни вспышки не показали увеличения эквивалентных ширин линий по сравнению с фотосферой.

Возможно, что усиление линий редких земель происходит в образованиях типа узлов хромосферной сетки, имеющих повышенную яркость и большее магнитное поле по сравнению с невозмущенной хромосферой. По площади узлы хромосферной сетки составляют заметную долю от площади всего Солнца. Но этот вопрос требует дальнейшего исследования.

### Выводы

1. Обнаружено изменение эквивалентных ширин семи линий редких земель в спектре Солнца как звезды в 1,5—2,0 раза.

2. Эквивалентные ширины этих линий растут с увеличением флоккулярной активности Солнца. Этому росту эквивалентных ширин соответствовало также увеличение результирующего поля флоккулов (S-полярности) и общего поля Солнца как звезды.

3. Наблюдаемые линии редких земель в спектре солнечных пятен ослабевают (кроме линии  $\text{Nd}^+ \lambda 4358,170 \text{ \AA}$ ).

4. Вопрос о вкладе отдельных флоккулов в изменение эквивалентных ширин линий редких земель нельзя считать решенным.

Однако представленных наблюдений недостаточно, чтобы сделать какой-либо однозначный вывод о причине изменения свечения линий редких земель в спектре Солнца как звезды.

В заключение приносим глубокую благодарность академику А. Б. Северному за постановку задачи и полезное обсуждение.

Ноябрь 1976 г.

### Л и т е р а т у р а

1. Пикельнер С. Б., Хохлова В. Л. Успехи физ. н., 1972, № 3, 395.
2. Кузнецовская Р. П., Копылов И. М. Астрофиз. исследования.— Изв. САО, 1972, 4, 60.
3. Papper D. M. Astrophys. J. Suppl. Ser., 1969, 18, 347.
4. Стефанович Н. Н. Изв. Крымской астрофиз. об., 1957, 17, 191—198.
5. Степанян Н. Н. Изв. Крымской астрофиз. об., 1960, 22, 56—60.
6. Bachmann G., Pflug K., Staude J. Solar Phys., 1970, 15, N 1, 113—119.
7. Molnar H. Astron. and Astrophys., 1972, 20, N 1, 69.
8. Grevesse N., Blanquet G. Solar Phys., 1969, 8, N 1, 5.
9. Moore C. E., Minnaert G. J., Houtgast J. Second revision of solar spectrum wavelengths. National Bureau of Standards. Monograph 61. Washington, 1966.
10. Moore C. E. A multiplet table of astrophysical interest. Rev. ed. Princeton, 1945.
11. Menzel D. H. Publ. Lick Observ., 1931, 17.
12. Котов В. А., Степанян Н. Н., Щербакова З. А. Изв. Крымской астрофиз. об., 1977, 56, 75.
13. Howard R. Astrophys. J., 1958, 127, 108.
14. Гусейнов М. Дж. Изв. Крымской астрофиз. об., 1966, 35, 177.

## О РАЗМЕРАХ И ЯРКОСТИ УСОВ

А. Н. Бабин

На основании изофотометрической обработки материала, полученного во время частного солнечного затмения 29.IV 1976 г., для ярких компактных усов, снятых в свете  $H_\alpha \pm 1 \text{ \AA}$ , построена кривая изменения их полной энергии по мере закрывания усов Луной. Найдено, что истинный размер исследуемых усов составляет  $0''.62$  (вероятная ошибка  $\pm 0''.05$ ), распределение яркости в них близко к прямоугольному, а истинная избыточная яркость усов составляет  $\sim 150\%$  в единицах невозмущенного континуума в центре диска Солнца.

ON THE SIZE AND BRIGHTNESS OF MOUSTACHES, by A. N. Babin.— From the cinematographic ( $H_\alpha \pm 1 \text{ \AA}$ )-filter observations of occultation of a bright compact moustaches by the Moon during the partial solar eclipse on 29 april 1976 we have found: (1) the true size of the moustaches to be equal  $0.62 \pm 0.05$  second of arc; (2) the brightness distribution across the moustaches is close to rectangular; (3) the true excessive brightness of the moustaches is equal  $\sim 150\%$  in units of the undisturbed continuum of the solar disk center.

Определение таких физических характеристик усов, как размеры и яркость, весьма важно для выяснения их природы. Усы впервые и наиболее полно были исследованы А. Б. Северным [1], который отмечал, что при визуальных спектроскопических наблюдениях их размеры иногда не превышают кружка рассеяния телескопа ( $1.22 \lambda/D \simeq 0''.4$ ), однако на спектрограммах они получаются значительно большими из-за дрожания изображений. Избыточная эмиссия усов (в линиях  $H_\alpha$  и  $H_\beta$ ) составляла для исследованных образований в среднем около 10% интенсивности непрерывного спектра Солнца, в максимальных случаях  $\sim 20-25\%$ .

Проведенные в дальнейшем как спектральные [2—4], так и монохроматические наблюдения (в основном с  $H_\alpha$ -ИПФ) [5—7] дают для размеров усов значения от  $0''.4$  до  $3-5''$ , причем, согласно [6], большая часть их имеет диаметры  $\leq 1''.0$ . Максимальная яркость усов в  $H_\alpha$  может достигать 30—40% интенсивности непрерывного спектра центра диска Солнца [3, 6, 7]. Однако все сделанные до сих пор определения этих величин являются грубыми оценками, так как измеренные диаметры усов близки к достигнутому пространственному разрешению телескопов (за исключением самых крупных, которые могут состоять из нескольких неразрешенных объектов). Следовательно, приведенные выше значения размеров и яркости усов представляют соответственно верхнюю и нижнюю границы истинных значений этих параметров, и задача их определения остается актуальной.

Мы решили поставить такую задачу на модернизированном коронографе КГ-1 [8] во время солнечного затмения 29.IV 1976 г. (обстоятельства затмения для КАО, вычисленные нами с небольшой точностью, дали моменты и позиционные углы контактов: I —  $9^h 28^m \text{ UT}$ ,  $P \approx 241^\circ$ ; IV —  $12^h 43^m \text{ UT}$ ,  $P \approx 86^\circ$  (максимальная фаза  $g \approx 0.80$ ; скорость движения Луны относительно солнечного диска  $\sim 0''.31 \text{ c}^{-1}$ ).

В радиоастрономии давно определяют линейные размеры радиоисточников на Солнце во время солнечных затмений по времени их закрывания или открывания Луной. Однако считается [9], что вследствие значительных неровностей края Луны (часто превышающих  $0'',3$ ) она не очень подходит для решения вопроса о размерах мельчайших солнечных образований, видимых в оптическом диапазоне. Поскольку в нашем случае лунный край при закрывании развивающейся активной области (№ 24 по «Солнечным данным», координаты на момент затмения:  $\varphi = 10^\circ \text{ S}$ ,  $\lambda = 26^\circ \text{ W}$ ) должен был располагаться почти перпендикулярно направлению движения Луны, то влияние неровностей края на измерения в значительной степени уменьшается.

## 1. Наблюдения

Для наблюдений была подготовлена регистрирующая фотокамера РФК-5 (размер кадра  $18 \times 24$  мм, впечатывается номер кадра), которая была переведена в режим непрерывной съемки. Чтобы обеспечить необходимую экспозицию при кинематографировании усов в свете  $H_\alpha \pm 1 \text{ \AA}$  (ИПФ В. Halle,  $\Delta\lambda = 0,5 \text{ \AA}$ , масштаб  $\sim 15'' \text{ мм}^{-1}$ ) на высококонтрастную мелкозернистую пленку «изопанхром 18» [8], пришлось снизить частоту съемки до  $\sim 10$  кадров/с (фактически получилось 9,5 кадров/с, экспозиция составляла  $\sim 1/30$  с при полностью открытом obtюраторе); одной кассеты ( $\sim 60$  м пленки) хватало на  $\sim 5$  мин непрерывной съемки.

В начале затмения по Солнцу проходили облака, однако, когда край Луны подошел к активной области, облака рассеялись и небо оставалось чистым до самого конца затмения. Качество изображений улучшалось от 4— (в момент закрывания активной области) до 4 в максимальной фазе и позже, включая момент открывания активной области, а затем стало ухудшаться вплоть до 3 к последнему контакту.

Съемка была начата при подходе края Луны к активной области и проводилась в течение 1 мин в свете линии  $H_\alpha$  ( $\Delta\lambda = 1 \text{ \AA}$ ), а затем в течение  $\sim 3,5$  мин в  $H_\alpha \pm 1 \text{ \AA}$  ( $\Delta\lambda = 0,5 \text{ \AA}$ ) до полного закрывания активной области. Открывание регистрировалось примерно так же. Были предприняты попытки снять закрывание (или открывание) спикул на краю диска Солнца и протуберанцев, однако экспозиция оказалась для них слишком короткой. Всего во время затмения было экспонировано около 150 м пленки, которая проявлялась в проявителе УП-2 при  $20^\circ \text{ C}$  в течение 9—11 мин.

## 2. Обработка

Во время закрывания активной области (рис. 1) в ней наблюдалось в свете  $H_\alpha \pm 1 \text{ \AA}$  около десятка светлых точек (усов), большая часть из них были очень слабые. Для изучения были выбраны яркие компактные усы, расположенные вблизи небольшого пятна (на рис. 1, б они помечены стрелкой). Чтобы узнать их реальные размеры, нужно определить время, в течение которого они закрываются Луной, и умножить на скорость относительного движения Луны  $0'',31 \text{ с}^{-1}$ .

Момент полного исчезновения эмиссии усов за лунным краем можно заметить довольно уверенно (в пределах  $\sim 2$  кадров). Момент начала их закрывания фиксируется с заметно меньшей точностью (вследствие того, что качество изображений изменяется от кадра к кадру, край Луны сильно размыт из-за рассеяния в инструменте и в земной атмосфере, а в момент начала закрывания видимое пятнышко усов должно находиться примерно посредине этой размытой границы). Поэтому мы решили определить эти моменты на основании измерения полной энергии усов (в данном спектральном интервале) как функции времени.

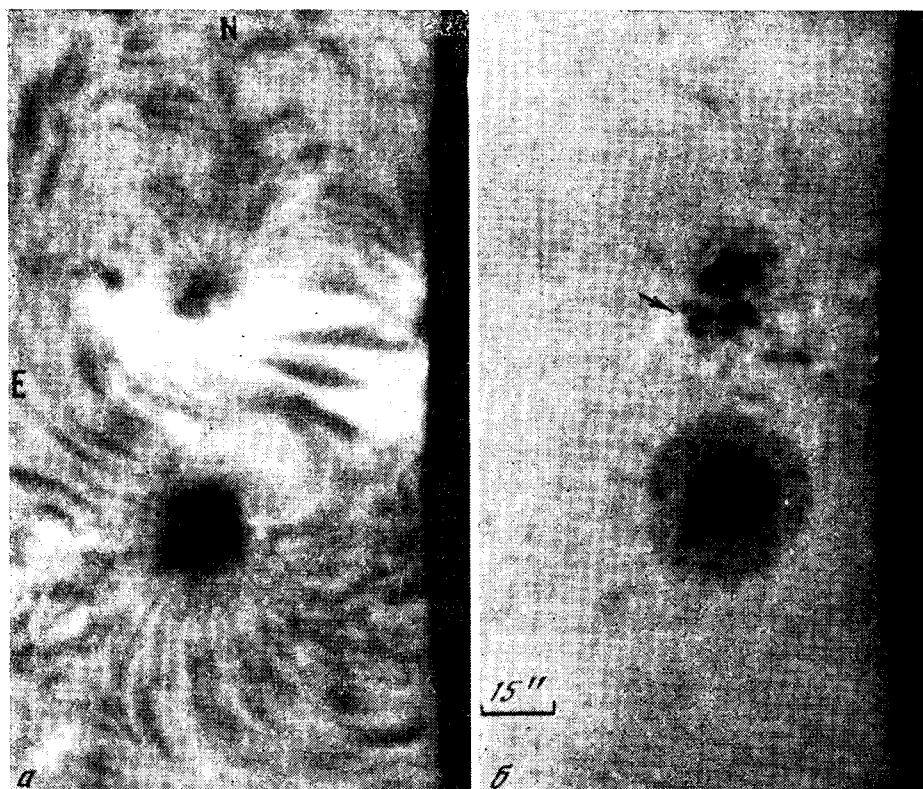


Рис. 1. Вид активной области, которая закрывалась Луной 29.IV 1976 г.  
 а — в свете  $H_{\alpha}$ ,  $\Delta\lambda = 1\text{ \AA}$ ; б — в свете  $H_{\alpha} \pm 1\text{ \AA}$ ,  $\Delta\lambda = 0,5\text{ \AA}$

Для фотометрии были выбраны кадры с хорошими изображениями. Измерения проводились на микрофотометре МФ-2 с фотоумножителем, щель фотометра соответствовала  $0'',34 \times 0'',34$ . Чтобы повысить точность обработки, разрезы делались вдоль края Луны, шаг измерений был  $0'',16$ , длина разрезов  $\sim 9''$ , расстояние между ними  $\sim 0'',16$  (или  $\sim 0'',31$ ), общее число  $\sim 10$  на кадр. В результате обычной процедуры обработки таких измерений мы получили для каждого разреза распределение интенсивности в усах (рис. 2). Проинтегрировав эти распределения дважды, сначала в пределах одного разреза, а затем между разрезами, мы для каждого из выбранных кадров находим энергию усов, попадающую в пределы интегрирования. По нашей оценке, она составляет около 60% полной энергии усов. Найденные таким путем значения, отнесенные к энергии соседнего невозмущенного диска (в том же спектральном интервале) с  $1\text{ (угл. с)}^2$ , мы нанесли на график, где по оси абсцисс отложен номер кадра (рис. 3).

### 3. Результаты

Из рис. 3 следует, что вплоть до 245-го кадра полная энергия усов оставалась примерно на одном уровне, между 245-м и 251-м кадрами она начала убывать (т. е. усы начали закрываться Луной), между 251-м и 259-м кадрами скорость уменьшения энергии остается постоянной, далее измерения очень неустойчивые, но на глаз никаких следов эмиссии усов не видно на кадрах после 263—264-го. Таким образом, максимальное время закрывания усов равно промежутку времени между 264-м и 245-м кадрами, т. е. 2,0 с, откуда максимальное значение истинного размера усов

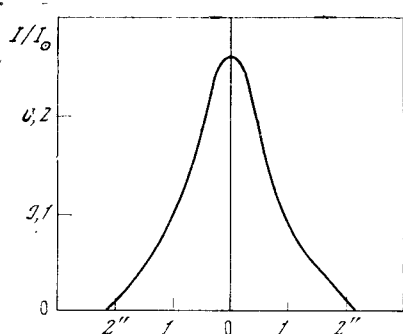


Рис. 2. Наблюдаемое распределение интенсивности усов в разрезе, параллельном краю Луны и проходящем через максимум интенсивности, кадр 38236

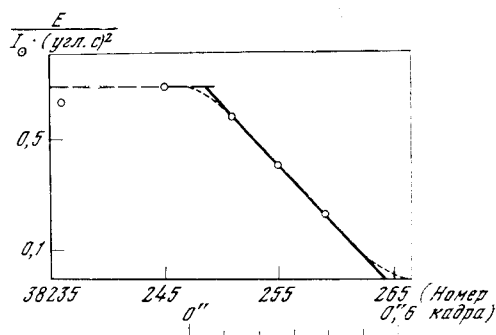


Рис. 3. Изменение полной наблюдаемой энергии усов со временем по мере их закрывания Луной

Кружки — результат изофотометрической обработки

в направлении движения Луны равно  $0'',62$ . Отметим здесь, что время жизни усов [4, 2, 6, 10, 11], время их разгорания и угасания [6, 7, 10], а также период возможных пульсаций [12] не менее чем на два порядка превосходят время закрывания усов Луной. Поэтому мы принимаем, что яркость усов в течение их закрывания оставалась на одном уровне.

Линия, проведенная через точки, соответствующие кадрам 251, 255 и 259, до пересечения с уровнем энергии полностью открытых усов, представляет собой кривую затмения усов, имеющих форму прямоугольника (со стороны, параллельной краю Луны) и прямоугольное распределение интенсивности вдоль направления движения Луны. Штрихами нанесена кривая затмения усов, имеющих круглую форму с прямоугольным распределением интенсивности. Обе кривые хорошо удовлетворяют наблюдениям, особенно вторая. Приняв модель усов, имеющих круглую форму, мы получаем, что их диаметр равен  $\sim 0'',62$ , или  $\sim 440$  км.

Зная полную энергию усов, найдем для приведенной выше модели истинную избыточную интенсивность усов  $I$  по сравнению с  $I_{\odot}$  — интенсивностью соседнего участка солнечного диска (в спектральном интервале  $\text{H}_{\alpha} \pm 1 \text{ \AA}$ ,  $\Delta\lambda = 0,5 \text{ \AA}$ ):

$$I = 0,69 I_{\odot} \cdot (\text{угл. с})^2 : (3,14 \cdot 0'',31^2) \approx 2,3 I_{\odot}.$$

Это же значение, отнесенное к интенсивности непрерывного спектра Солнца в центре диска  $I_{\text{н.сп}}$ , получается равным

$$I \approx 1,52 I_{\text{н.сп}}.$$

### Выводы

Определены истинные размеры ярких компактных усов  $0'',62$  (точность мы оцениваем в  $\pm 0'',05$ ). Это значение близко к нижнему пределу того, что дают прямые наблюдения [1—6], однако из рис. 2 следует, что наши прямые наблюдения дали бы для них размер  $\sim 1'',5$ , а максимальную яркость  $\sim 0,27 I_{\odot}$ . Истинная избыточная яркость усов достигает яркости хорошей вспышки и в 1,5 раза выше интенсивности непрерывного спектра в центре солнечного диска, что в 4—5 раз выше прежних определений [3, 6, 7]. Из кривой затмения (см. рис. 3) следует также, что усы имеют довольно резкий край и распределение интенсивности в них близко к прямоугольному.

В заключение выражаю благодарность Н. В. Стешенко за полезное обсуждение вопросов, возникших при выполнении работы.

23 ноября 1976 г.

## Л и т е р а т у р а

1. Северный А. Б. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1957, **17**, 129.
2. McMath R. R., Mohler O. C., Dodson H. W. Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A., 1960, **46**, 165.
3. Северный А. Б., Коваль А. Н. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1961, **26**, 3.
4. Engvold O., Maltby P. In: Mass Motions in Solar Flares and Related Phenomena. Öhman (Ed.). Nobel Sympos. N 9, 1968, p. 109.
5. Bruzek A. In: Structure and Development of Solar Active Regions. K. O. Kiepenheuer (Ed.). IAU Sympos. N 35, 1968, p. 293.
6. Bruzek A. Solar Phys., 1972, **26**, 94.
7. Бабин А. Н. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1974, **52**, 88.
8. Бабин А. Н. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1974, **52**, 79.
9. Hyder C. L. Solar Phys., 1969, **6**, 482.
10. Vorpahl J., Pope T. Solar Phys., 1972, **25**, 347.
11. Roy J. R., Leparskas H. Solar Phys., 1973, **30**, 449.
12. Ден О. Е., Макаров В. И., Молоденский М. М. Солнечные данные, 1973, № 3, 101.

**МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ, ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ И ЯРКОСТИ  
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ДИСКА СОЛНЦА****Т. Т. Цап**

Изучаются продольные магнитные поля, лучевые скорости и яркости вблизи центра диска Солнца. Измерения магнитных полей, лучевых скоростей и яркостей проведены на двойном магнитографе Крымской астрофизической обсерватории. Найдено, что средняя напряженность магнитного поля по измерениям в линии  $\lambda 5233 \text{ \AA}$  Fe I равна 18 Гс для поля N-элементов и 23 Гс для поля S-элементов. В отдельных случаях наблюдаются холмы магнитного поля с напряженностью больше 200 Гс.

Имеется хорошая корреляция между распределением магнитного поля в линиях  $\lambda 5250 \text{ \AA}$  Fe I и  $D_1 \text{ Na I}$ , а также между магнитным полем в линии  $\lambda 5250$  и яркостью в  $K_3 \text{ Ca II}$ . Размеры элементов магнитного поля в линиях  $\lambda 5250 \text{ \AA}$  Fe I и  $D_1 \text{ Na I}$  одинаковы.

Сопоставление магнитного поля и лучевых скоростей, измеренных в линиях  $\lambda 5250$  и  $5233 \text{ \AA}$ , показало, что в местах максимальной напряженности в холмах магнитного поля лучевая скорость близка к нулю. Образования типа хромосферной сетки наблюдаются в распределениях яркостей, измеренных в десяти различных спектральных линиях.

THE MAGNETIC FIELDS, VELOCITY FIELDS AND BRIGHTNESS IN THE CENTRAL REGION OF THE SOLAR DISK, by T. T. Tsap.— The longitudinal magnetic fields, velocity fields and brightness at the center of the Solar disk are studied. Observations of the magnetic field, line-of-sight velocities and brightness were made with the double magnetograph of the Crimean astrophysical observatory. It is found that the average magnetic field strength recorded in the iron line  $\lambda 5233 \text{ \AA}$  is 18 Gs for the elements of N-polarity and 23 Gs for the elements of S-polarity. The magnetic elements with the field strength more than 200 gauss are observed in some of the cases.

There is a close correlation between the magnetic field distribution in the  $\lambda 5250 \text{ \AA}$  Fe I and  $D_1 \text{ Na I}$  lines and between the magnetic field in the  $\lambda 5250 \text{ \AA}$  and the brightness in the  $K_3 \text{ Ca II}$  line. The dimensions of the magnetic elements in the  $\lambda 5250$  and  $D_1 \text{ Na I}$  lines are equal.

The comparison of the magnetic field with the radial velocity recorded in the  $\lambda 5250$  and  $5233 \text{ \AA}$  lines has shown that radial velocities are close to zero in the regions of maximal longitudinal magnetic field. The chromospheric network-like pattern is observed in the brightness distribution of ten different spectral lines.

Настоящая работа является продолжением исследования магнитного поля, поля скоростей и яркостей вне активных областей на Солнце [1—5]. В частности, раньше было получено, что распределение яркости в атмосфере Солнца хорошо коррелирует с распределением магнитного поля, а максимумы напряженностей в холмах магнитного поля и максимальные яркости в узлах хромосферной сетки располагаются на нулевых линиях лучевых скоростей.

Однако некоторые из результатов, перечисленных выше, в частности данные о связи движений с магнитными полями, противоречат результатам ряда авторов. Так, наблюдения лучевых скоростей в линии  $\lambda 5250 \text{ \AA}$  Fe I

[6] показали опускание газа на границах супергранул. К аналогичному заключению в результате измерения лучевых скоростей в  $\lambda 5250 \text{ \AA}$  пришли авторы [7]. Опускание вещества на границах хромосферной сетки было также обнаружено по измерениям в линии  $H_\alpha$  [8]. Однако дальнейшие исследования в этом направлении [9] дали другой результат, не было обнаружено никаких скоростей опускания на границах супергранул в линии  $\lambda 5250 \text{ \AA}$ . Скорости опускания в местах сгущения магнитного поля были найдены в [9, 10] только по измерениям в линии  $\lambda 5233 \text{ \AA Fe I}$ . Несколько позже скорости опускания до 300 м/с на границах супергранул были обнаружены по измерениям в линии  $\lambda 6302 \text{ \AA Fe I}$ . [11].

Наконец, недавно авторы [12] получили, что из четырех использованных для измерения лучевых скоростей линий, таких, как  $\lambda 8468 \text{ \AA Fe I}$ ,  $\lambda 4065 \text{ \AA Fe I}$ ,  $\lambda 5123 \text{ \AA Fe I}$  и  $\lambda 5234 \text{ \AA Fe I}$ , скорости опускания на границах супергранул наблюдаются лишь в линии  $\lambda 4065 \text{ \AA}$ . В результате данного исследования авторы пришли к выводу, что скорости опускания на границах супергранул наблюдаются только по измерениям в линиях, образующихся в нижней фотосфере.

Учитывая столь значительные расхождения по одному и тому же вопросу, мы провели дальнейшее изучение поля скоростей, магнитных полей и яркостей вне активных областей на Солнце.

Отличие данной работы от предыдущих наших исследований состоит в том, что она выполнена на наблюдательном материале, полученном с гораздо более высоким разрешением. Магнитные поля, лучевые скорости и яркости измерялись на новом большом солнечном телескопе и новом двойном магнитографе Крымской астрофизической обсерватории [13]. Наблюдения магнитных полей и лучевых скоростей велись в линиях железа  $\lambda 5250 \text{ \AA}$ ,  $\lambda 5233 \text{ \AA}$  и  $D_1 \text{ Na I}$ . Размеры входной щели спектрографа составляли  $1'' \times 4''$ . В дни с очень хорошими изображениями мы провели также несколько записей с размерами щели спектрографа  $1'' \times 1''$ , когда на одном из каналов регистрировалось продольное магнитное поле в линии  $\lambda 5250$ , а на другом канале — яркость в линии  $K_3 \text{ Ca II}$ .

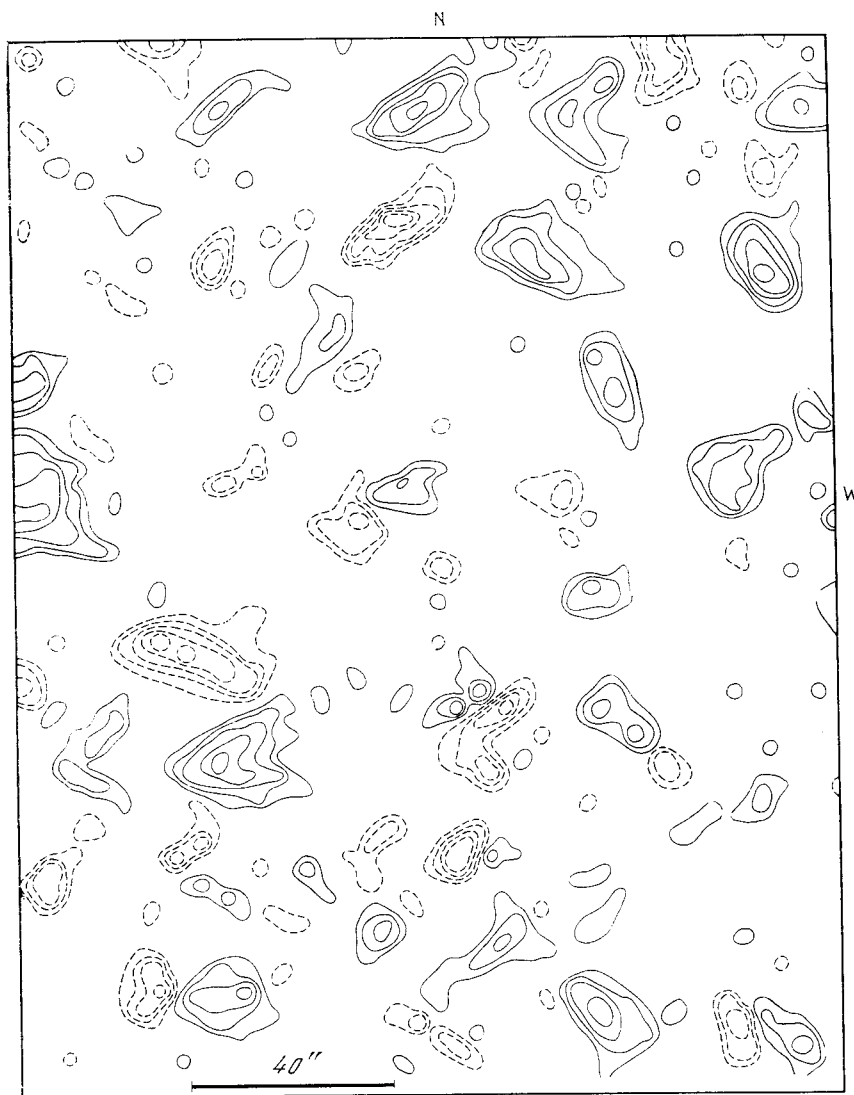
Сканируемые участки выбирались в центре диска Солнца, их размеры составляли обычно  $160'' \times 180''$ . Калибровка магнитных полей проводилась путем регистрации лучевых скоростей у E- и W-краев Солнца с помощью насадки, состоящей из поляроида и фазовой пластинки  $\lambda/4$ . Всего для изучения мы отобрали по 11 записей магнитных полей и лучевых скоростей, выполненных в линиях  $\lambda 5233$  и  $\lambda 5250 \text{ \AA}$  и три записи в линиях  $\lambda 5250 \text{ \AA}$  и  $K_3$ . По этим записям были построены карты распределения магнитных полей, лучевых скоростей и яркостей в изучаемых участках поверхности Солнца.

Кроме того, мы использовали записи яркостей в десяти разных спектральных линиях, которые были проведены ранее с размером входной щели спектрографа  $2'',7 \times 9''$ . Данные этих наблюдений мы уже использовали в работе [5], где и приведено подробное их описание.

## 1. Магнитные поля

На рис. 1 показан пример карты магнитного поля, измеренного в линии  $\lambda 5233$ . Сплошными линиями приведены изогауссы магнитного поля S-полярности, штриховыми — N-полярности.

Просмотр всех карт показал, что, как правило, максимальная напряженность в холмах магнитного поля тем больше, чем больше размер холма поля. Эта особенность была отмечена ранее [14, 15]. Возможно, что увеличение размера холма магнитного поля с ростом его напряженности связано с тем, что в холмах с большей напряженностью силовые линии, расширяясь, продиффундируют на большие расстояния до того момента, когда наступит равновесие с окружающей их атмосферой.



**Рис. 1.** Карта магнитного поля в центральной области диска Солнца в линии  $\lambda 5233$  Изогауссы проведены через 5, 10, 20, 40 и 80 единиц, 1 ед. = 1,2 Гс

Далее по всем картам магнитных полей в линии  $\lambda 5233$  мы построили суммарную гистограмму частоты встречаемости максимальных напряженностей в холмах магнитного поля, которая приведена в табл. 1. В таблицу занесены напряженности магнитного поля, превышающие шум магнитографа, который записывался в конце каждой записи при выключенном напряжении на электрооптическом модуляторе.

При рассмотрении табл. 1 видно, что с ростом напряженности магнитного поля число холмов убывает по экспоненте. Так, количество холмов N- и S-полярностей с величиной напряженности магнитного поля, превышающей 20 Гс, составляет только 27% от общего числа холмов. Холмы магнитного поля S-полярности встречаются в среднем в 1,2 раза чаще, чем холмы N-полярности. Отметим, что магнитная асимметрия в общем поле Солнца впервые была обстоятельно исследована в [16].

Наибольшая напряженность магнитного поля была в холмах поля S-полярности, и в отдельных случаях она превышала 20 Гс. В примеча-

Т а б л и ц а 1

| $H_{\parallel}$ , Гс | $n_i$             |                   | $H_{\parallel}$ , Гс | $n_i$             |                   | $H_{\parallel}$ , Гс | $n_i$             |                   |
|----------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
|                      | N-поляр-<br>ность | S-поляр-<br>ность |                      | N-поляр-<br>ность | S-поляр-<br>ность |                      | N-поляр-<br>ность | S-поляр-<br>ность |
| 4—6                  | 141               | 161               | 52—54                | 3                 | 5                 | 100—102              | —                 | —                 |
| 6—8                  | 46                | 70                | 54—56                | 2                 | 4                 | 102—104              | 2                 | —                 |
| 8—10                 | 120               | 139               | 56—58                | 3                 | 4                 | 112—114              | 2                 | —                 |
| 10—12                | 42                | 41                | 58—60                | 3                 | 2                 | 114—116              | —                 | 5                 |
| 12—14                | 58                | 40                | 60—62                | 4                 | 4                 | 122—124              | —                 | 3                 |
| 14—16                | 23                | 32                | 62—64                | 4                 | 2                 | 124—126              | —                 | 1                 |
| 16—18                | 22                | 14                | 64—66                | 2                 | 2                 | 128—130              | —                 | 1                 |
| 18—20                | 14                | 41                | 66—68                | —                 | —                 | 130—132              | 1                 | —                 |
| 20—22                | 13                | 15                | 68—70                | —                 | 1                 | 136—138              | 1                 | 1                 |
| 22—24                | 12                | 20                | 70—72                | —                 | 3                 | 140—142              | —                 | 1                 |
| 24—26                | 11                | 12                | 72—74                | 2                 | 2                 | 144—146              | —                 | 1                 |
| 26—28                | 10                | 10                | 74—76                | 1                 | 4                 | 150—152              | 1                 | —                 |
| 28—30                | 11                | 14                | 76—78                | 2                 | 1                 | 164—166              | —                 | 1                 |
| 30—32                | 6                 | 6                 | 78—80                | 3                 | 1                 | 172—174              | —                 | 2                 |
| 32—34                | 9                 | 8                 | 80—82                | 1                 | 1                 | 178—180              | —                 | 1                 |
| 34—36                | 7                 | 5                 | 82—84                | 1                 | 2                 | 180—182              | —                 | 2                 |
| 36—38                | 6                 | 15                | 84—86                | 1                 | —                 | 190—192              | —                 | 1                 |
| 38—40                | 4                 | 3                 | 86—88                | —                 | 1                 | 192—194              | 1                 | —                 |
| 40—42                | 9                 | 4                 | 88—90                | 1                 | 3                 | 210—212              | —                 | 1                 |
| 42—44                | 4                 | 4                 | 90—92                | —                 | 1                 | 234—236              | —                 | 1                 |
| 44—46                | 5                 | 5                 | 92—94                | 1                 | 1                 | 238—240              | —                 | 2                 |
| 46—48                | 5                 | 6                 | 94—96                | —                 | 2                 | 246—248              | —                 | 1                 |
| 48—50                | 1                 | 6                 | 96—98                | —                 | 1                 | 294—296              | —                 | 2                 |
| 50—52                | 4                 | 3                 | 98—100               | 1                 | 1                 |                      |                   |                   |

Примечание.  $\bar{H}_N = 18,4$  Гс;  $\bar{H}_S = 23,2$  Гс.

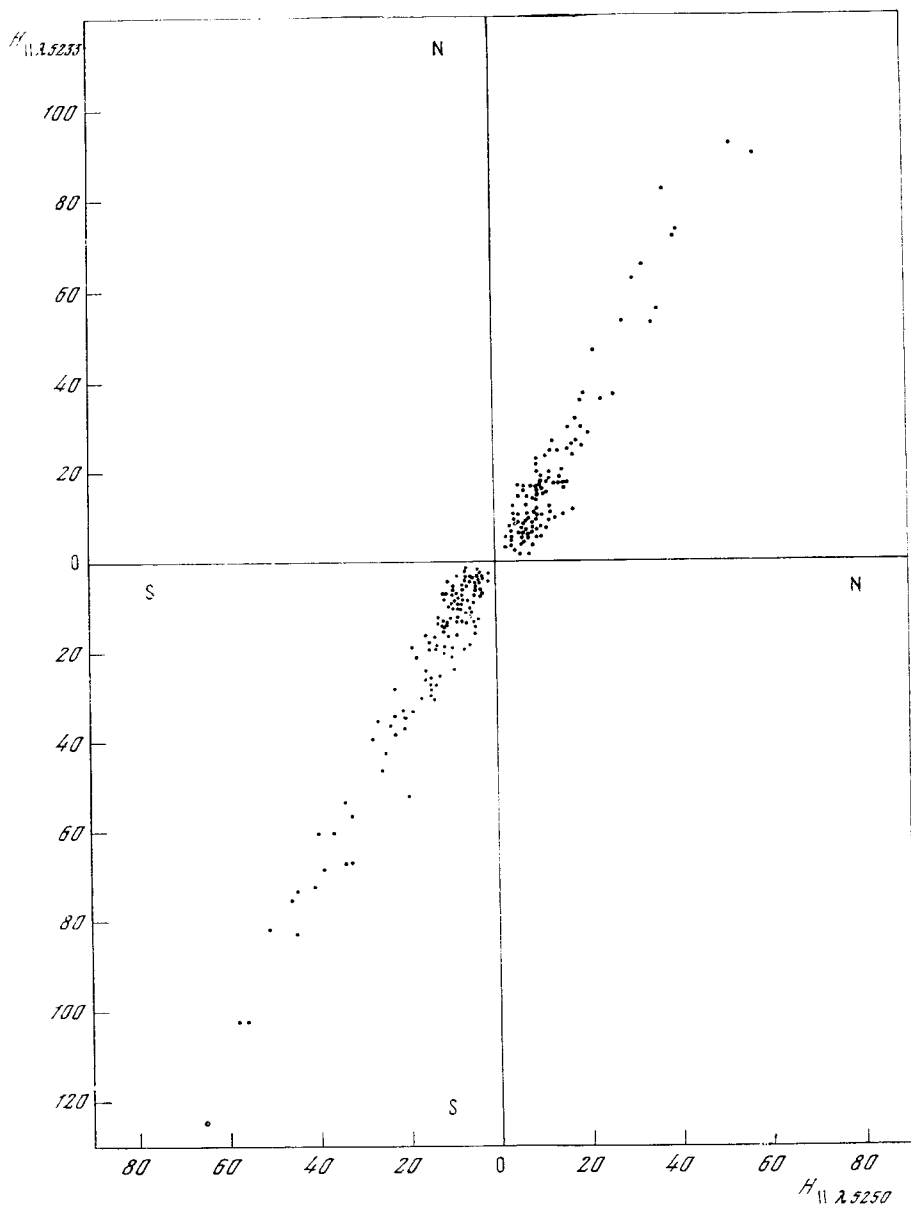
нии к табл. 1 даны значения средневзвешенных максимальных напряженностей N- и S-полярностей, определенных из соотношения

$$\bar{H} = \Sigma n_i H_i / \Sigma n_i. \quad (1)$$

Видим, что средняя напряженность магнитного поля N-полярности равна 18,4 Гс, а S-полярности 23,2 Гс. Средняя напряженность магнитного поля S-полярности в 1,26 раза превышает среднюю напряженность поля N-полярности.

Наши величины средних напряженностей очень близки к данным [10], где приведено значение 26 Гс. Несколько меньшее значение приведенных выше величин средних напряженностей по сравнению с данными [10] можно, вероятно, объяснить тем, что наши измерения проведены в 1975 г., т. е. в период, более близкий к минимуму солнечной активности, чем измерения [10], которые были проведены в 1970 г. В то же время известно, что напряженность магнитного поля вне активных областей меняется с фазой цикла солнечной активности [16—18]. Она больше в годы максимума солнечной активности и меньше в годы минимума. Вместе с тем вряд ли возможно дать сейчас окончательный ответ, в каких именно спектральных линиях измерения дают истинную величину напряженности магнитного поля. Действительно, сопоставления напряженностей магнитного поля, измеренных в разных спектральных линиях, показали, что между ними имеются существенные различия, и причина этих расхождений пока не совсем ясна [19].

На рис. 2 приведен пример зависимости между напряженностями магнитного поля, измеренными в линиях  $\lambda 5250$  и  $\lambda 5233$  Å. Как видим, существует тесная корреляция между распределением магнитного поля в этих линиях. Напряженность магнитного поля в линии  $\lambda 5233$  Å в среднем примерно в 3 раза выше, чем в линии  $\lambda 5250$  Å. В [20] это различие в напряженностях магнитного поля объясняется тесной зависимостью от тем-



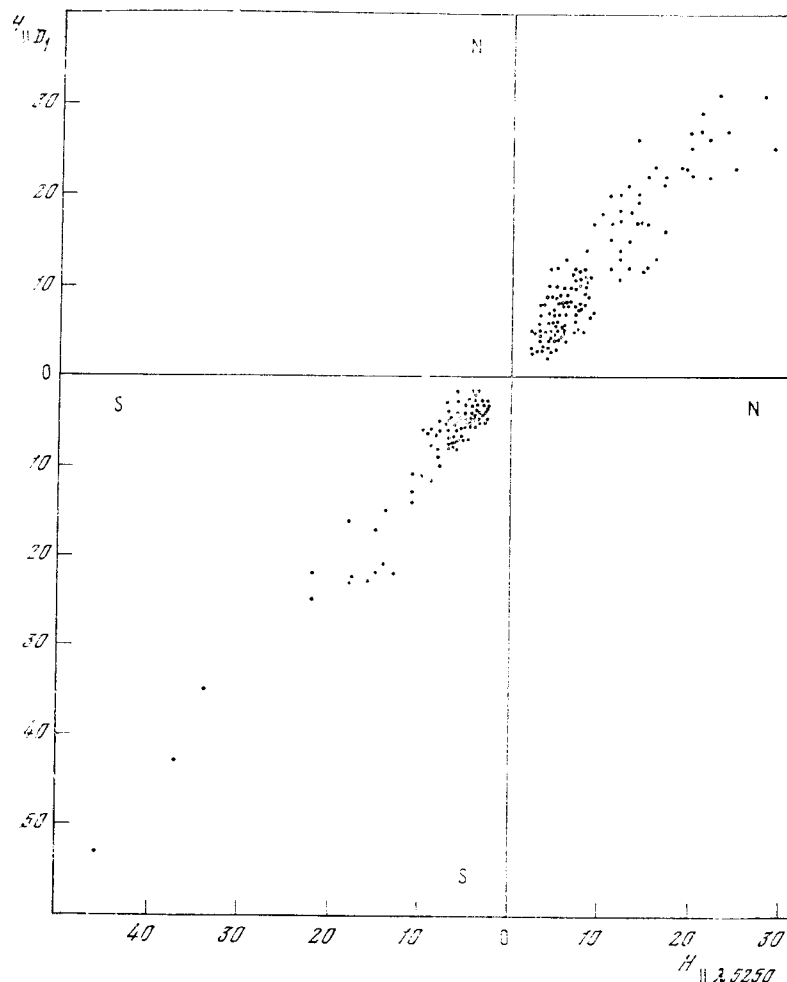
**Рис. 2.** Зависимость между продольными магнитными полями, измеренными в линиях  $\lambda 5250$  и  $\lambda 5233$  Å

Для  $\lambda 5233$  1 ед. = 1,7 Гс, для  $\lambda 5250$  1 ед. = 0,9 Гс

пературы формы профиля линии  $\lambda 5250$  Å. Однако, как мы отмечали выше, подобное несоответствие имеется между напряженностями магнитного поля, измеренными по многим другим линиям, и объяснить его влиянием на контуры линий одной только температуры невозможно.

Рис. 3 иллюстрирует зависимость между магнитными полями, измеренными одновременно в линиях  $\lambda 5250$  Å Fe I и  $D_1$  Na I. Из него следует, что корреляция между распределением магнитных полей в данных линиях очень высока. Последнее хорошо согласуется с более ранними результатами о наличии тесной связи между распределениями магнитных полей, измеренных по многим парам других линий [5, 24].

Из рис. 3 также видно, что напряженность магнитного поля в линии



**Рис. 3.** Зависимость между магнитными полями, измеренными в линиях  $\lambda 5250 \text{ \AA Fe I}$  и  $D_1 \text{ Na I}$

Для  $D_1$  1 ед. = 2,0 Гс, для  $\lambda 5250$  1 ед. = 0,7 Гс

$D_1$  примерно в 3 раза больше, чем в линии  $\lambda 5250 \text{ \AA}$ . В то же время известно [22], что линия  $D_1$  образуется в более высоких слоях атмосферы Солнца по сравнению с линией  $\lambda 5250 \text{ \AA}$ . Очевидно, здесь мы имеем не реальное увеличение с высотой напряженности магнитного поля, а некоторую неопределенность в калибровке магнитных полей, измеренных на магнитографе.

Одновременно отметим еще, что факт тесной корреляции между распределением магнитных полей на разных высотах в атмосфере Солнца можно рассматривать как некоторый косвенный аргумент, свидетельствующий в пользу предположения, что магнитное поле просачивается из нижних в более верхние слои атмосферы без существенных изменений. Некоторое дополнительное подтверждение в пользу такого суждения можно получить из сравнения размеров магнитных элементов по измерениям магнитных полей в линиях, возникающих на разных глубинах. С этой целью мы измерили полуширины одних и тех же магнитных элементов в линиях  $\lambda 5250 \text{ \AA}$  и  $D_1$ . Результаты измерений представлены на гистограммах на рис. 4. Рассмотрение гистограмм показывает, что они очень близки между собой. Максимальные значения частот встречаемости на обоих распределениях

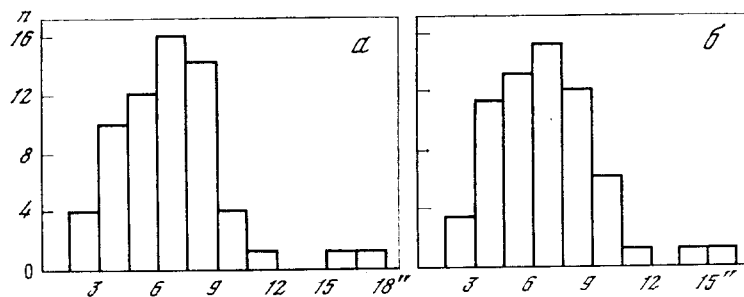


Рис. 4. Гистограммы полуширин магнитных элементов по измерениям в линии  $\lambda 5250 \text{ \AA}$  (а) и в линии  $D_1$  (б)

наблюдаются в области размером  $\sim 7''$ . Вычисленные по данным рис. 4 средние взвешенные значения полуширин получились для обеих линий одинаковыми и равными  $6'',6$ .

Таким образом, эти данные указывают, вероятно, на то, что магнитные трубки просачиваются вверх без заметного расширения. Одной из возможных причин, которая препятствует расширению силовых трубок по мере их проникновения в менее плотные верхние слои атмосферы Солнца, может быть то, что жгуты магнитного поля имеют азимутальную составляющую. Интересно напомнить, что в активных областях вращение магнитного поля с глубиной было установлено непосредственно наблюдениями [23].

## 2. Магнитные поля и яркость

Как неоднократно указывалось ранее [1, 24—29], имеется хорошая корреляция между распределением фотосферного магнитного поля и яркости в линии К Са II. Здесь мы проводим сопоставление яркостей в невозмущенной хромосфере в линии  $K_3$  с магнитным полем, измеренным в линии железа  $\lambda 5250 \text{ \AA}$ .

Сравнение записей магнитного поля и яркостей показало, что практически каждому холму магнитного поля соответствует узел яркости в  $K_3$ . Пример зависимости между яркостью в  $K_3$  и продольным магнитным полем в  $\lambda 5250 \text{ \AA}$  приведен на рис. 5. Яркость в каждой точке выражена в единицах яркости соседних мест на Солнце, где напряженность магнитного поля равна нулю.

Из рис. 5 видно, что яркость в линии  $K_3$  растет в среднем с увеличением напряженности поля. Все это хорошо согласуется с более ранними аналогичными исследованиями. Сравнение приводимых здесь данных с выполненными нами ранее измерениями яркости в  $K_3$  в центральной области диска Солнца с разрешением  $(2'',7 \times 9'')$  показало лишь некоторое (до 15%) увеличение контраста ярких узелков. Столь малое изменение величины контраста с значительным увеличением разрешения связано, очевидно, с тем, что наблюдаемые в линиях кальция яркие узелки хромосферной сетки являются относительно крупномасштабными образованиями [30].

Факт увеличения яркости с ростом напряженности магнитного поля и, как будет сказано ниже, подавление движений в местах концентрации магнитного поля указывают на то, что дополнительный нагрев хромосферы в местах повышенного излучения должен зависеть от величины напряженности магнитного поля. Таким наиболее вероятным механизмом дополнительного нагрева может быть джоулева диссипация в частично ионизованном газе [31].

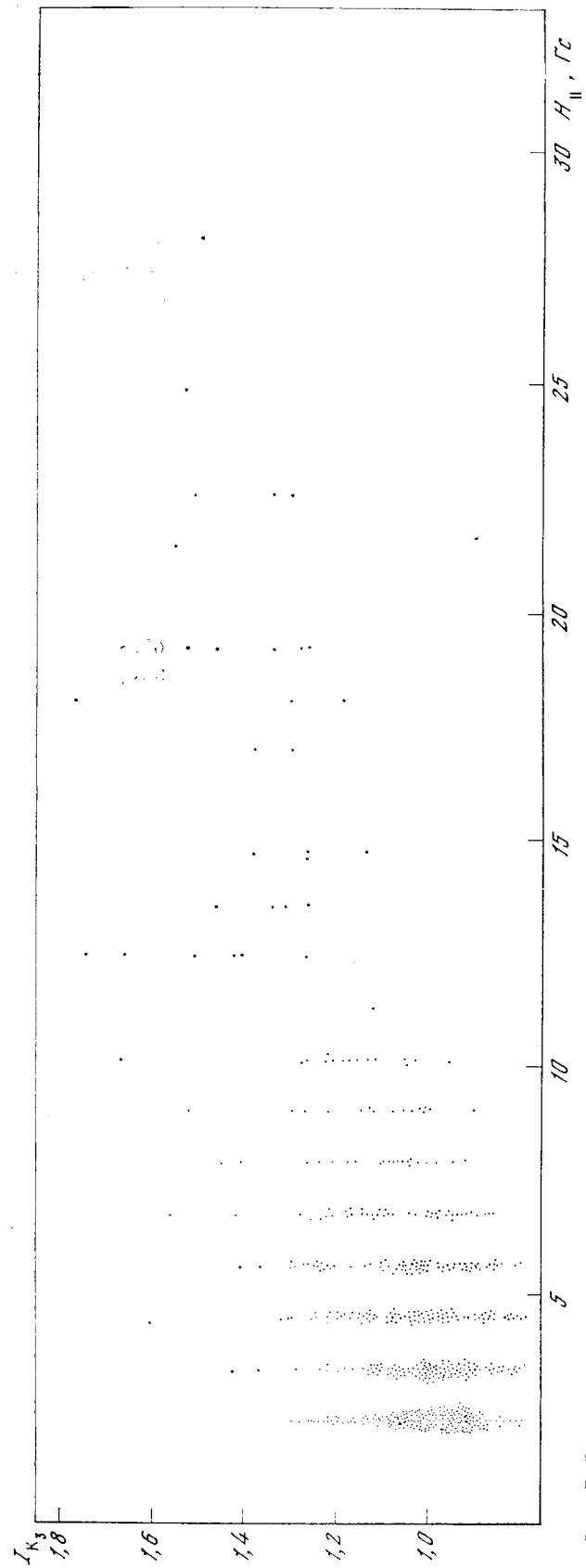


Рис. 5. Зависимость яркости в  $K_3$  от величины напряженности продольного магнитного поля в  $\lambda 5250$  для центральной области диска Солнца

### 3. Магнитные поля и скорости

Рассмотрим теперь связь между магнитными полями и лучевыми скоростями. С этой целью мы, так же как в [3, 4], по картам магнитных полей и лучевых скоростей определяли в местах максимальной напряженности в каждом из холмов магнитного поля величину и знак лучевой скорости. Затем по всем измерениям в данной линии строили общую гистограмму частоты появления максимальных напряженностей в холмах магнитного поля в зависимости от величины скорости в местах максимальной напряженности холмов магнитного поля (распределение по скоростям). Распределения по скоростям по данным измерений в линиях  $\lambda 5233$  и  $\lambda 5250$  Å

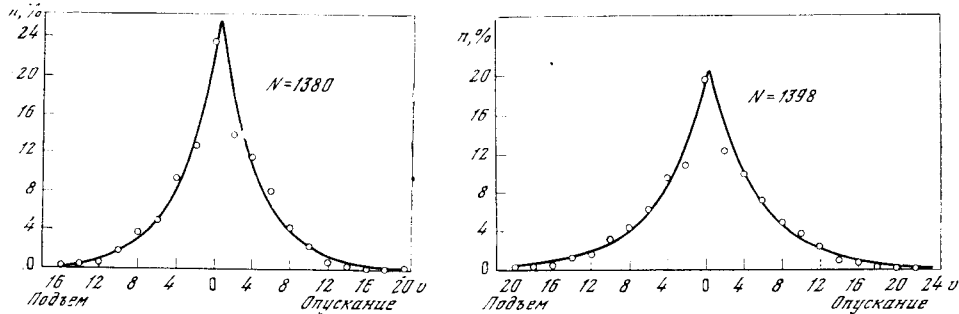


Рис. 6. Распределения по скоростям, построенные по данным измерений в линии  $\lambda 5233$  (слева) и в линии  $\lambda 5250$  (справа); 1 ед. = 34 м/с

приведены на рис. 6. Кружками нанесены данные наблюдений, а сплошной линией проведена кривая

$$\varphi(v) = be^{-\frac{|v-v_1|}{v_0}}. \quad (2)$$

Полное число  $N$  случаев, по которым построено каждое распределение, указано на рисунках. Аппроксимация наблюдаемых частотных распределений проведена при значениях параметров  $v_0 = 131$ ,  $v_1 = 20,4$  м/с для линии  $\lambda 5233$  Å и  $v_0 = 170$ ,  $v_1 = 13,6$  м/с для линии  $\lambda 5250$  Å. Следует заметить, что приведенные выше распределения довольно близки к результатам [3,4]. Далее из рис. 6 следует, что оба распределения практически симметричны относительно скорости  $v = 0$  и только сдвинуты незначительно в сторону скоростей, указывающих на опускание вещества. Скорости опускания равны 20 и 14 м/с по данным измерений в линиях  $\lambda 5233$  и  $\lambda 5250$  Å соответственно. Таким образом, видим, что наблюдения с более высоким разрешением также показали, что в местах максимальной напряженности в холмах магнитного поля лучевая скорость в среднем близка к нулю. Локализация максимальных напряженностей в холмах магнитного поля в области близких к нулю значений лучевых скоростей указывает, по-видимому, на подавление в этих местах движения вещества магнитным полем.

### 4. Крупномасштабная структура в яркостях

В [5] методом автокорреляционных функций мы изучали распределение яркостей в центральной области диска Солнца по измерениям в центральных частотах десяти различных спектральных линий, таких, как  $\lambda 5250$  Å,  $\lambda 6103$ ,  $D_1$  Na I,  $\lambda 4227$ ,  $\lambda 5184$  Å,  $H_\delta$ ,  $H_\gamma$ ,  $H_\beta$ ,  $K_\beta$ ,  $H_\alpha$ . Анализ этих автокорреляционных кривых показал, что на них всего лишь в 30% случаев наблюдаются вторичные максимумы в области размера  $\sim 40''$ , характерного для хромосферной сетки. Здесь мы снова изучаем этот же наблюдательный материал, но другим способом.

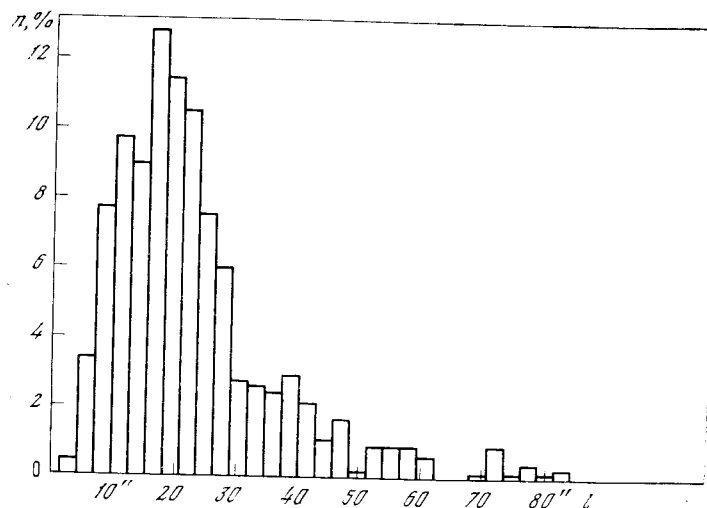


Рис. 7. Гистограмма по расстояниям по данным измерений в линии  $\lambda 6103$

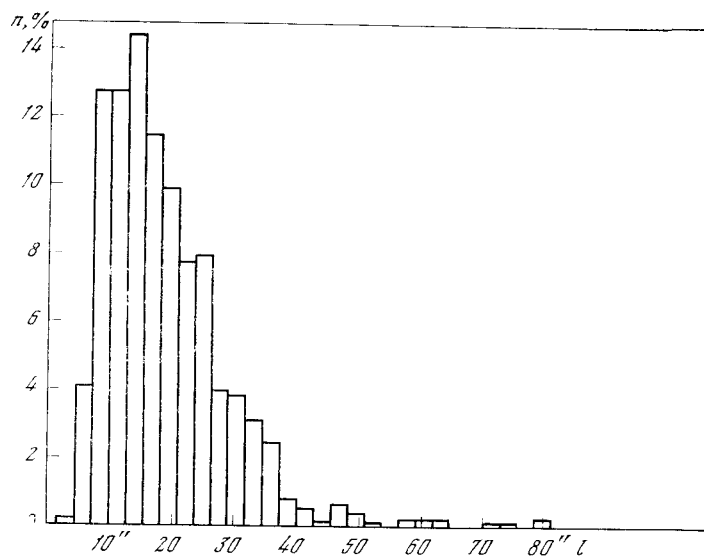


Рис. 8. Гистограмма по расстояниям по данным измерений в линии  $D_1$

Мы измеряли вдоль каждого из разрезов яркости расстояние между соседними максимумами и минимумами интенсивностей и затем по этим измерениям строили для каждой записи гистограмму. Примеры частотных распределений по расстояниям по данным измерений в разных линиях приведены на рис. 7—12. По оси абсцисс отложены расстояния в секундах дуги, а по оси ординат — число случаев в процентах. Из рис. 7—12 видно, что во всех распределениях имеются максимумы частоты встречаемости в области размера  $\sim 20''$ . Сравнение гистограмм, построенных по измерениям в одной и той же линии, но в разные дни, показало, что положение их максимумов в распределении может несколько смещаться как в сторону меньших, так и в сторону больших расстояний. Однако в целом различия между ними невелики.

Поэтому в дальнейшем мы вычислили средневзвешенные значения по расстояниям, усредненные по всем записям, полученным в каждой из перечисленных выше спектральных линий. Данные вычислений представлены в табл. 2. В первом столбце указана линия, во втором приведено среднее

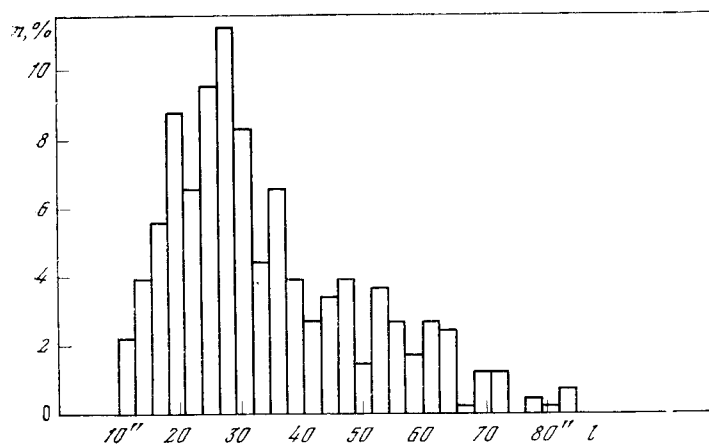


Рис. 9. Гистограмма по расстояниям по данным измерений в линии  $H_\alpha$

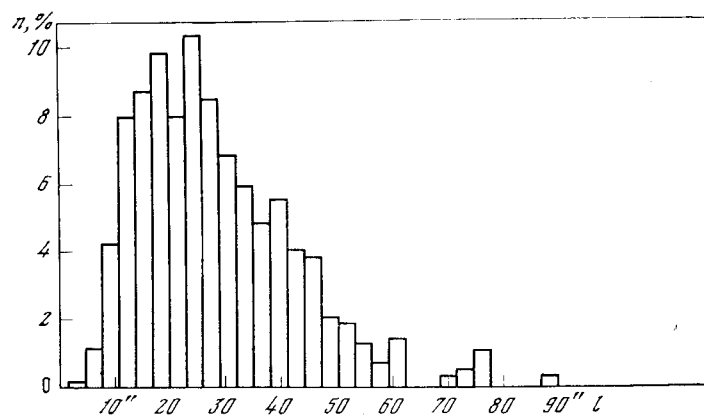


Рис. 10. Гистограмма по расстояниям по данным измерений в линии  $H_\beta$

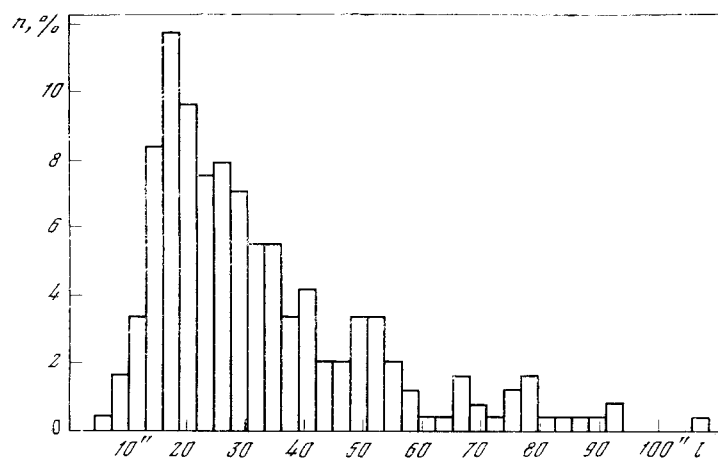


Рис. 11. Гистограмма по расстояниям по данным измерений в линии  $K_s$

расстояние между узлами яркостей и в последнем — число записей, по которым вычислено среднее расстояние.

Из табл. 2 видно, что найденные по измерениям в разных спектральных линиях средние значения расстояний между узлами яркостей в целом близки между собой. Наибольшее значение среднего расстояния, равное

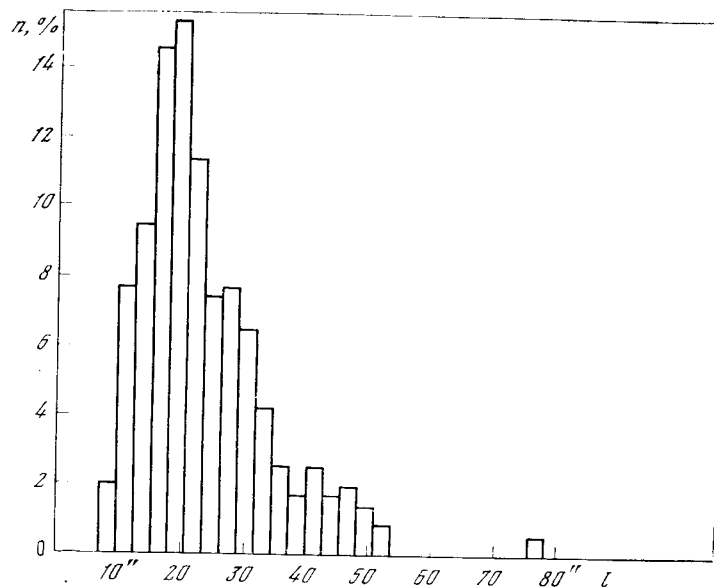


Рис. 12. Гистограмма по расстояниям по данным измерений в линии  $H_{\alpha}$

36", получено по данным измерений в линии  $K_3$  Ca II. Указанная величина близка к значению среднего размера хромосферной сетки, найденного по измерениям спектрогелиограмм в этой же линии [25].

Таким образом, наши измерения указывают на то, что пространственная структура типа хромосферной сетки наблюдается во всех перечисленных выше линиях.

Размер сетки минимален в области образования линии  $D_1$  Na I. На уменьшение размера сетки в линии  $D_2$  Na I было указано ранее [32]. Воз-

Таблица 2

| $\lambda, \text{\AA}$ | $\bar{l}''$    | $n$ | $\lambda, \text{\AA}$ | $\bar{l}''$    | $n$ |
|-----------------------|----------------|-----|-----------------------|----------------|-----|
| $H_{\alpha}$          | $24,4 \pm 0,4$ | 9   | 5184 Mg I             | $24,7 \pm 0,5$ | 2   |
| $K_3$                 | $36,3 \pm 0,7$ | 5   | 4227 Ca I             | $22,7 \pm 0,8$ | 1   |
| $H_{\beta}$           | $25,9 \pm 0,3$ | 4   | $D_1$ Na I            | $21,1 \pm 0,7$ | 3   |
| $H_{\gamma}$          | $32,8 \pm 0,8$ | 2   | 6103 Ca I             | $24,9 \pm 0,3$ | 8   |
| $H_{\delta}$          | $34,5 \pm 1,1$ | 1   | 5250 Fe I             | $26,0 \pm 0,8$ | 1   |

можно, что наблюдаемое изменение размера сетки при переходе от одной спектральной линии к другой связано с характером различия в структуре образований, наблюдаемых в свете данных линий. Подробное описание структурных особенностей атмосферы Солнца в разных спектральных линиях можно найти в книге [33].

Наконец, сделаем еще замечание по поводу возможной причины расхождения изложенных только что результатов с нашими данными [5]. Причиной этой может быть то, что при вычислении автокорреляционных функций мы использовали не более третьей части всех разрезов в каждой записи яркостей. Здесь же, при измерении расстояний между узлами яркости, мы использовали все разрезы в каждой из серий наблюдений.

## Выводы

1. Средневзвешенная напряженность продольного магнитного поля в центральной области диска Солнца равна по измерениям в линии  $\lambda 5233 \text{ \AA}$  18 Гс для N-полярности и 23 Гс для S-полярности. Число холмов N- и S-полярностей с напряженностью, превышающей 20 Гс, составляет 27% от общего числа холмов магнитного поля. В редких случаях наблюдаются холмы магнитного поля с напряженностью больше 200 Гс. При этом с ростом величины напряженности магнитного поля в холме увеличивается размер холма. Размеры элементов магнитного поля в линиях  $\lambda 5250 \text{ \AA}$  и  $D_1$  одинаковы.

2. Имеется тесная корреляция между магнитными полями, измеренными в линиях  $\lambda 5250 \text{ \AA}$  и  $D_1$ , а также между магнитным полем в  $\lambda 5250 \text{ \AA}$  и яркостью в линии  $K_3 \text{ Ca II}$ .

3. Максимальные напряженности в холмах магнитного поля располагаются в местах с близким к нулю значением лучевых скоростей.

4. Образования типа хромосферной сетки наблюдаются во всех перечисленных выше линиях.

Автор выражает глубокую благодарность академику А. Б. Северному за ценные указания и С. И. Гандже за помощь в обработке наблюдений.

Ноябрь 1976 г.

## Л и т е р а т у р а

1. Цап Т. Т. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1966, 35, 161.
2. Гонасюк С. И., Цап Т. Т. Астрон. ж., 1970, 47, 1012.
3. Гонасюк С. И., Цап Т. Т. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1972, 45, 3.
4. Гонасюк С. И., Цап Т. Т. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1973, 47, 26.
5. Цап Т. Т. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1974, 50, 159.
6. Tapenbaum A. S., Wilcox J. M., Frazier E. N., Howard R. Solar Phys., 1969, 9, 328.
7. Musman S., Rust D. M. Solar Phys., 1970, 13, 261.
8. Elliott S. Solar Phys., 1969, 6, 28.
9. Frazier E. N. Solar Phys., 1970, 14, 89.
10. Skumanich A., Smythe C., Frazier E. N. Astrophys. J., 1975, 200, 747.
11. Deubner F. L. Solar Phys., 1971, 17, 6.
12. Simon P. W., Simon G. W. Solar Phys., 1976, 46, 73.
13. Границкий Л. В., Границкая Л. А., Дидковский Л. В., Никулин Н. С. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1977, 56, 181.
14. Severny A. B. IAU Colloquia N 36, 1976, Nice, France (in press).
15. Гонасюк С. И., Цап Т. Т. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1974, 49, 3.
16. Северный А. Б. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1966, 35, 97.
17. Howard R. Solar Phys., 1974, 38, 59.
18. Howard R. Solar Phys., 1974, 38, 283.
19. Gopasyuk S. I., Kotov V. A., Severny A. B., Tsap T. T. Solar Phys., 1973, 31, 307.
20. Sheeley N. R. Solar Phys., 1967, 1, 171.
21. Северный А. Б. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1968, 38, 3.
22. Ягер К. де. Строение и динамика атмосферы Солнца. М., ИЛ, 1962, с. 69.
23. Северный А. Б. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1964, 31, 126.
24. Howard R. F. Astrophys. J., 1959, 130, 193.
25. Simon G. W., Leighton R. B. Astrophys. J., 1964, 140, 1120.
26. Chapman G. A., Sheeley N. R. Solar Phys., 1968, 5, 442.
27. Vassilyeva G. J., Tchandoev A. K. IAU Sympos. N 35, 1976, p. 236.
28. Григорьев В. М. В кн.: Исследования по геомагнетизму, аэронавигации и физике Солнца, вып. 2. М., «Наука», 1971, с. 3.
29. Кузнецов Д. А., Степанов В. Е. В кн.: Результаты наблюдений и исследований в период МГСС, вып. 4. М., «Наука», 1967, с. 82.
30. Цап Т. Т. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1961, 26, 45.
31. Гонасюк С. И., Цап Т. Т. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1972, 46, 101.
32. Гольдберг-Рагозинская Н. М., Крам В. А. Солнечные данные, 1968, № 12, 65.
33. Bray R. J., Loughed R. The solar chromosphere. London, 1974.

## О РАСПОЛОЖЕНИИ ПЯТЕН ОТНОСИТЕЛЬНО СЕКТОРНОЙ СТРУКТУРЫ МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

М. Б. Огирь

Все группы пятен за период с 1968 по 1974 г. были объединены в 535 комплексов активности, для чего использовались карты магнитных полей всего Солнца, карты радиоизлучения на волне 9,1 см и  $H_{\alpha}$ -спектрогелиограммы. Геометрические центры комплексов были нанесены на карты секторной структуры межпланетного магнитного поля. Вычисление магнитных потоков от отдельных групп пятен и суммарного потока в целом по комплексу не обнаружило в них каких-либо особенностей в связи со структурой межпланетного магнитного поля. Было рассмотрено также распределение центров комплексов активности относительно секторных границ. Установлено, что это распределение имеет случайный характер. Следовательно, можно считать, что не существует связи между солнечными пятнами и секторной структурой межпланетного магнитного поля.

SUNSPOT DISTRIBUTION RELATIVE TO INTERPLANETARY MAGNETIC FIELD SECTOR STRUCTURE, by M. B. Ogir.— All the sunspot groups for the period of 1968—1974 years were united in 535 complexes of activity by using magnetic field maps of the whole Sun, the maps of 9,1 cm radio emission and  $H_{\alpha}$ -spectroheliograms. The geometrical centres of complexes were plotted on the Interplanetary magnetic field Sector Structure Cards. Calculation of the magnetic fluxes from the separate sunspot groups and the summary flux from the whole complex don't show any peculiarity in relation to Interplanetary magnetic field Sector Structure. The distribution of the centres of complexes relative to the sector boundaries was also studied. It was determined that this distribution occurs by a pure chance.

It may be assumed that there is no connection between sunspots and Interplanetary magnetic field Sector Structure.

Целью работы является попытка обнаружения каких-либо особенностей в эволюции групп пятен и их положении на диске Солнца по отношению к структуре межпланетного магнитного поля (м.м.п.).

Согласно американским исследованиям [1], структура м.м.п. соответствует крупномасштабным магнитным полям на Солнце, а секторная граница представляет собой линию, идущую на поверхности Солнца приблизительно с севера на юг между областями фотосферы с фоновыми полями одного знака. Значит, если бы удалось установить наличие связи между пятнами и структурой м.м.п., то это бы означало наличие связи между пятнами и крупномасштабными фотосферными полями Солнца.

При выполнении работы было использовано уже существующее представление о том, что активные области располагаются на Солнце не беспорядочно, а объединяются в группы, называемые комплексами активности [2, 3].

Использовался следующий наблюдательный материал, охватывающий период с 1968 по 1974 г.:

7.58<sup>h</sup> comp. 26

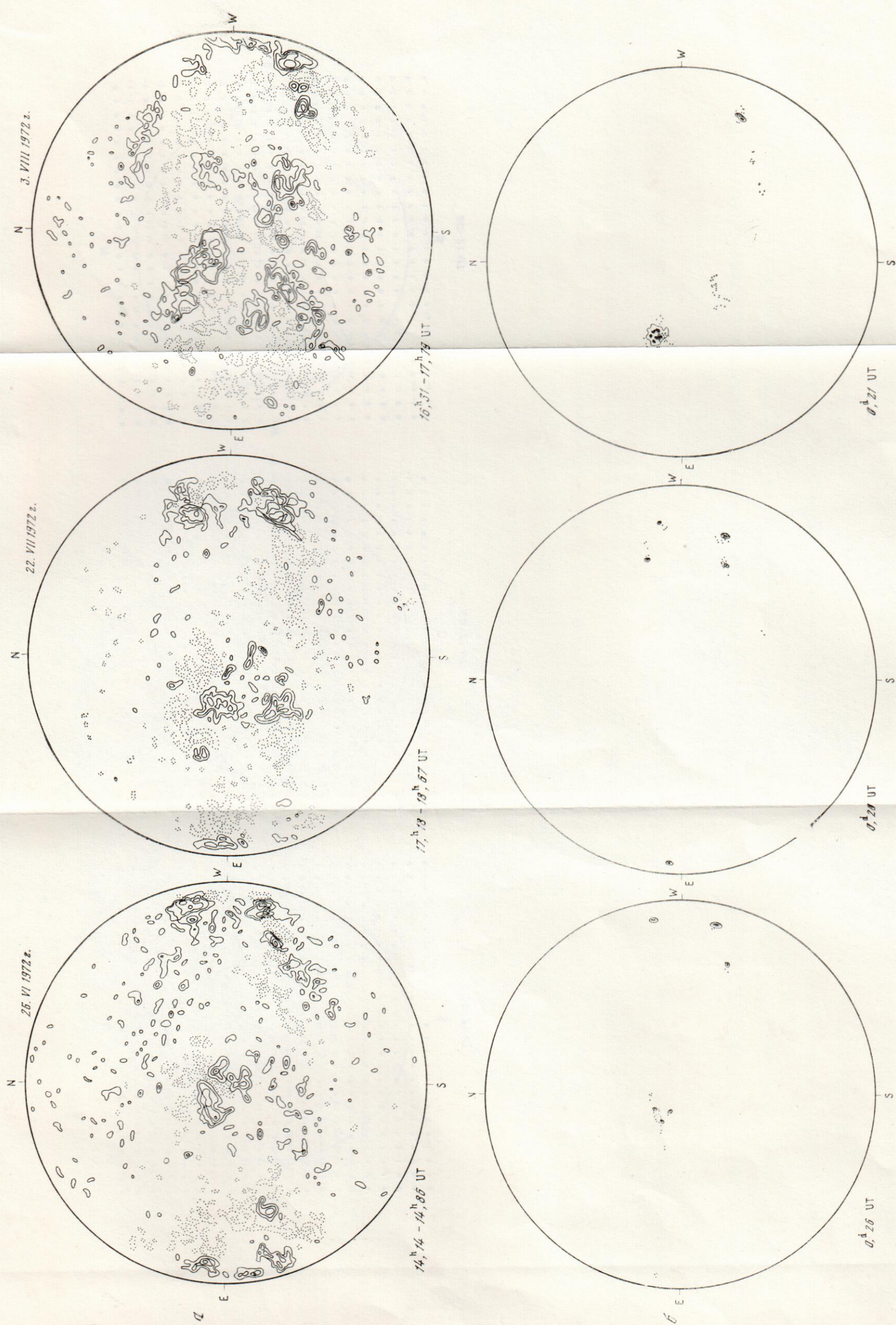
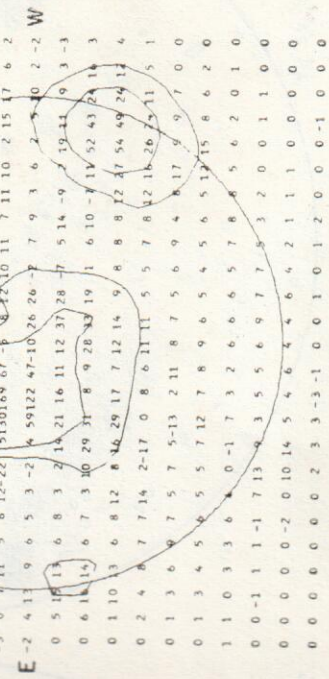
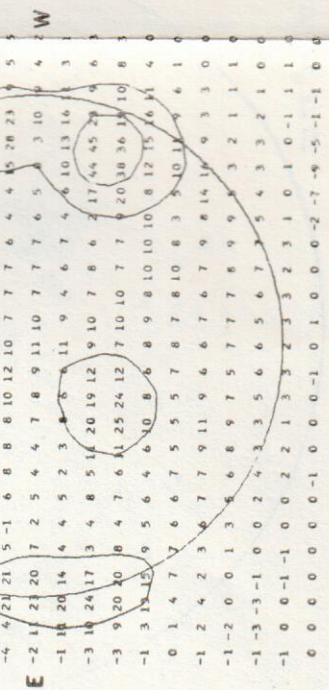
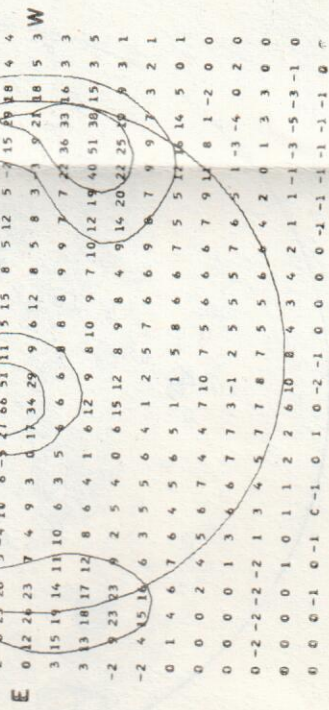
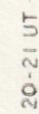
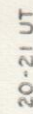
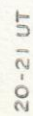
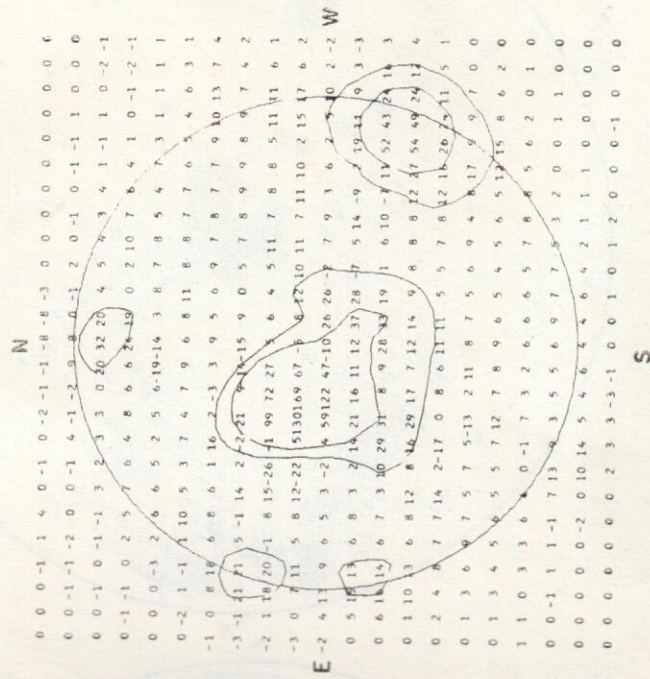
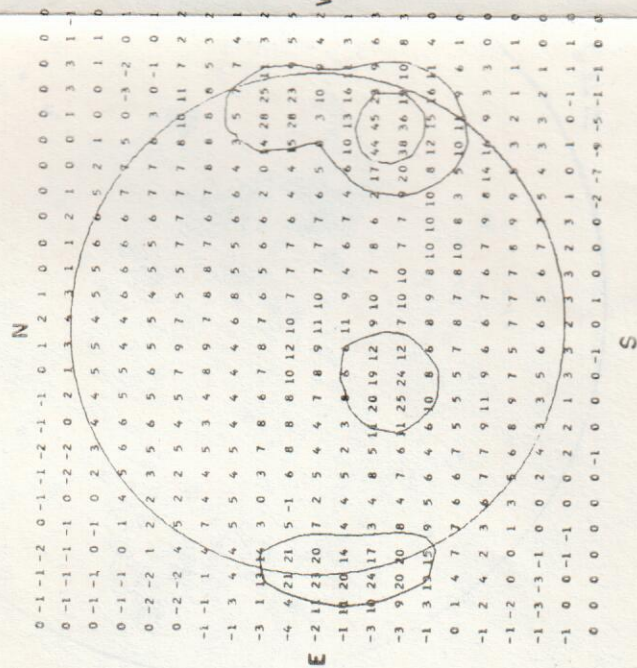
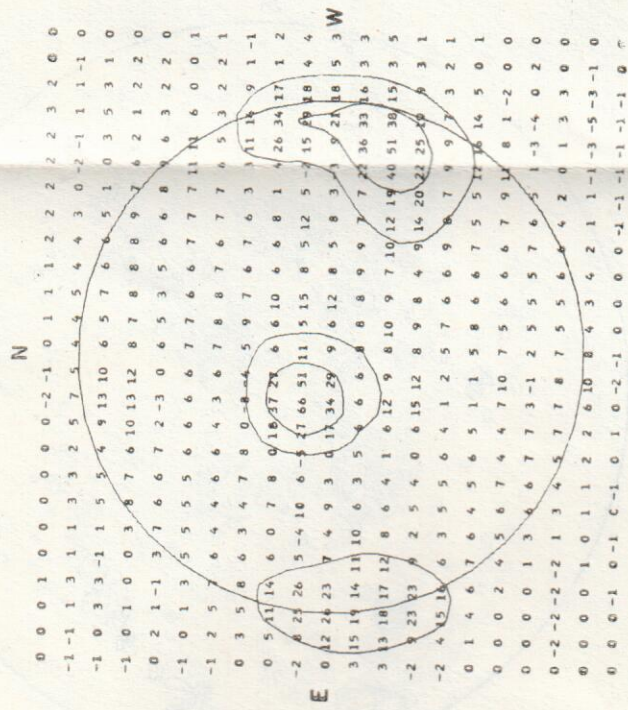


Рис. 1. Вид нескольких комплексов активности  
 а — на картах магнитных полей (сплошные линии — N-полярность, пунктир — S-полярность), б — на фотогелиограммах,  $\sigma$  — на картах радионизлучения ( $\lambda 0,1$  см)  
 Изв. Крымской обсерватории, т. LVIII



- 1) зарисовки и визуальные измерения магнитных полей пятен из бюллетеня «Солнечные данные» [4];
- 2) карты магнитных полей всего Солнца из журналов «Solar-Geophysical Data» [5];
- 3) карты радиоизлучения всего Солнца на волне 9,1 см, взятые также из [5];
- 4) Атлас межпланетной секторной структуры 1957—1974 гг. [6].

#### 1. Описание комплексов активности

Выделение комплексов активности по одним только фотогелиограммам в большинстве случаев весьма затруднительно и неуверенно. В процессе изучения всего наблюдательного материала была замечена возможность более точного объединения групп пятен в комплексы по магнитным полям и радиоизлучению на волне 9,1 см.

На картах магнитных полей комплексы выглядят как довольно протяженные зоны сильных магнитных полей, разделенных между собой областями гораздо более слабого поля. Эти граничные области между комплексами состоят из клочковатых униполярных или очень некомпактных

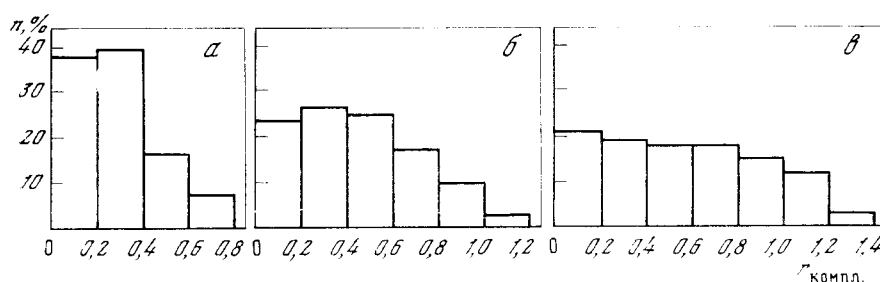


Рис. 2. Долготные распределения расстояний центров групп пятен относительно центров комплексов

а — для больших групп пятен ( $S_{\max} > 150$  м.д.п.),  $n = 252$ ; б — для малых групп ( $50$  м.д.п.  $< S_{\max} \leq 150$  м.д.п.),  $n = 244$ ; в — для пор ( $S_{\max} \leq 50$  м.д.п.),  $n = 215$

биполярных полей с напряженностью от 5 до 40 Гс. Они вытянуты примерно вдоль меридиана с наклоном от 0 до 40° к нему, а их протяженность по долготе в среднем равна 10—20 гелиографическим градусам. На картах радиоизлучения на волне 9,1 см комплексы видны как холмы радио-яркости.

На рис. 1 показан вид нескольких комплексов по магнитным полям, пятнам и радиоизлучению в отдельности.

Всего за период с 1968 по 1974 г. было выделено 535 комплексов, из которых было 338 «сильных», т. е. таких, куда входили большие группы пятен с площадями больше 150 млн. долей полусферы. В остальных, «слабых», комплексах были лишь очень малые пятна и поры или вообще не было пятен. Пятна могли располагаться в комплексах как в обоих полушариях сразу, так и в каком-либо одном полушарии, причем в годы максимума 20-го цикла в северном полушарии было больше пятен, чем в южном, а вблизи минимума наоборот.

Грубые оценки долготных размеров комплексов дают в основном значения от 20 до 100 гелиографических градусов с максимумом распределения около 60° для лет максимума и спада активности. Вблизи минимума активности комплексы становятся все менее протяженными. Ошибка определения долготных размеров комплексов составляет  $\pm 10$ —20 гелиографических градусов.

Не всегда можно было уверенно сказать, что данное объединение групп пятен представляет собой один, а не два тесно примыкающих друг

к другу комплекса. Вследствие этого для лет максимума солнечной активности ошибка в определении количества комплексов доходит до 20%, а для 1970 г. она еще больше — до 30%. На фазе спада активности она меньше — до 10%.

Было рассмотрено долготное распределение групп пятен в пределах комплексов активности. Определялось расстояние всех групп пятен от центров соответствующих комплексов в долях радиуса комплекса. Полученные распределения представлены на рис. 2 отдельно для групп с разными площадями (использовались лишь те группы, у которых были известны  $S_{\max}$ ). Оказалось, что поры практически равномерно распределены вдоль комплексов. Малые группы с  $50 \text{ м.д.п.} < S_{\max} \leq 150 \text{ м.д.п.}$  довольно равномерно распределяются вдоль зоны от 0 до 0,8 радиуса комплекса. Большие же группы пятен с  $S_{\max} > 150 \text{ м.д.п.}$  обнаружили концентрацию к геометрическому центру комплексов. Аналогичным оказалось и распределение групп пятен со вспылками балла  $\geq 1b$ .

Вследствие этого геометрические центры комплексов были грубо приняты за их центры тяжести. И далее при изучении распределения комплексов относительно структуры м.м.п. рассматривалось именно распределение их геометрических центров.

## 2. Распределение комплексов активности относительно секторной структуры м.м.п.

Данные о структуре межпланетного магнитного поля были взяты из атласа [6]. Центры всех 535 комплексов были нанесены на карты секторной структуры поля с учетом сдвига на 4,5 дня.

Из работ [7, 8] следует, что магнитные потоки от пятен не вносят никакого вклада в межпланетное магнитное поле. Однако была предпринята попытка выяснить, нет ли каких-либо особенностей в эволюции групп пятен, в характере изменения магнитных потоков в каждой группе или

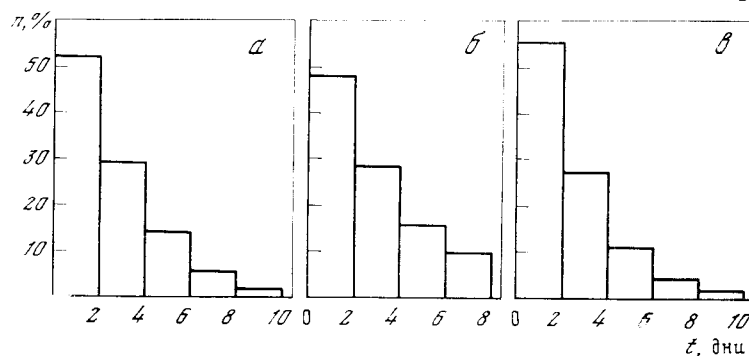


Рис. 3. Распределение расстояний центров комплексов относительно секторных границ

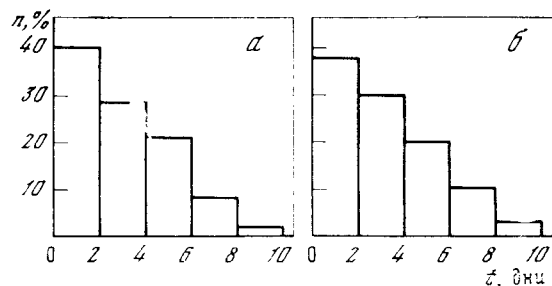
*a* — для «сильных» комплексов,  $n = 338$ ; *b* — для «слабых»,  $n = 197$ ; *v* — для комплексов со вспылками балла  $\geq 1b$ ,  $n = 181$

в целом по комплексу активности в связи с тем или иным положением комплексов относительно м.м.п.

Магнитные потоки от пятен вычислялись приближенно, путем умножения максимальной напряженности в пятне на площадь пятна с учетом полутени. Анализ полученных результатов показал, что нет никаких особенностей в характере изменения потоков ни по отдельным группам, ни в целом по комплексам в связи с их отношением к структуре м.м.п.

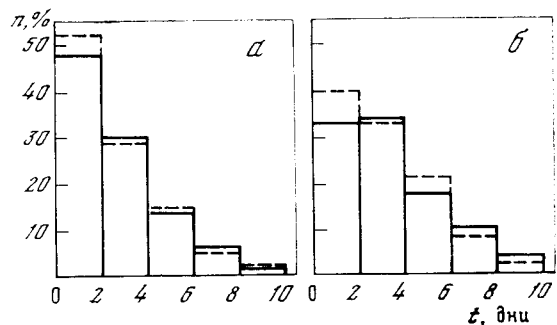
Далее было рассмотрено распределение центров комплексов относительно секторных границ м.м.п. отдельно для каждого года. На рис. 3, *a, b* представлены суммарные распределения расстояний центров комплексов

**Рис. 4.** Суммарное распределение расстояний центров «сильных» комплексов относительно секторных границ (для секторов с продолжительностью  $> 4^d$ ),  $n = 228$  (а) и относительно центров секторов (для секторов с продолжительностью  $> 4^d$ ),  $n = 267$  (б)



**Рис. 5.** Суммарное распределение случайных чисел относительно секторных границ (сплошная линия) и центров «сильных» комплексов (штриховая)

а — относительно всех секторных границ, б — при исключении секторов короче  $4^d$



от секторных границ отдельно для «сильных» и «слабых» комплексов. На рис. 3, в представлено аналогичное распределение для комплексов, где происходили вспышки балла  $\geq 1b$ . Как видно из рисунков, полученные распределения показывают увеличение числа событий к секторным границам. Эти распределения становятся более сглаженными, если исключить из рассмотрения секторы протяженностью  $\leq 4^d$ , т. е. считая вполне сформированными лишь более протяженные секторы. Вид такого распределения для «сильных» комплексов показан на рис. 4, а.

Далее было рассмотрено распределение этих же комплексов, но уже относительно центров секторов (рис. 4, б). Как видно из сравнения рис. 4, а и б, распределения центров комплексов как относительно секторных границ, так и относительно центров секторов практически одинаковы. Это навело на мысль о совершенно произвольном распределении комплексов относительно секторной структуры.

Тогда было рассмотрено (для каждого года в отдельности) распределение относительно границ секторов случайных чисел, взятых из таблиц, в количестве, равном количеству рассмотренных комплексов. Оказалось, что распределение случайных чисел для каждого года практически совпадает с распределением реальных событий. На рис. 5 представлены суммарные распределения случайных чисел и реальных событий.

### Вывод

Выполненное исследование показало, что нет никаких особых проявлений ни в характере изменения магнитных потоков от пятен, ни в расположении самих пятен относительно структуры м.м.п. По-видимому, не существует физической связи между распределением пятен и секторными границами м.м.п. и, следовательно, между пятнами и крупномасштабными магнитными полями на Солнце.

Приношу искреннюю благодарность А. Б. Северному, С. И. Гопасюку, Б. М. Владимирскому и В. А. Котову за очень полезную дискуссию по работе.

Декабрь 1976 г.

## Л и т е р а т у р а

1. *Svalgaard L., Wilcox J. M., Scherrer P. H., Howard R.* Solar Phys., 1975, 45, 83.
2. *Эйзенсон М. С., Гнесышев М. Н., Оль А. И., Рубашев Б. М.* Солнечная активность и ее земные проявления, 1948.
3. *Bumba V., Howard R.* Astrophys. J., 1965, 141, N 4, 1502.
4. Бюл. «Солнечные данные» и приложения «Магнитные поля солнечных пятен», 1968—1974 гг.
5. Solar-Geophysical Data, N 283—366, 1968—1975. U. S. Dept. Commerce. Colorado, Boulder.
6. *Svalgaard L.* An Atlas of Interplanetary Sector Structure 1957—1974, 1975, SUIPR Rept N 629.
7. *Severny A. B.* Nature, 1969, 224, 53.
8. *Severny A. B., Wilcox J. M., Scherrer P. H., Colburn D. S.* Solar Phys., 1970, 15, 3.

## О ВЕЛИЧИНЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ТЕНИ ПЯТЕН

М. Дж. Гусейнов

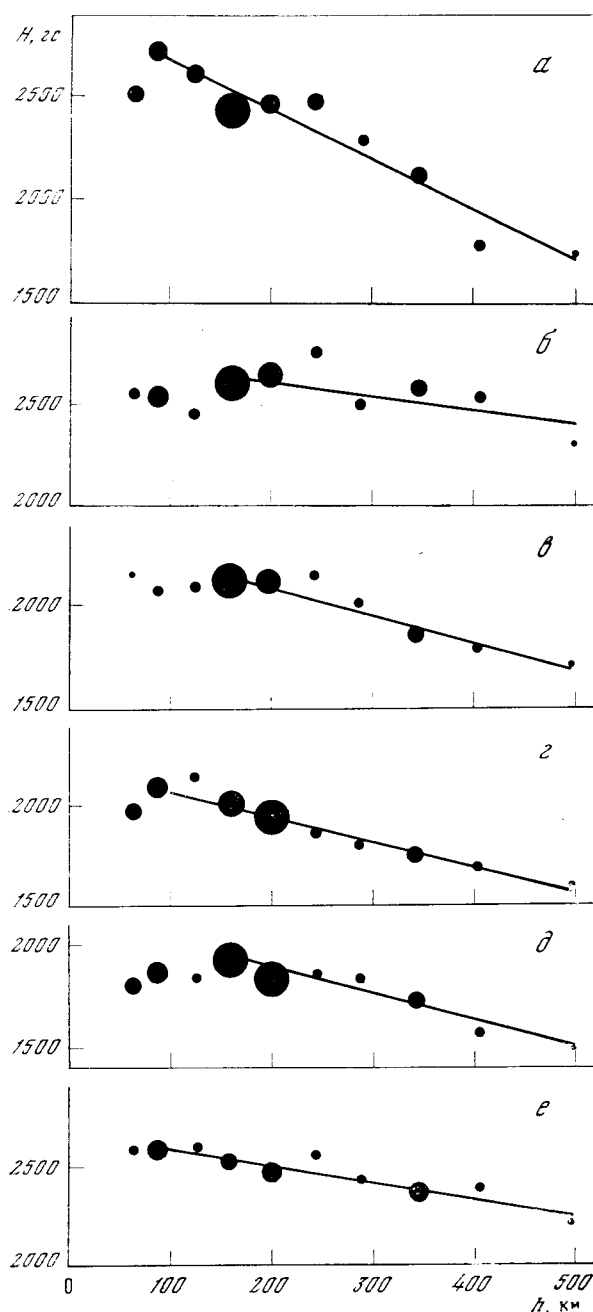
Изучается распределение магнитного поля в тени пятен по высоте. Напряженность магнитного поля определена в разных спектральных линиях с различной интенсивностью по поляризационным спектрограммам, полученным на БСТ Крымской астрофизической обсерватории. За высоту образования линий принята величина относительного смещения положений тени пятна в ядрах линий и непрерывном спектре при наблюдении вблизи края диска Солнца.

Найдены численные значения вертикальных градиентов напряженности магнитного поля  $\Delta H/\Delta h$  в тени нескольких пятен. В глубоких слоях, где возникают линии Fe I с роуландовскими интенсивностями  $I = 1 \div 10$ , напряженность магнитного поля уменьшается с высотой с градиентом  $|\Delta H/\Delta h| \approx 0,8 \div 2,3$  Гс/км, в относительно высоких слоях на уровне образования ядер линий  $H_\alpha$  и  $H_\beta$  Ca II  $|\Delta H/\Delta h| \approx 0,2 \div 0,6$  Гс/км. Эти величины, полученные независимо от моделей, хорошо согласуются со значениями вертикальных градиентов магнитного поля, найденными ранее разными авторами для разреженных моделей тени пятен.

ON THE VERTICAL GRADIENT OF MAGNETIC FIELD STRENGTH IN THE SUNSPOT UMBRA, by M. J. Huseynov.— The vertical distribution of magnetic field in the sunspot umbra is investigated. The magnetic field strength was determined from the spectral lines of different intensities with the use of polarization spectrograms, obtained at the tower solar telescope of the Crimean astrophysical observatory. The value of shift in positions of umbra near the limb measured in the line core relative to that in the continuum was taken as the height of the line formation.

The values of vertical gradient of magnetic field in a few sunspot umbrae were determined. In the deep layers, where the Fe I lines with Rowland intensity  $T = 1 \div 10$  originate from, the magnetic field strength decreases with the height; the gradient is  $|\Delta H/\Delta h| \approx 0.8 \div 2.3$  Gs/km. In the relative high layers forming the core of  $H_\alpha$  and  $H_\beta$  Ca II lines, the gradient is  $|\Delta H/\Delta h| \approx 0.2 \div 0.6$  Gs/km. These values agree well with numerical values for the vertical gradients, determined earlier by several authors for transparent models of the sunspot umbra.

Численные значения вертикальных градиентов напряженности магнитного поля в пятнах определяются несколькими способами. Одним из них является измерение поля в различных линиях, образующихся на разных высотах. Но из-за большого различия шкалы высот применяемых моделей пятен величины вертикальных градиентов, найденные разными авторами, сильно расходятся. Например, градиенты, рассчитанные по модели Маттига (плотная модель), в 5—10 раз превышают градиенты, получаемые для модели Мишара (прозрачная модель) [1—3]. Поэтому необходимо использовать такие высоты образования спектральных линий, которые определяются независимо от моделей пятен.



Распределение напряженности магнитного поля  $H$  в тени различных пятен по высоте  $h$

а — 2.IX 1961 г., гр. 251, пятно а; б — то же пятно 5.IX; в — то же 7.IX; г — 2.IX 1961 г., гр. 251, пятно б; д — 2.IX 1961 г., гр. 251, пятно с; е — 18.X 1961 г., гр. 286

эффектами Зеемана. Материал и условия наблюдений подробно описаны в [2, 3]. Отметим только, что магнитные расщепления линий измерены на микроскопе МИР-12, среднеквадратичная ошибка определений  $H$  по каждой линии 50—120 Гс в зависимости от множителя  $g\lambda^2$  и линейной дисперсии спектров.

За высоту образования  $h$  каждой линии поглощения мы приня-

Известно, что вблизи края диска Солнца тень пятна в спектральных линиях смещается относительно ее положения в непрерывном спектре. Можно предположить, что эти смещения тени в какой-то мере характеризуют высоту образования соответствующих линий. Впервые Северный и Бумба [4], затем Маттиг [5] и другие исследователи [6—10] этим способом оценили эффективные высоты возникновения многих спектральных линий в тени пятна. Как нам кажется, по распределению напряженности магнитного поля по высоте, соответствующей смещению положений тени пятна в линиях и непрерывном спектре, можно определить приближенные значения вертикальных градиентов поля  $\Delta H/\Delta h$  независимо от моделей пятна. Сравнение величин  $\Delta H/\Delta h$ , полученных таким путем и найденных ранее для разных моделей, возможно, позволит судить о том, какая шкала высот существующих моделей пятен наиболее приемлема.

С этой целью мы построили соотношение между напряженностью магнитного поля  $H$  в тени нескольких пятен по различным линиям и высотой их образования  $h$  (см. рисунок). Значения  $H$  взяты из [2, 3]. Но здесь мы используем только линии нейтрального железа Fe I, исключив несколько линий с интеркомбинационными переходами и сложными

| Дата наблюдения, 1961 г. | Пятно                     | В слое с $h \approx 150 \div 500$ км | В слое от $h \approx 500$ км до высот образования ядер линий $H_\alpha$ и $H_\beta$ Ca II |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.IX                     | Гр. № 251, пятно <i>a</i> | 2,3                                  | 0,6                                                                                       |
|                          | То же, пятно <i>b</i>     | 1,3                                  | 0,2                                                                                       |
|                          | » пятно <i>c</i>          | 1,3                                  | 0,4                                                                                       |
| 5.IX                     | Гр. № 251, пятно <i>a</i> | 0,8                                  | 1,0                                                                                       |
| 7.IX                     | » »                       | 1,3                                  | 0,5                                                                                       |
| 18.X                     | Гр. № 286, лидер          | 0,9                                  | 0,6                                                                                       |

ли величину, соответствующую смещению положения тени пятна в ядре линии относительно ее положения в непрерывном спектре при наблюдении вблизи края диска Солнца. Маттиг нашел зависимость между роуландовской интенсивностью и величиной вышеуказанного смещения (см. фиг. 4 в [10]). Согласно этой зависимости по известным роуландовским интенсивностям мы определили значения  $h$  для применяемых нами спектральных линий. Правда, при таком определении  $h$  вносится некоторая ошибка, так как не учитывается различие глубин образования непрерывного спектра в различных длинах волн  $\lambda$ . Но влияние этой ошибки на определения значений  $\Delta H/\Delta h$  не может быть значительным, ибо, во-первых, различие  $h$  непрерывного спектра в разных длинах волн небольшое, во-вторых, линии с разными интенсивностями (высотами образования) почти равномерно распределены по спектру.

На рисунке по оси абсцисс отложена высота  $h$  относительно уровня излучения непрерывного спектра тени пятна, по оси ординат — величина напряженности магнитного поля  $H$ . Для линий с одинаковыми роуландовскими интенсивностями величина  $H$  осреднена. На рисунке размеры точек соответствуют числу линий: самая маленькая точка — одной линии, наибольшая — восьми линиям.

Из рисунка видно, что для всех пятен величина  $H$  в среднем уменьшается с высотой. Скорость изменения  $H$  с высотой различна для разных пятен. Для одного и того же пятна (пятно *a* гр. № 251) она изменяется со временем. В слое  $h \approx 50 \div 150$  км во многих случаях  $H$  спадает медленнее, чем в ближайших более высоких слоях. Иногда в этом слое будто бы происходит даже некоторое увеличение  $H$  с высотой. Но подобный эффект, возможно, связан с неоднородностью тени пятна. Поле в этом слое измерено в линиях с интенсивностью  $I = 0 \div 2$ , потенциалы возбуждения их нижнего уровня большие. Эти линии в спектре тени пятна в основном ослабевают. Поэтому вполне вероятно, что вклад наиболее темных узлов тени (узлов с наибольшими  $H$ ) в этих линиях заметно уменьшается. Такая возможность следует из результатов работ [11—14].

По распределению напряженности магнитного поля по высоте мы оценили приблизительные значения вертикального градиента напряженности магнитного поля  $\Delta H/\Delta h$  в слое с  $h \approx 150 \div 500$  км. Для разных пятен величина  $|\Delta H/\Delta h|$  находится в пределах  $0,8 \div 2,3$  Гс/км (см. таблицу).

Для определения вертикального градиента  $\Delta H/\Delta h$  на более высоких уровнях над пятном мы измерили магнитное расщепление  $\Delta\lambda_H$  линий  $H_\alpha$  и  $H_\beta$  Ca II в тех же пятнах. Эти измерения были проведены по записям на саморегистрирующем микрофотометре МФ-4. Методика таких измерений  $\Delta\lambda_H$  подробно описывалась нами в [15]. Отметим, что напряженность магнитного поля  $H$  определялась по сдвигам контуров линий во взаимно ортогональных поляризациях для  $H_\alpha$  на расстоянии от центра линии  $\Delta\lambda = \pm (0,30 \div 0,40)$  Å, а для  $H_\beta$  Ca II  $\Delta\lambda = \pm (0,05 \div 0,10)$  Å. Полученные результаты показывают, что над тенью пятен на уровнях образования центральных частей линий  $H_\alpha$  и  $H_\beta$  Ca II имеются большие поля с напря-

женностью  $H = (1000 \div 1600) \pm 200$  Гс. Это еще раз подтверждает вывод Северного и Бумбы [4] о том, что магнитные поля легко проникают на довольно большую высоту над тенью пятен.

Условно приняв возможную среднюю высоту образования ядер линий  $H_\alpha$  и  $H_\beta$  Ca II около 1500 км и осреднив значения напряженности магнитного поля  $H$ , полученные по ним, мы грубо оценили средние величины  $\Delta H/\Delta h$  для изученных пятен в слое с высотой  $h \approx 500 \div 1500$  км. Для разных пятен значения  $|\Delta H/\Delta h|$  в этом слое в основном находятся в пределах 0,2—0,6 Гс/км, но для пятна  $a$  гр. № 251, наблюдаемого 5.IX 1961 г.,  $|\Delta H/\Delta h| \approx 1$  Гс/км (см. таблицу). Необходимо еще раз подчеркнуть, что эти значения  $\Delta H/\Delta h$  очень приблизительные, так как принятая высота образования линий  $H_\alpha$  и  $H_\beta$  Ca II в тени пятна весьма грубая. Во-первых, результаты различных авторов по определению высоты образования этих линий по наблюдениям пятен вблизи лимба значительно расходятся, во-вторых, для различных пятен получаются разные высоты [5—9].

Таким образом, можно заключить следующее.

Напряженность магнитного поля в тени изученных пятен уменьшается с высотой с градиентом 0,8 — 2,3 Гс/км в слое с  $h \approx 150 \div 500$  км, а на более высоких уровнях (от  $h \approx 500$  км до высот образования ядер линий  $H_\alpha$  и  $H_\beta$  Ca II)  $|\Delta H/\Delta h| \approx 0,2 \div 0,6$  Гс/км. Величина вертикального градиента магнитного поля различна для разных пятен, она примерно в 2—4 раза уменьшается с переходом от глубоких слоев к слоям хромосферы над тенью пятен. Для одного и того же пятна вертикальный градиент поля  $\Delta H/\Delta h$  изменяется со временем.

Численные значения  $\Delta H/\Delta h$ , определенные здесь *независимо от моделей* пятен, хорошо согласуются с величинами вертикальных градиентов поля, найденных ранее разными авторами *по разреженным моделям* [1—3, 16].

Выражаю искреннюю благодарность академику А. Б. Северному, Н. Н. Степанян и Э. А. Барановскому за важные замечания и советы.

*Примечание при корректуре.* Когда статья была в печати, в КАО АН СССР поступила работа [17], где для вычисления вертикального градиента магнитного поля используется шкала высот модели пятен по [18]. Полученные в [17] значения градиента ( $0,7$  Гс/км  $\leq \Delta H/\Delta h \leq 2$  Гс/км) согласуются с результатами настоящей работы.

12 ноября 1976 г.

## Л и т е р а т у р а

1. Брей Р., Лоухед Р. Солнечные пятна. М., «Мир», 1967, с. 282.
2. Гусейнов М. Дж. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1968, 39, 253.
3. Гусейнов М. Дж. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1970, 41—42, 89.
4. Severny A. B., Bumba V. Observatory, 1958, 78, N 902, 33.
5. Mattig W. Mitt. Astrophys. Observ. Potsdam, 1959, N 82.
6. Вьяльшин Г. Ф., Крам В. А. Изв. ГАО, 1965, 24, вып. 2, № 178, 26.
7. White O. R., Wilson P. R. Astrophys. J., 1966, 146, N 1, 250.
8. Vappu M. K. V., Sivaraman K. R. IAU Sympos. N 35 (Budapest), 1968.
9. Oddbjörn E. Solar Phys., 1969, 8, N 2, 284.
10. Mattig W. Solar Phys., 1969, 8, N 2, 291.
11. Obridko V. N. Bull. Astron. Inst. Czechosl., 1968, 19, N 4, 183.
12. Гусейнов М. Дж. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1974, 49, 15.
13. Гусейнов М. Дж. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1974, 50, 168.
14. Гусейнов М. Дж. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1975, 53, 66.
15. Гусейнов М. Дж. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1973, 47, 7.
16. Ягер К. де. Строение и динамика атмосферы Солнца. М., ИЛ, 1962, с. 104.
17. Makita M., Nemoto K. Publ. Astron. Soc. Japan, 1976, 28, N 3, 495.
18. Henoux J. C. Astron. Astrophys., 1969, 2, N 3, 288.

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

С. Л. Домнин, В. А. Ефанов, В. А. Корсенский,  
И. Г. Моисеев, Н. С. Нестеров

Определены параметры радиисточника, связанного с группой пятен № 24 по бюллетеню «Солнечные данные» [3], по наблюдениям затмения Солнца при помощи радиотелескопа с высокой направленностью. Источник как в циркулярно-поляризованном ( $V$ ), так и в интегральном ( $I$ ) излучениях состоял из трех компонентов с размерами 8, 12, 30", положения которых в  $I$  и  $V$  совпадали. Яркостные температуры компонентов составляли  $(0,6 \div 3,1) \cdot 10^5$  К и  $(3,5 \div 19) \cdot 10^3$  К в интегральном и поляризованном излучении соответственно.

STRUCTURE OF A LOCAL SOURCE ON THE SUN OBTAINED FROM THE ECLIPSE OBSERVATIONS WITH THE 22-METER RADIO TELESCOPE IN THE INTEGRAL AND CIRCULAR-POLARIZED LIGHT ON 1.35 CM, by *S. L. Domnin, V. A. Efanov, V. A. Korsenskiy, I. G. Moiseev and N. S. Nesterov*.— Parameters of the radio source, connected with the sunspot group N 24 (according to the Bulletin Solar Data [3]) were determined using the radio telescope with a narrow beam diagramm. The source in both circular-polarized ( $V$ ) and integral ( $I$ ) light consisted of the three components with the dimensions of 8, 12 and 30 seconds of arc, whose positions coincided in  $I$  and  $V$ . The brightness temperatures of the components were  $(0.6—3.1) \times 10^5$  K in  $I$  and  $(3.5—19) \times 10^3$  K in  $V$ .

29.IV 1976 г. на 22-метровом радиотелескопе КАО АН СССР на волне 1,35 см были проведены наблюдения затмения Солнца в интегральном и циркулярно-поляризованном излучении. Угловое разрешение радиотелескопа составляло 2',6 по азимуту и 2',5 по высоте над горизонтом. Для наблюдений использовался радиополяриметр, позволявший регистрировать одновременно параметры Стокса  $I$  и  $V$  в аналоговом и цифровом видах. Чувствительность радиометра по обоим каналам составляла  $\sim 1$  К, просачивание неполяризованного сигнала в канал  $V$  не превышало 1%. Регистрация выходных сигналов в цифровом виде осуществлялась с помощью ЭВМ «НАИРИ-К» [1], что позволило исключить влияние возможной нестабильности радиометра на полученные результаты [2].

Расчетные обстоятельства затмения для местоположения РТ-22 (максимальная фаза 0,8) указаны на рис. 1, где нанесена траектория движения центра Луны относительно центра солнечного диска и приведено распределение радиояркости по Солнцу на волне 1,35 см, полученное в день затмения на средний момент 8<sup>h</sup>10<sup>m</sup>UT. Изофоты обозначены в уровнях сигнала от невозмущенного Солнца.

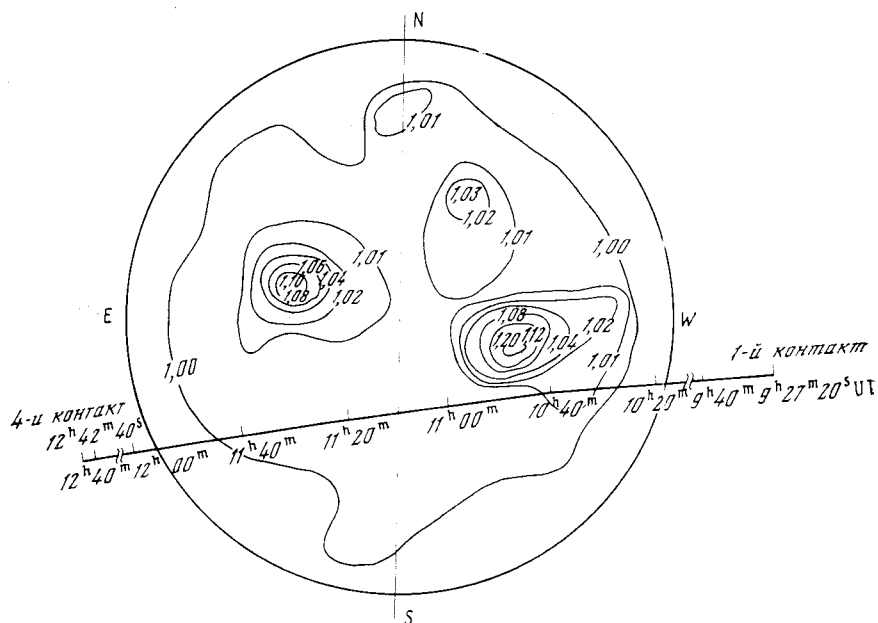


Рис. 1. Распределение радиояркости по диску Солнца в день затмения

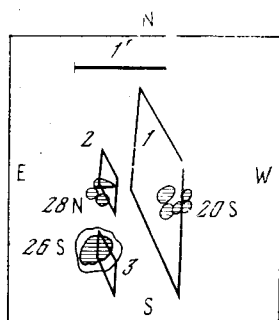


Рис. 2. Положение источников относительно группы пятен

Ниже изложены результаты наблюдений локального источника (ЛИ) с координатами 28W, 8S (см. рис. 1), связанного с группой № 24 по бюллетеню «Солнечные данные» [3].

Наблюдения затмений ЛИ при помощи антенны с высокой разрешающей способностью можно проводить двумя методами: сопровождением самого ЛИ диаграммой направленности антенны и сопровождением лунного лимба при прохождении его через ЛИ.

В первом случае в выходном сигнале будет присутствовать быстро изменяющаяся составляющая, обусловленная закрытием или открытием Лунной соседних участков невозмущенного Солнца. Учет ее затруднителен, так как определенная часть излучения невозмущенного Солнца поступает через боковые лепестки. Кроме того, искажения в наблюдаемое распределение радиояркости по ЛИ будут вноситься тем, что размеры ЛИ на волне 1,35 см, определенные ранее по внезатменным наблюдениям [4], сравнимы или превышают размеры главного лепестка диаграммы направленности РТ-22. Во втором случае изменения выходного сигнала будут обусловлены только неоднородностями распределения яркостной температуры на пути движения диаграммы направленности антенны, поскольку сигнал от спокойного Солнца будет иметь постоянную величину. Сопровождение лунного лимба предпочтительно и для поляризационного канала, так как в этом случае упрощается учет влияния кросс-поляризационных лепестков. Исходя из этих соображений, при наблюдениях мы применяли второй способ — антенна сопровождала лимб Луны.

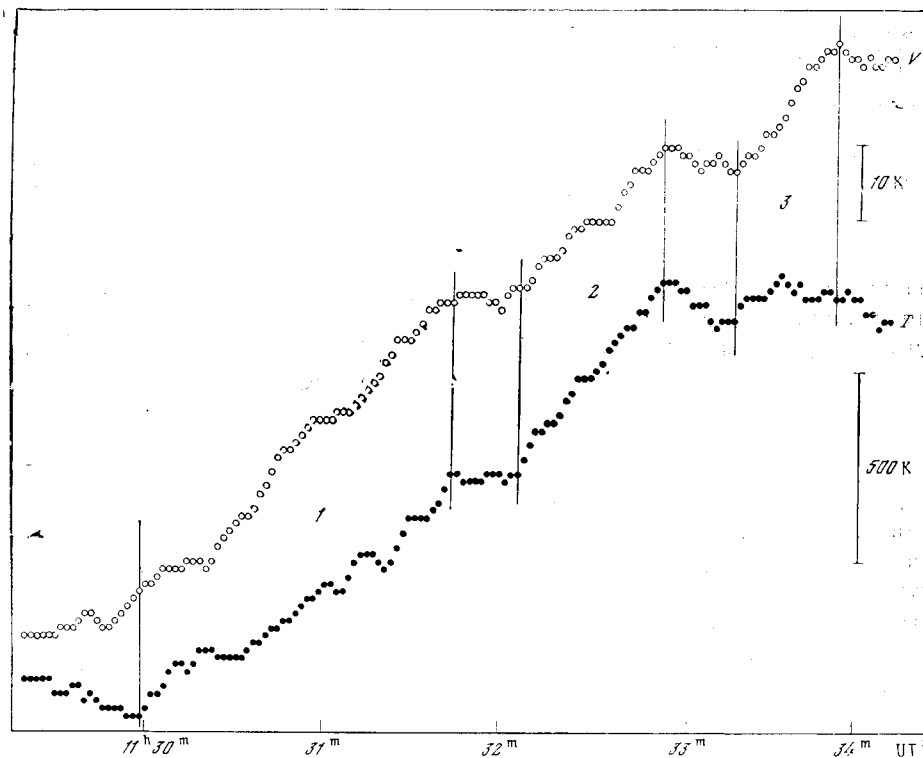


Рис. 3. Регистрограммы выходных сигналов радиополяриметра при открытии локального источника, сглаженные с помощью оператора скользящего среднего с периодом усреднения 20 с, что соответствует 6"

Наблюдения показали, что ЛИ состоял из трех компонентов размерами от 8 до 30". Излучение всех трех компонентов было поляризовано по левому кругу, причем положение и размеры их в поляризованном и неполяризованном излучениях практически совпадали. На рис. 2 показано расположение компонентов ЛИ относительно группы пятен. При выполнении рисунка использовались фотографии, полученные на оптическом телескопе Службы Солнца АФР-2 при закрытии и открытии группы с интервалом 0,5—2 мин.<sup>1</sup> Ядра пятен выделены горизонтальной штриховкой. Напряженности и полярности магнитных полей в них указаны согласно [3]. Источники занумерованы по очередности их появления при открытии ЛИ. Регистрограммы параметров  $I$  и  $V$  даны на рис. 3. Вертикальными отрезками указаны масштабы записей в антенных температурах. Участки, соответствующие открытию компонентов, отмечены соответствующими цифрами. Обращает на себя внимание тот факт, что компонент 3 отчетливо выделяется в поляризованном излучении, тогда как в интегральном его почти не видно. Это, по-видимому, связано с тем, что его излучение сильно поляризовано, а в интегральном излучении эффект его открытия сглажен выходом из диаграммы направленности антенны двух предыдущих более интенсивных компонентов.

Параметры компонентов, определенные по наблюдениям открытия и закрытия ЛИ, приведены в таблице.

Средние геометрические размеры компонентов  $\theta_n$  определялись согласно выражению  $\theta_n = \sqrt{\theta_z \theta_o}$ , где  $\theta_z$  и  $\theta_o$  — размеры источника, полученные при его закрытии и открытии соответственно. Антенные температуры  $T_a$  от компонентов определялись в предположении, что яркостная темпера-

<sup>1</sup> Снимки получены И. В. Матвеевым и Е. М. Ерюшевой.

| Номер<br>компонен-<br>та | $\theta_n$ , угл.с | $T_a$ , К | $T_{\text{я}}^I$ , $10^4$ К | $S_I$ , $10^{-22}$<br>Вт·м $^{-2}$ ·Гц $^{-1}$ | $T_{\text{я}}^V$ ,<br>$10^4$ К | $S_V$ , $10^{-22}$<br>Вт·м $^{-2}$ ·Гц $^{-1}$ | $P$ , % |
|--------------------------|--------------------|-----------|-----------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------|---------|
| 1                        | 32                 | 735       | 5,89                        | 1,75                                           | 3,5                            | 0,103                                          | 5,9     |
| 2                        | 12                 | 597       | 31,4                        | 1,20                                           | 10,2                           | 0,043                                          | 3,6     |
| 3                        | 8                  | 120       | 12,8                        | 0,25                                           | 19,2                           | 0,038                                          | 15,1    |

тура спокойного Солнца  $T_{\text{я}\odot} = 9,7 \cdot 10^3$  К [4], а яркостные температуры  $T_{\text{я}}$  вычислялись для равномерного распределения радиояркости в пределах круга с угловым диаметром  $\theta_n$  согласно выражению

$$T_{\text{я}} = \frac{T_a}{\eta \left[ 1 - \exp \left\{ - \left( \frac{\theta_n}{1,2\theta_{0,5}} \right)^2 \right\} \right]} + T_{\text{я}\odot},$$

где  $T_a$  — антенная температура от источника,  $\eta$  — отношение телесных углов главного лепестка и диаграммы направленности,  $\theta_{0,5}$  — размеры главного лепестка диаграммы направленности на уровне половинной мощности.

Плотности потоков излучения компонентов определялись по формуле  $S = 2kT_{\text{я}}\Omega_n/\lambda^2$ , где  $k$  — постоянная Больцмана,  $\lambda$  — длина волны,  $\Omega_n$  — телесный угол источника. Процент поляризации излучения компонента  $P = (L - R)/(L + R)$ , где  $R$  и  $L$  означают плотности потоков право- и левополяризованных составляющих излучения. Индексы в таблице  $V$  и  $I$  относятся соответственно к данным поляризованного и неполяризованного излучения.

При рассмотрении рис. 3 обращает на себя внимание то, что излучение компонента 2 имеет левополяризованную составляющую. Так как он локализуется вблизи пятен с преобладающей N-поляризованностью, то его излучение следует ожидать правополяризованным, что соответствовало бы преобладанию необыкновенной волны в его излучении [5]. По-видимому, магнитное поле в хромосфере на уровнях, соответствующих выходу радиоизлучения на  $\lambda = 1,35$  см, имело более сложный характер, чем это следует из наблюдений на уровне фотосферы. Возможно, что в хромосфере преобладала S-поляризованность магнитного поля, поэтому излучение этого компонента оказалось левополяризованным. Наблюдения ЛИ перед затмением указывают на преобладание в его излучении левополяризованной составляющей. Степень поляризации его составляла 5,6%, что хорошо соответствует степени поляризации суммарного излучения ЛИ, определяемой по данным таблицы  $\Sigma S_{iV}/\Sigma S_i = 5,8\%$ , здесь  $S_{iV}$  и  $S_i$  — потоки компонентов в поляризованном и неполяризованном излучении соответственно.

Сравнение данных наблюдений, полученных перед затмением и во время него, свидетельствует о том, что основная часть излучения ЛИ сосредоточена в компактных деталях. Так, поток его до затмения составлял  $(3,8 \pm 1,3) \cdot 10^{-22}$  Вт·м $^{-2}$ ·Гц $^{-1}$ , а суммарный поток излучения компонентов, как видно из таблицы, составляет  $(3,2 \pm 1) \cdot 10^{-22}$  Вт·м $^{-2}$ ·Гц $^{-1}$ . Следовательно, если диффузный компонент имеется, то поток его излучения не превышает 20% от полного потока ЛИ. Компоненты излучения ЛИ, совпадающие по положению с нейтральными линиями магнитного поля, не были обнаружены.

Таким образом, излучение ЛИ, связанного с группой № 24, сосредоточено в основном в компонентах, близких по положению к отдельным частям группы и имеющих размеры 8—30". Средняя яркостная температура компонентов составляет  $\sim 2 \cdot 10^5$  К. Поляризованное по кругу излучение локализовано также в отдельных компонентах, размеры и положение ко-

торых совпадают с размерами и положением компонентов в интегральном излучении. Источники близких размеров в активных областях обнаруживаются и по наблюдениям прохождения Меркурия по диску Солнца [6]. Кроме того, наши результаты наблюдений в интегральном излучении находятся в хорошем согласии с данными затменных наблюдений на близких волнах, полученных на аналогичном радиотелескопе [7, 8].

Декабрь 1976 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Домнин С. Л., Ефанов В. А., Корсенская Е. С., Корсенский В. А., Моисеев И. Г., Нестеров Н. С., Стрелка И. Д. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1977, 57, 205.
2. Домнин С. Л., Ефанов В. А., Корсенский В. А., Моисеев И. Г., Нестеров Н. С. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1977, 57, 199.
3. Солнечные данные, 1976, № 4.
4. Ефанов В. А., Моисеев И. Г. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1971, 43, 21.
5. Железняков В. В. Радиоизлучение Солнца и планет. М., «Наука», 1964.
6. Ефанов В. А., Моисеев И. Г., Северный А. Б. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1975, 53, 121.
7. Апушкинский Г. П., Нагнибеда В. Г. Радиоастрономические наблюдения солнечного затмения 20 мая 1966 г. Л., «Наука», 1972, с. 33.
8. Апушкинский Г. П., Еникеев Р. И., Нагнибеда В. Г., Цыганов А. Н. Вестн. Ленингр. ун-та, 1970, № 13, 127.

ОБ ИЗМЕНЕНИИ ДИАМЕТРА РАДИОИЗОБРАЖЕНИЯ СОЛНЦА  
В КОРОТКОВОЛНОВОЙ ЧАСТИ САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

А. Ф. Бачурин, А. С. Дворяшин, Н. Н. Ерюшев, Л. И. Цветков

Обнаружено, что радионизображение на краю диска Солнца в диапазоне волн 1,9—3,5 см не обладает круговой симметрией. Наблюдаемое отклонение радионизображения от круговой симметрии обусловлено:

- а) поярчением на краю солнечного диска;
- б) относительным уширением радиодиска Солнца в направлении экватора.

Отношение диаметра радионизображения Солнца в направлении экватора к диаметру вдоль центрального меридиана возрастает с длиной волны и с уровнем солнечной активности.

ON A CHANGE OF DIAMETER OF RADIO IMAGE OF THE SUN AT SHORT CENTIMETRE WAVELENGTHS, by *A. F. Bachurin, A. S. Dvorjashin, N. N. Erjushhev, L. I. Tsvetkov*.— It is found that a radio image at limb of solar disk at the 1.9—3.5 cm wavelengths band have not a circular symmetry. The observed deviation of radio image from a circular symmetry have been conditioned by:

- a) a brightening on limb of solar disk;
- b) relative widening of solar radio disk along the equator.

It is found that relation of diameter of radio image of the Sun along the equator to diameter along the polar axis increase with wavelength and a level of solar activity.

При сканировании диска Солнца на РТ-22 КАО АН СССР было замечено, что на волнах 1,9; 2,5 и 3,5 см ширина записей сканов, проведенных вдоль оси  $\alpha$ , несколько больше, чем по  $\delta$  [1]. Последующее изучение этого эффекта показало, что в указанном диапазоне длин волн угловые размеры сканов в направлении экватора Солнца превышают размеры сканов, проходящих через его полюсы, в среднем на 4% [2]. В [2] уширение сканов вдоль солнечного экватора было объяснено поярчением на краю диска, которое спадает при приближении к полюсам.

Наблюдения на 100-метровом радиотелескопе в Эйфельсфере (ФРГ) показали [3, 4], что на волне 2,8 см поярчение на краю диска Солнца не превышает 5%, а эллиптическая деформация диска в пределах 1—2% не обнаруживается. Однако на волне 6 см обнаружено заметное поярчение в экваториальном направлении. Радионизображение Солнца на этой волне сплюснуто у полюсов.

Вопрос о радионизображении спокойного Солнца на краю диска (поярчение) пока еще не имеет сколько-нибудь определенного ответа. Здесь необходимы дальнейшие исследования различными методами в широком диапазоне длин волн. Ниже мы приводим дополнительные данные об изменении радиодиаметра Солнца, полученные методом сканирования (в 1976 г.) и по наблюдениям двух солнечных затмений (22.IX 1968 г. и 11.V 1975 г.). Наблюдения проведены на РТ-22 КАО АН СССР на волнах 1,9; 2,5; 3,15 и 3,5 см.

## 1. Наблюдения

1. Сканирование Солнца проводилось через центр диска под различными углами к линии экватора (одновременно по координатам  $\alpha$  и  $\delta$  с суммарной скоростью  $7'',5$  в секунду времени). В дни сканирования на диске Солнца активных областей не было. Диаметр изображения Солнца в каждом данном направлении сканирования  $d(\varphi)$  определяется по формуле

$$d(\varphi) = \sqrt{(d_\alpha \cos \delta)^2 + d_\delta^2},$$

где  $d_\alpha$  и  $d_\delta$  — угловые ширины сканов в направлениях  $\alpha$  и  $\delta$  соответственно. С целью повышения точности определения  $d(\varphi)$  величины  $d_\alpha$  и  $d_\delta$  оценивались как средние по измерениям на трех уровнях: 0,4; 0,5 и 0,6  $T_a$  ( $T_a$  — антенная температура спокойного Солнца). Здесь мы рассмотрим только те записи сканирования, которые проводились вблизи экватора и вблизи полюсов. Диаметр радиоизображения вдоль экватора  $d_e$  был определен в свою очередь по двум сканам, проведенным под углами  $\pm 5^\circ$  относительно экватора. Диаметр в направлении полюсов  $d_p$  определен по двум сканам, проведенным под углами  $\pm 5^\circ$  относительно центрального меридиана. По этим данным определялось отношение  $d_e/d_p$  для каждой волны в отдельности. Усредненные по трем дням наблюдений (4, 5 и 6.XI 1976 г.) значения отношения  $d_e/d_p$  представлены в таблице. Для сравнения здесь же приведены соответствующие данные по измерениям 1972 и 1973 гг., взятые из [2]. Погрешность в определении отношения  $d_e/d_p$  составляет около 2%.

| Дата наблюдения | $d_e/d_p$          |                    |                    |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                 | $\lambda = 3,5$ см | $\lambda = 2,5$ см | $\lambda = 1,9$ см |
| 16.IX 1972 г.   | 1,066              | 1,040              | 1,020              |
| 5.VI 1973 г.    | 1,050              | 1,028              | 1,017              |
| 4—6.XI 1976 г.  | 1,038              | 1,020              | 1,011              |

Несмотря на то что некоторые из значений величины  $d_e/d_p$  находятся в пределах ошибок измерений, данные таблицы позволяют заметить определенные закономерности в изменении отношения  $d_e/d_p$  как с длиной волны, так и по наблюдениям в разные годы. Это обстоятельство дает основание предположить, что наблюдаемое уширение радиоизображения Солнца в направлении экватора является реальным на всех рассматриваемых нами длинах волн.

2. На рис. 1 приведены участки сглаженных записей интенсивности радиоизлучения, полученных во время двух солнечных затмений: 22.IX 1968 г. на волне 3,15 см и 11.V 1975 г. — на волнах 1,9; 2,5 и 3,5 см. Солнечное затмение 1968 г. подробно рассмотрено в [5]. На рис. 1 записи для обоих затмений соответствуют интервалам времени, охватывающим моменты первых контактов Луны с диском Солнца. Моменты оптических контактов двух затмений на рис. 1 совмещены.

Момент радиоконтакта во время солнечных затмений обычно определяется началом уменьшения интенсивности радиоизлучения по мере закрытия Луной радиодиска Солнца. К сожалению, из-за аномалий в изменении интенсивности излучения точное определение моментов радиоконтактов затруднено. Во время затмения 1968 г. он наступил на  $75 \pm 7$  с раньше оптического контакта. В этом случае радиорadius Солнца составил  $1,03$  оптического радиуса ( $R_r = 1,03 R_\odot$ ) [5]. Во время затмения 1975 г. момент радиоконтакта по времени близко совпадает с оптическим контактом ( $R_r \approx R_\odot$ ). На всех трех рассматриваемых волнах радиоконтакт

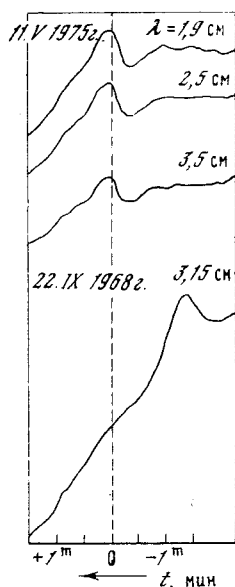


Рис. 1. Изменение интенсивности радиоизлучения на разных длинах волн во время солнечных затмений 22.IX.1968 г. и 11.V.1975 г. (в моменты первых контактов)

Оптический контакт отмечен вертикальной штриховой линией

наступил практически в одно и то же время. Это указывает на возможность проводить сравнение записей двух затмений, несмотря на различие в длинах волн. На основании рис. 1 можно заключить, что радиокontakt во время затмения 1968 г. наступил заметно раньше оптического контакта по сравнению с затмением 1975 г. Замеченное различие в моментах наступления радиоконтактов по отношению к оптическим контактам для двух солнечных затмений может быть связано, во-первых, с различным уровнем солнечной активности в 1968 и 1975 гг.; во-вторых, с различием гелиоширот, на которых происходили первые контакты Луны с диском Солнца.

Попутно отметим интересную деталь на записях солнечных затмений (см. рис. 1). В начале быстрого уменьшения интенсивности излучения, связанного с закрытием радиодиска Луной, наблюдаются вариации интенсивности колебательного характера. Отмеченные вариации зарегистрированы (по одному периоду) на всех длинах волн, по времени они близки моментам радиоконтактов; природа их пока неясна.

## 2. Обсуждение результатов

Из данных, представленных в таблице, следует, что отношение диаметра радиоизображения Солнца в направлении экватора к диаметру вдоль центрального меридиана на всех рассматриваемых волнах  $d_{\text{э}}/d_{\text{м}} > 1,0$ . Наименьшие значения этого отношения получены по наблюдениям 1976 г., наибольшие — 1972 г. Заметим, что 1976 год является годом минимума солнечной активности, 1972 и 1973 годы соответственно более высокой активности. Следовательно, можно заключить, что величина  $d_{\text{э}}/d_{\text{м}}$  заметно изменяется с активностью Солнца. Отношение  $d_{\text{э}}/d_{\text{м}}$  растет с длиной волны приблизительно линейно (в рассматриваемом диапазоне), но с различной скоростью в разные годы; с ростом солнечной активности оно изменяется более быстро, чем в годы минимума.

Если провести экстраполяцию данных таблицы в сторону более коротких волн, то отношение  $d_{\text{э}}/d_{\text{м}}$  примет значение, равное единице, примерно в области длин волн 1,0—1,3 см. Эта область длин волн является как бы граничной со стороны коротких волн. На этих и более коротких волнах радиоизображения Солнца должны иметь круговую симметрию. Однако этот вопрос требует специального изучения.

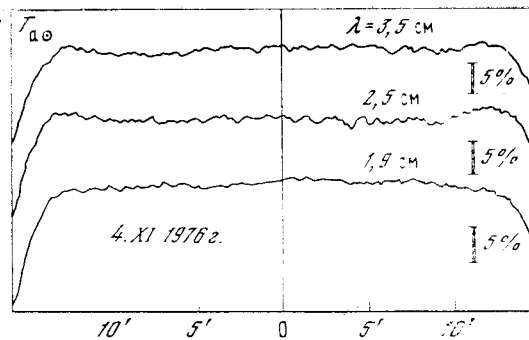
На рис. 2 приведены записи радиоизлучения, полученные при сканировании Солнца 4.XI.1976 г. Сканирование проводилось через центр диска в направлении экватора. Здесь представлены только пологие участки записей; участки, соответствующие «заходу» и «выходу» диаграммы направленности антенны из-за предела диска, не показаны.

На рис. 2 можно заметить повышения интенсивности радиоизлучения на краях, которые составили приблизительно 1—1,5% от общих уровней излучения на волнах 3,5 и 2,5 см. На волне 1,9 см аналогичного повышения интенсивности не просматривается; на этой волне интенсивность излучения постепенно уменьшается к краю.

Отмеченный эффект повышения интенсивности радиоизлучения может свидетельствовать о наличии поярчания на краю диска. Отсюда, как и

**Рис. 2.** Участки записей сканов Солнца на волнах 1,9; 2,5 и 3,5 см

Вертикальными черточками отмечены масштабы осей интенсивности (в процентах к общему уровню радиоизлучения, принимаемого из области, охваченной диаграммой), по горизонтальной оси отложены угловые единицы относительно центра диска



в [2], это уширение сканов можно объяснить просто наличием поярчения на краю диска, которое спадает к полюсам. А на волне 1,9 см оно, по-видимому, настолько мало, что на записях радиоизлучения не проявилось.

На основании полученных данных представляется затруднительным сделать какой-либо определенный вывод об изменении геометрических размеров радиоизображения. Для выяснения этого вопроса оказывается полезным привлечь к рассмотрению данные солнечных затмений.

По наблюдениям затмения 1968 г. отношение радиодиаметра к оптическому диаметру диска Солнца составило  $R_r/R_\odot = 1,03$ . По наблюдениям затмения 1975 г. это отношение оказалось близким к единице (см. рис. 1). Гелиошироты, на которых произошли контакты Луны с диском Солнца, равны  $\varphi = 36^\circ$  во время затмения 1968 г. и  $\varphi = 57^\circ$  для затмения 1975 г. Более близкой к экватору точке контакта соответствует более высокое значение отношения  $R_r/R_\odot$ . Это может служить основанием для предположения о том, что наряду с наличием поярчения на краю диска наблюдаемое уширение записей сканов в направлении экватора связано с (геометрическим) уширением радиоизображения Солнца в этом направлении. Радиоизображение спокойного Солнца, по-видимому, обладает деформацией не только в области 6 см, но и на более коротких волнах, в частности в рассматриваемом нами диапазоне.

### Выводы

Полученные результаты сводятся к следующему.

1. Радиоизображение на краю диска Солнца в диапазоне волн 1,9—3,5 см не обладает круговой симметрией.
2. Наблюдаемое отклонение радиоизображения от круговой симметрии обусловлено:
  - а) поярчением на краю солнечного диска,
  - б) относительным уширением радиодиска Солнца в направлении экватора.
3. Отношение диаметра радиоизображения Солнца в направлении экватора к диаметру вдоль центрального меридиана возрастает с длиной волны и с уровнем солнечной активности.

Приносим глубокую благодарность академику А. Б. Северному за советы, а также М. А. Миронову за подготовку аппаратуры и активную помощь в наблюдениях.

Ноябрь 1976 г.

### Л и т е р а т у р а

1. Бачурин А. Ф., Ерюшев И. И., Цветков Л. И. Изв. Крымской астрофиз. obs., 1974, 50, 175.
2. Бачурин А. Ф., Ерюшев И. И., Цветков Л. И. Изв. Крымской астрофиз. obs., 1974, 52, 180.
3. Fürst E., Hachenberg O., Zinz W., Hirth W. Solar Phys., 1973, 32, N 2, 445.
4. Hachenberg O. Sterne und Weltraum, 1975, 14, N 5, 150.
5. Ерюшев И. И., Цветков Л. И. Изв. Крымской астрофиз. obs., 1972, 44, 112.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ПОТОКА ГАММА-КВАНТОВ  
ОТ РЕНТГЕНОВСКОГО ИСТОЧНИКА Cyg X-3

Б. М. Владимирский, Ю. И. Нешпор, А. А. Степанян, В. П. Фомин

В результате анализа данных наблюдений потока гамма-квантов с энергией  $> 2 \cdot 10^{12}$  эВ от рентгеновского источника Cyg X-3 за 1972—1975 гг. показано, что излучение гамма-квантов носит периодический характер. Период, определенный по гамма-излучению, равен  $0,199684 \pm 2 \cdot 10^{-6}$  дня. Показано, что в то время как спорадическая составляющая излучения обладает большой изменчивостью, периодическая составляющая, в пределах ошибок измерений, не изменяется. Средний поток гамма-квантов от объекта Cyg X-3 равен  $3 \cdot 10^{-11}$  квантов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , что в предположении изотропности соответствует излучению  $2 \cdot 10^{36}$  эрг/с в виде квантов с энергией  $> 2 \cdot 10^{12}$  эВ.

THE RESULTS OF THE OBSERVATIONS GAMMA-RAY FLUX FROM CYG X-3, by B. M. Vladimirsky, Yu. I. Neshpor, A. A. Stepanian, V. P. Fomin

By the analysis of the observations of gamma-ray quanta with the energy  $2 \cdot 10^{12}$  eV from Cyg X-3 in years 1972—75 it is shown that the gamma-ray emission is periodical. The best value of the period which was derived from the all measurements is equal to  $0.199684 \pm 2 \cdot 10^{-6}$ . It is shown that periodical component of the emission is not variable within the errors but there are large variations for sporadic component. The mean flux of gamma-quanta from Cyg X-3 is about  $3 \cdot 10^{-11}$  quanta  $\cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . If the radiation is isotropic the luminosity for the quanta  $> 2 \cdot 10^{12}$  eV is  $2 \cdot 10^{36}$  erg  $\cdot \text{s}^{-1}$ .

Рентгеновский источник Cyg X-3 привлек внимание многих исследователей после того, как стало известно о вспышке радиоизлучения от этого объекта в сентябре 1972 г. [1]. Поток радиоизлучения во время вспышки возрос в 1000 раз и достиг  $\sim 20$  ед. потока. Последующие патрульные наблюдения [2, 3] показали, что радиовспышки Cyg X-3 происходят несколько раз в год, причем некоторые из них имели почти такую же амплитуду, как и вспышки 2.IX 1972 г. При измерениях на частотах в несколько гигагерц поток радиоизлучения быстро (за несколько часов) возрастает, а затем спадает в течение нескольких дней. Поскольку во время некоторых вспышек наблюдалась сильная линейная поляризация радиоизлучения на этих частотах [4], большинство исследователей не сомневаются, что оно имеет синхротронную природу.

Расстояние до объекта оценивается в  $\sim 10$  кпс. В оптическом диапазоне он не был обнаружен, вероятно, из-за сильного межзвездного поглощения. Однако в инфракрасной области для  $\lambda \approx 2$  мкм измерения позволили установить наличие заметного потока, к тому же переменного [5].

Излучение в рентгеновской области при энергиях 2—10 кэВ также является переменным. Имеют место периодические вариации интенсивности. Длительность периода равна 4,8 ч. Если верно предположение о том, что этот период связан с орбитальным движением одного объекта относительно другого, то мы имеем дело с тесной двойной системой. Интересно отметить, что на фоне непрерывного излучения обнаруживается эмиссионная линия ионизованного железа Fe XXV. Ее интенсивность зависит от фазы рент-

геновского излучения [6]. Общий уровень рентгеновского излучения в этом диапазоне может меняться в 3—4 раза. Анализ данных наблюдений за 5 лет (1970—1975 гг.) показал, что изменения периода рентгеновского излучения не обнаруживаются. По-видимому, наиболее точное значение периода равно 0,199682 дня [7].

Систематические наблюдения гамма-излучения высокой энергии ( $>10^{12}$  эВ) от Суг X-3 в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР были начаты в сентябре 1972 г. По данным измерений 1972 г. [8] был сделан вывод об обнаружении от Суг X-3 гамма-излучения 8 и 9.IX 1972 г. Используя данные наших наблюдений 1972—1973 гг. и полученные к тому времени результаты определения периода в рентгеновском излучении, удалось показать, что гамма-излучение сверхвысокой энергии от Суг X-3 также подвержено периодическим изменениям [9]. Однако характер этих изменений существенно отличается от синусоидального закона, по которому меняется рентгеновское излучение.

Дальнейшее подтверждение существования периода в гамма-излучении высокой энергии от Суг X-3 было получено при сопоставлении этих наблюдений с результатами стратосферных наблюдений этого же объекта группой МИФИ с помощью искровой камеры [10]. Показано, что наблюдается хорошая корреляция между временными изменениями интенсивности гамма-квантов с энергиями  $\sim 10^{12}$  и  $\sim 10^8$  эВ. В последнее время положительные результаты поиска периода в гамма-излучении Суг X-3 для энергий  $\sim 10^8$  эВ были получены и за рубежом [11].

Наблюдения потока гамма-квантов с энергией  $> 2 \cdot 10^{12}$  эВ от Суг X-3 были продолжены в КАО АН СССР и в 1975 г. Некоторые результаты анализа новых данных изложены в [12]. В настоящей статье изложены результаты более подробного анализа всего накопленного материала.

## 1. Аппаратура и методы наблюдений

Аппаратура для наблюдений потока гамма-квантов сверхвысокой энергии методом регистрации черенковских вспышек широких атмосферных ливней неоднократно описывалась нами ранее (см., например, [13]).

Кратко говоря, она состоит из четырех светоприемников, представляющих собой 1,5-м параболические зеркала с фотоумножителем в качестве детектора черенковских вспышек. Детекторы включены попарно на совпадения с разрешающим временем 5 нс. Пороговая энергия регистрируемых ливней, по нашим оценкам, равна  $2 \cdot 10^{12}$  эВ. Для исключения материала, полученного при плохой прозрачности, использовался метод отбора, подробно описанный в [13]. Специфика наблюдений в 1974 г. объекта Суг X-3, а также особенности обработки получаемого материала приведены в [12].

Наблюдения объекта Суг X-3 в 1975 г. проводились тем же методом, что и в 1974 г. Общая длительность наблюдений объекта за 1972—1975 гг. превосходит 130 ч. Число сканирований распределено по годам следующим образом: 1972 г.—48 сканов, 1973 г.—54, 1974 г.—373 и 1975 г.—248 сканов. Здесь имеется в виду число сканирований, оставшихся после отбора.

## 2. Результаты наблюдений 1972—1975 гг. Глобальный эффект

Средние значения потока гамма-квантов за каждый месяц наблюдений приведены в табл. 1. Там же приведены средние значения эффекта, выраженного в процентах к фону заряженных частиц сверхвысокой энергии, по всему материалу за отдельные годы.

Ранее нами отмечалось [12], что гамма-излучение объекта Суг X-3 можно разделить на две составляющие: периодическую с  $T = 4,8$  ч и спо-

Таблица 1

| Год  | Амплитуда                    | Месяцы                      |                             |                             |                             |                             | Среднее                     |
|------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|      |                              | VII                         | VIII                        | IX                          | X                           | XI                          |                             |
| 1972 | $A \pm \sigma$<br>$A/\sigma$ |                             |                             | $+4,84 \pm 1,95$<br>$+2,48$ | $-2,46 \pm 2,72$<br>$-0,90$ | $+8,3 \pm 7,02$<br>$+1,18$  | $+2,78 \pm 1,68$<br>$+1,66$ |
| 1973 | $A \pm \sigma$<br>$A/\sigma$ |                             | $-2,46 \pm 2,14$<br>$-1,15$ | $+3,83 \pm 1,41$<br>$+2,72$ | $+1,28 \pm 2,03$<br>$+0,63$ |                             | $+1,83 \pm 1,11$<br>$+1,65$ |
| 1974 | $A \pm \sigma$<br>$A/\sigma$ | $-0,94 \pm 0,81$<br>$-1,15$ | $+2,11 \pm 0,50$<br>$+4,25$ | $+0,06 \pm 0,46$<br>$+0,14$ | $+0,98 \pm 0,60$<br>$+1,64$ | $+0,13 \pm 1,22$<br>$+0,10$ | $+0,77 \pm 0,27$<br>$+2,86$ |
| 1975 | $A \pm \sigma$<br>$A/\sigma$ |                             | $+0,49 \pm 0,55$<br>$+0,89$ | $+0,43 \pm 0,67$<br>$+0,65$ | $-0,17 \pm 0,79$<br>$-0,22$ | $+0,24 \pm 0,88$<br>$+0,28$ | $+0,31 \pm 0,34$<br>$+0,91$ |

радическую. Суммарный эффект нами назван условно «глобальным». Средний за все годы «глобальный» эффект составляет  $0,70\% \pm 0,21\%$  ( $3,40\sigma$ ) от фона космических лучей.

### 3. Периодическая составляющая потока гамма-квантов

Полученные в течение 1975 г. данные позволили провести анализ материала с целью уточнения значения периода изменений потока гамма-квантов. При этом мы исходим из предположения, что значение периода для гамма-излучения не должно отличаться от периода для рентгеновского излучения. В качестве критерия для определения наиболее вероятного значения периода было принято предположение о том, что значение  $\chi^2$  (критерий Пирсона) должно быть при этом максимальным. На рис. 1 изображена зависимость значения  $\chi^2/\nu$  для разных значений периода  $T$ . При этом принималась гипотеза, что поток гамма-квантов не зависит от фазы рентгеновского излучения, а его флуктуации по периоду носят статистический характер.

Видно, что максимальные значения  $\chi^2/\nu = 31$  достигаются для  $T = 0,199682 \div 0,199686$  дня. При этом вероятность случайного распределения амплитуд по фазам для  $T = 0,199684$  дня исчезающе мала.

Для этого периода на рис. 2 построена кривая распределения ампли-

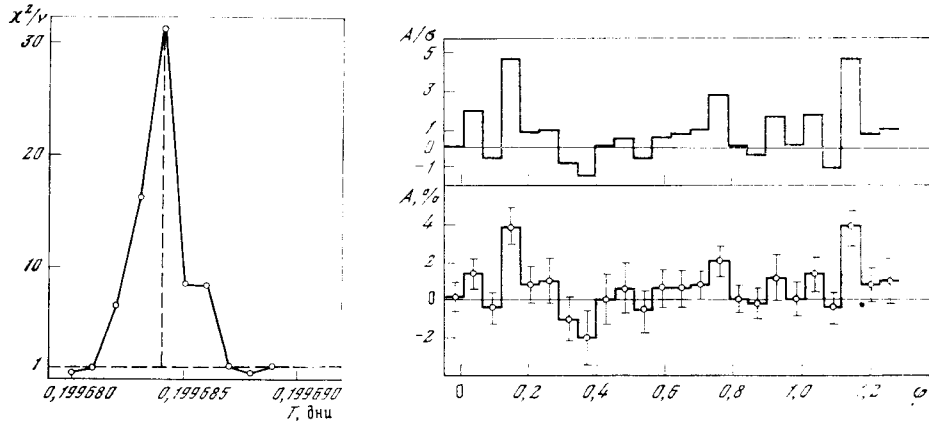


Рис. 1. Зависимость величины  $\chi^2/\nu$  от значения периода  $T$

Рис. 2. Распределение амплитуд эффекта  $A$  и  $A/\sigma$  ( $\sigma$  — ошибка определения амплитуды) от фазы рентгеновского излучения  $\phi$

туды эффекта  $A$  от фазы рентгеновского излучения  $\phi$ . При построении гистограммы за нулевую фазу был принят момент J.D. = 2441589,874 [14]. Хорошо видно, что в интервале фаз 0,130—0,185 наблюдается максимум излучения. Сдвиг фазы максимального потока по отношению к приведенной нами ранее в [12] в основном связан с различием значений периода, принятых при построении распределения.

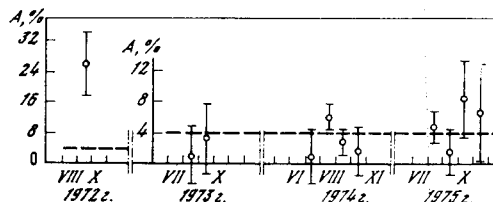
Второй пик в распределении амплитуд эффектов не является достаточно надежно установленным. Амплитуда периодической составляющей равна в среднем  $3,94 \pm 0,84\%$  для интервала фаз 0,130—0,185 и  $2,08 \pm 0,76\%$  для интервала 0,740—0,795.

Таким образом, характер временного распределения потока  $\gamma$ -излучения по периоду резко отличается от характера распределения по периоду рентгеновского излучения.

Любопытно отметить, что расстояние между первым и вторым пиком составляет 0,6 периода и не меняется от года к году.

Ранее нами уже отмечалось, что «глобальный» поток гамма-квантов меняется от месяца к месяцу. В связи с этим представляет интерес выяснить, как меняется значение среднемесячного потока периодической составляющей. На рис. 3 представлен ход среднемесячной амплитуды периодической составляющей потока гамма-квантов от объекта Суг X-3 для интервала фаз 0,130—0,185. Если исключить из рассмотрения сентябрь 1972 г., то применение критерия Пирсона приводит к величине  $\chi^2 = 6,92$  для  $\nu = 9$ . Вероятность того, что изменения среднемесячных значений потока являются статистическими, равна  $P(>\chi^2) = 0,60$ . Но даже если

Рис. 3. Временной ход среднемесячной амплитуды периодической составляющей потока гамма-квантов для интервала фаз 0,130—0,185



включить в рассмотрение и сентябрь, то вероятность того, что распределение носит статистический характер,  $P(>\chi^2) = 0,25$ .

Таким образом, в пределах точности измерений амплитуда периодической составляющей не испытывает существенных вариаций.

#### 4. Спорадическая составляющая излучения

Под спорадической составляющей излучения Суг X-3 понимается та часть излучения, которая не попадает в интервалы фаз 0,130—0,185 и 0,740—0,795. В табл. 2 представлены ежемесячные и среднегодовые значения интенсивности спорадической составляющей. Как видно из таблицы, только для двух месяцев величину потока спорадической составляющей можно считать статистически значимой: для сентября 1973 г. и августа 1974 г. Анализ данных ежемесячных значений потока гамма-квантов с помощью  $\chi^2$ -теста показал, что вероятность того, что среднемесячные значения спорадической составляющей представляют собой статистические флуктуации, равна  $P(>\chi^2) = 3 \cdot 10^{-3}$ . Таким образом, можно утверждать, что поток спорадической составляющей действительно меняется со временем.

Среднее значение потока спорадической составляющей за 4 года составляет  $0,32\% \pm 0,22\%$  от фона космических лучей.

#### 5. Обсуждение результатов

Попытки выявить связь между изменениями излучений рентгеновского источника Суг X-3 в различных диапазонах электромагнитного излучения — радио-, инфракрасном и рентгеновском — была проведена в [15].

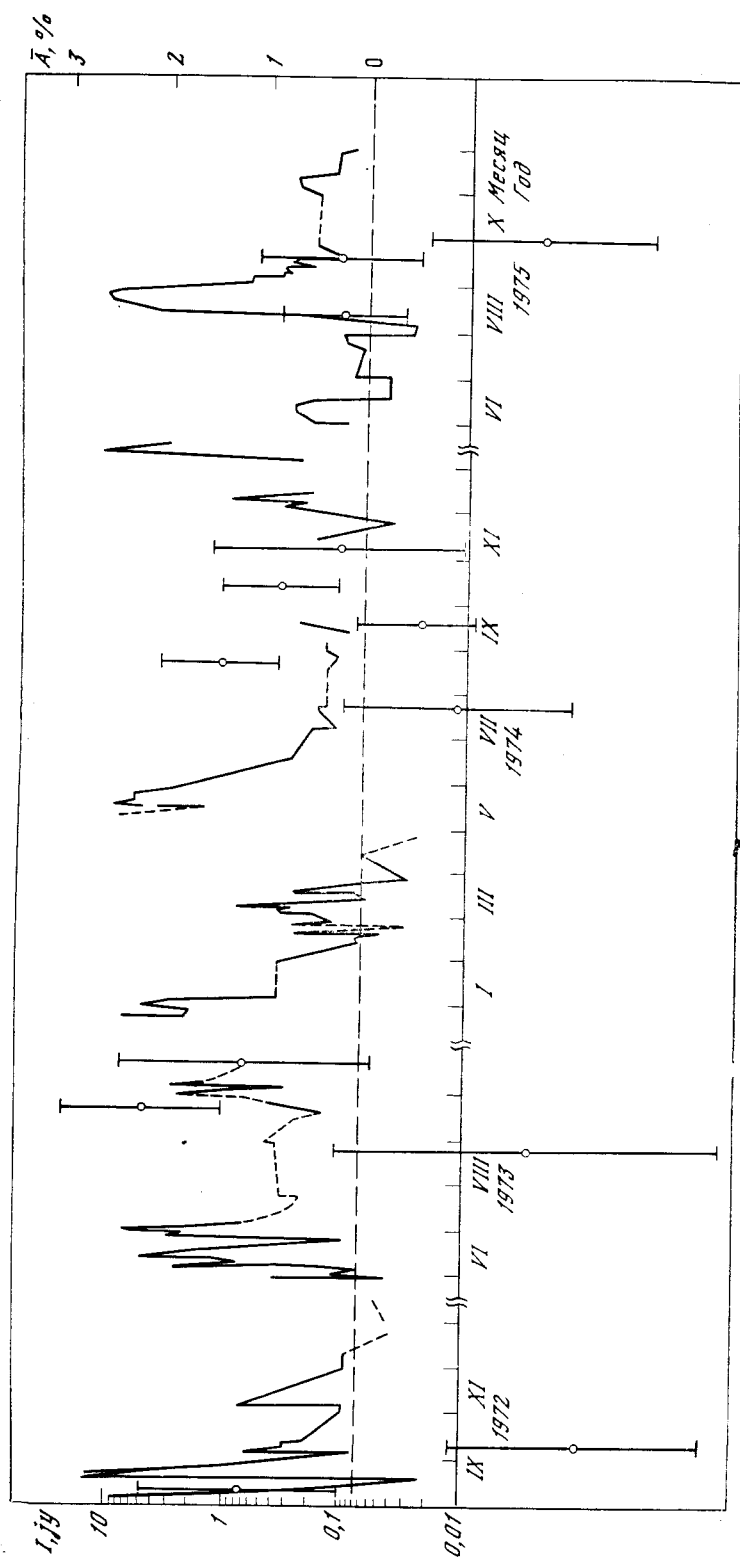


Рис. 4. Временной ход потока радионуклеидов ( $I$ ) и амплитуды спорадической составляющей ( $\bar{A}$ ) гамма-излучения

Таблица 2

| Год  | Амп-<br>литуда               | Месяцы                      |                             |                             |                             |                             | Среднее                     |
|------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|      |                              | VII                         | VIII                        | IX                          | X                           | XI                          |                             |
| 1972 | $A \pm \sigma$<br>$A/\sigma$ |                             |                             | $+2,45 \pm 2,07$<br>$+1,18$ | $-2,46 \pm 2,72$<br>$-0,90$ | $+8,3 \pm 7,02$<br>$+1,18$  | $+1,16 \pm 1,74$<br>$+0,67$ |
| 1973 | $A \pm \sigma$<br>$A/\sigma$ |                             | $-3,52 \pm 2,46$<br>$-1,43$ | $+4,55 \pm 1,49$<br>$+3,05$ | $+2,28 \pm 2,17$<br>$+1,05$ |                             | $+2,48 \pm 1,19$<br>$+2,08$ |
| 1974 | $A \pm \sigma$<br>$A/\sigma$ | $-0,93 \pm 0,84$<br>$-1,11$ | $+1,54 \pm 0,53$<br>$+2,90$ | $-0,50 \pm 0,50$<br>$-1,0$  | $+0,87 \pm 0,64$<br>$+1,36$ | $+0,14 \pm 1,34$<br>$+0,10$ | $+0,37 \pm 0,29$<br>$+1,28$ |
| 1975 | $A \pm \sigma$<br>$A/\sigma$ |                             | $+0,13 \pm 0,59$<br>$+0,22$ | $+0,36 \pm 0,72$<br>$+0,50$ | $-1,65 \pm 0,84$<br>$-1,96$ | $-0,03 \pm 0,93$<br>$-0,03$ | $-0,03 \pm 0,37$<br>$-0,07$ |

Авторам не удалось установить каких-либо корреляций между потоками излучений в этих диапазонах. Сопоставление потока спорадического излучения гамма-квантов с потоком радиоизлучения, приведенное на рис. 4, не показывает наличия какой-либо связи между этими величинами.

Наличие хорошей корреляции между гамма-излучением высокой энергии ( $\sim 10^8$ ) и сверхвысокой энергии ( $\sim 10^{12}$  эВ) было обнаружено в [10], что, по-видимому, свидетельствует о едином механизме генерации гамма-квантов в диапазоне от  $10^8$  до  $10^{12}$  эВ.

#### Выводы

1. Общий поток гамма-квантов с энергией  $> 2 \cdot 10^{12}$  эВ от объекта Суг X-3, усредненный за 4 года, равен  $3 \cdot 10^{-11}$  квантов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Если принять, что расстояние до Суг X-3 равно 11 кпс и излучение изотропно, то это соответствует общему излучению  $4,5 \cdot 10^{35}$  квантов/с, или примерно  $2 \cdot 10^{36}$  эрг/с, в виде гамма-квантов с энергией  $> 2 \cdot 10^{12}$  эВ.

2. Излучение Суг X-3 состоит из двух составляющих: периодической и спорадической.

3. Значение периода гамма-излучения равно (или кратно)  $0,199684 \pm 2 \cdot 10^{-6}$  дня. При этом основной пик в излучении гамма-квантов находится в интервале фаз  $0,130-0,185$ , если за нулевую эпоху принять J.D. = 2441589,874.

4. Среднее по периоду значение потока периодической составляющей  $\sim 1,3 \cdot 10^{-11}$  квантов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , пиковое значение равно  $1,6 \cdot 10^{-10}$  квантов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

5. Среднее значение потока спорадической составляющей равно  $\sim 1,7 \cdot 10^{-11}$  квантов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , однако в отдельные месяцы оно может достигать величины  $10^{-10}$  квантов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность А. Б. Северному и Н. В. Степенко за постоянное внимание и интерес к работе, Н. В. Бенюх и Ю. Л. Зыскину за помощь в обработке материала.

6 декабря 1976 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Gregory P. C., Kronberg P. P., Seaquist E. R., Hughes V. A., Woadsworth A., Viner M. R., Retallack D. Nature, 1972, 239, 440.
2. Hughes V. A., Woadsworth A. Astrophys. J., 1974, 191, 749.
3. McEllin M. Monthly Notices Roy. Astron. Soc., 1975, 170, Jp.
4. Kawano N., Kawajiri N. Publ. Astron. Soc. Japan, 1975, 27, 191.

5. Becklin E. E., Neugebauer G., Hawkins F. J., Mason K. O., Sandford P. W. *Nature*, 1973, 245, 302.
6. Srelemitsos P. J., Boldt E. A., Holt S. S., Rothschild R. E. *Astrophys. J. Letters*, 1975, 201, L. 9.
7. Mason K. O. *Proceed. of 2nd European Astronomical Meeting. Triest, Italy, 1974, September.*
8. Vladimírsky B. M., Stepanian A. A., Fomin V. P. 13th Internat. Conf. in Cosmic Ray, v. 1. Denver, 1973, p. 456.
9. Степанян А. А., Владимирский Б. М., Нешпор Ю. И., Фомин В. П. *Изв. АН СССР, серия физ.*, 1975, 39, 417.
10. Владимирский Б. М., Гальпер А. М., Кириллов-Узрюмов В. Г., Курочкин А. В., Лучков Б. И., Нешпор Ю. И., Степанян А. А., Фомин В. П., Юркин Ю. Т. *Письма Астрон. ж.*, 1975, 1, 25.
11. Hartman R. C., Fichtel C. E., Kniffen D. A., Lam R. C., Thompson D. J., Bignami C. F., Ogelman H., Özel M., Tümer T. *The Proc. Internat. Sympos. at Greenbelt. Maryland, June 2—4, 1976*, p. 12.
12. Степанян А. А., Владимирский Б. М., Нешпор Ю. И., Фомин В. П. *Изв. Крымской астрофиз. obs.*, 1976, 55, 157.
13. Степанян А. А., Владимирский Б. М., Нешпор Ю. И., Фомин В. П. *Изв. Крымской астрофиз. obs.*, 1975, 53, 29.
14. Canizares E. R., McClintock J. E., Clark G. W., Lewin W. H. G., Schnopper H. W., Sprott G. F. *Nature Phys. Sci.*, 1973, 241, 28.
15. Mason K. O., Becklin E. E., Blankenship L., Brown R. L., Elias J., Hjellming R. M., Matthews K., Murdin P. G., Neugebauer G., Sanford P. W., Willner S. P. *Astrophys. J.*, 1976, 207, 78.

## К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ГЕНЕРАЦИИ ГАММА-КВАНТОВ РЕНТГЕНОВСКИМ ИСТОЧНИКОМ ЛЕБЕДЬ X-3

А. А. Степанян

Из сопоставления спектров периодической составляющей гамма-излучения трех объектов — пульсара в туманности Парус PSR 0833—45, пульсара в Крабовидной туманности NP 0532 и рентгеновского источника Лебедь X-3 — можно предположить, что гамма-кванты в этих объектах образуются одним механизмом, в результате распада  $\pi^0$ -мезонов. В пользу этого предположения говорит также одинаковая зависимость относительной ширины пиков временных распределений потоков гамма-квантов от их энергий. При этом примечательно, что ширина пика при энергии  $\sim 10^8$  эВ соответствует ширине углового распределения гамма-квантов, образующихся при распаде  $\pi^0$ -мезонов низкой энергии.

ON THE MODE OF GAMMA-RAY GENERATION BY X-RAY SOURCE CYG X-3, by A. A. Stepanian. — It is pointed out that the spectra of periodical component of three gamma-ray sources pulsar in Vela nebula PSR 0833—45, pulsar in Crab nebula NP 0532 and X-ray source Cyg X-3 are similar. Since the gamma-ray spectrum of Vela pulsar agree with pion decay one the assumption that all three spectra are of the same origin is suggested. The identical dependence the relative width of gamma-ray pulse on the gamma-ray energy for all three sources support this assumption. It is pointed out that the width of  $10^8$  eV gamma-ray pulse correspond to angular distribution of that one generating by low-energy neutral pions.

Поиски дискретных источников гамма-квантов сверхвысокой энергии ( $10^{11}$ — $10^{14}$  эВ) были начаты уже давно. Еще в 1953 г. Голбрайт и Джели [1], используя метод регистрации черенковских вспышек широких атмосферных ливней, провели наблюдения ряда объектов с целью обнаружения потока гамма-квантов.

Однако лишь в последнее время поиски точечных источников стали давать положительные результаты. Одновременно положительные результаты получены при наблюдениях гамма-квантов с энергией  $\sim 10^8$  эВ на спутниках и баллонах.

Сопоставление результатов наблюдений гамма-квантов в различных диапазонах энергий дает возможность получить спектры излучения, которые в свою очередь существенно проясняют механизм генерации квантов.

### 1. Спектр гамма-излучения пульсара в туманности PSR 0833—45

По данным искровой камеры для регистрации гамма-квантов высокой энергии на спутнике SAS-2 [2] получено, что пульсар PSR 0833—45 излучает гамма-кванты с энергией  $> 35$  МэВ. Поток квантов меняется периодически. При этом наблюдаются два пульса. Пульсирующая часть излучения составляет  $0,71_{-0,12}^{+0,14}$  общего излучения туманности. Общий поток квантов с энергией  $> 35$  и  $> 100$  МэВ соответственно равен  $(15,1 \pm 2,4) \times$

$\times 10^{-6}$  и  $(6,3 \pm 1,1) \cdot 10^{-6}$  квантов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Как отмечают авторы, спектр гамма-квантов не отличается, в пределах ошибок, от спектра, образующегося при распаде  $\pi^0$ -мезонов.

Наблюдения гамма-квантов с энергией  $> 3 \cdot 10^{11}$  эВ от пульсара PSR 0833—45 [3] показали, что поток квантов сверхвысокой энергии изменяется периодически. В отличие от потока гамма-квантов с энергией  $E > 35$  МэВ наблюдается лишь один пик во временном распределении. Величина потока равна  $(1,0 \pm 0,33) \cdot 10^{-11}$  фотонов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

И, наконец, недавно получены предварительные данные о потоке квантов от пульсара PSR 0833—45 с энергией  $> 10^9$  эВ [4]. Величина потока равна  $1,4 \cdot 10^{-7}$  квантов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

## 2. Спектр гамма-излучения пульсара в Крабовидной туманности NP 0532

Данные об излучении пульсаром NP 0532 гамма-квантов с энергией  $E > 35$  МэВ и  $E > 100$  МэВ получены также на спутнике SAS-2 [5]. Общий поток гамма-квантов равен соответственно  $(15,8 \pm 4,2) \cdot 10^{-6}$  и  $(3,2 \pm 0,9) \cdot 10^{-6}$  квантов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Пульсирующая часть составляет  $(6,2 \pm 2,8) \cdot 10^{-6}$  и  $(2,2 \pm 0,7) \cdot 10^{-6}$  квантов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Заметно, что доля пульсирующей части возрастает с энергией. При энергии  $E > 140$  МэВ наблюдается только пульсирующий поток, равный  $(1,30 \pm 0,46) \cdot 10^{-6}$  квантов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . На кривой временного хода, так же как и у пульсара PSR 0833—45, имеются два пика.

Аналогичные результаты были получены по измерениям с помощью газового черенковского счетчика, запущенного в стратосферу [6].

Оказалось, что пульсирующий поток гамма-квантов с энергией  $E > 240$  и  $E > 800$  МэВ равен  $(16 \pm 4,5) \cdot 10^{-7}$  и  $(3,7 \pm 1,4) \cdot 10^{-7}$  квантов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  соответственно.

Поток гамма-квантов с энергией  $E > 8 \cdot 10^{11}$  эВ наблюдался в Смитсоновской обсерватории в США [7]. Поток периодической составляющей излучения равен  $(4,0 \pm 1,1) \cdot 10^{-12}$  квантов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . На кривой временного распределения наблюдается только один пик.

Следует отметить, что потоки квантов сверхвысокой энергии от PSR 0833—45 и NP 0532 меняются со временем. В настоящее время еще трудно установить диапазон изменений потоков. Приведенные данные относятся к максимальным потокам, зарегистрированным наблюдателями. Переменность потока гамма-квантов наблюдается и для области энергий  $10^8$  эВ (см., например, [8]).

## 3. Спектр гамма-излучения рентгеновского источника Cyg X-3

В отличие от пульсаров в Парусе и в Крабовидной туманности природа объекта Cyg X-3 еще недостаточно ясна.

Гамма-излучение в области сверхвысоких энергий от этого объекта было обнаружено в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР по данным наблюдений в 1972 г. [9]. В дальнейшем по данным наблюдений за несколько лет было показано [10], что излучение носит периодический характер. Удалось уточнить значение периода гамма-излучения [11]. Он оказался равным 0,199682 дня.

Кроме периодического излучения, этот объект излучает гамма-кванты спорадически, когда поток излучения распределен более или менее равномерно по периоду. Спорадическое излучение появляется только в отдельные периоды времени. Общий поток спорадического излучения в среднем за несколько лет в 2 раза превосходит средний поток периодического излучения, величина которого равна  $1,2 \cdot 10^{-11}$  квантов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

В октябре 1972 г. группой сотрудников МИФИ был произведен запуск на высотных аэростатах искровой камеры, предназначенной для регистра-

ции гамма-излучения с энергией квантов  $> 4 \cdot 10^7$  эВ. Обработка результатов наблюдений показала, что в направлении на объект Cyg X-3 имеется избыточный поток гамма-квантов [12]. Выяснилось также, что поток гамма-квантов этой энергии меняется во времени. Сопоставление результатов наблюдений в области сверхвысокой энергии ( $> 2 \cdot 10^{12}$  эВ) и в области 40 МэВ показало [13], что наблюдается корреляция изменений потоков гамма-квантов в обоих энергетических интервалах. Поток квантов с  $E > 40$  МэВ оказался равным  $10^{-4}$  квантов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Среднее за период излучение составит  $2 \cdot 10^{-5}$  квантов  $\cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Таким образом, объект Cyg X-3, так же как и пульсары PSR 0833—45 и NP 0532, является источником периодического гамма-излучения.

#### 4. Сопоставление спектров гамма-излучения объектов PSR 0833—45, NP 0532 и Cyg X-3

Для сопоставления спектров трех известных источников гамма-квантов было подсчитано общее количество гамма-квантов, излучаемое этими объектами в единицу времени. При этом предполагалось, что излучение изотропно. Рассматривается только периодическая часть излучения. Расстояние до туманности в Парусе было принято равным 500 пс, до Крабовидной — 1700 пс и до объекта Cyg X-3 11 кпс.

На рисунке представлены спектры периодической части гамма-излучения упомянутых трех объектов. Спектры для PSR 0833—45 и NP 0532 проведены по относительно большому числу точек. Хорошо видно, что в области  $10^8$  эВ имеется загиб, характерный для спектра, образованного при распаде  $\pi^0$ -мезонов. В [14] авторы отмечают, что спектр гамма-квантов от всей туманности в Парусе соответствует  $\pi^0$ -мезонному. Поскольку, согласно [2], доля пульсирующей части не зависит от энергии, то спектр гамма-квантов пульсара PSR 0833—45 также соответствует  $\pi^0$ -мезонному.

Следует отметить, что показатели спектров для PSR 0833—45 и NP 0532 совпадают. При этом наклон интегрального спектра по числу квантов  $\gamma \approx 1,6$ .

Что касается потока гамма-квантов от объекта Cyg X-3, то в настоящее время он измерен только при двух значениях пороговой энергии: при  $E > 40$  МэВ и  $E > 2 \cdot 10^{12}$  эВ. Из рисунка видно, что обе точки лежат выше кривой спектра пульсара NP 0532 почти на одном и том же расстоянии. А это означает, что показатели спектра рассматриваемых двух объектов практически одинаковы.

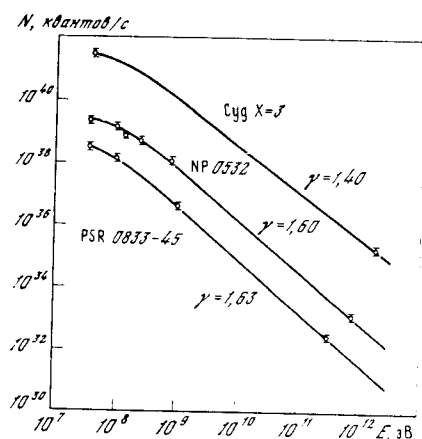
Приведенная на рисунке кривая для Cyg X-3 проведена таким образом, что имеет характерный для « $\pi^0$ -мезонного» спектра загиб в области относительно малых энергий. При этом в области  $\sim 10^8$  эВ кривая для Cyg X-3 проведена методом параллельного переноса кривой для NP 0532 и PSR 0833—45.

В области энергий от  $10^9$  до  $10^{12}$  эВ спектр представлен в виде прямой (в двойном логарифмическом масштабе). Показатель спектра в этой области оказывается равным 1,4, т. е. несколько меньше, чем у пульсаров в Парусе и в Крабовидной, хотя и не исключено, что эта разница сравнима с ошибками измерений.

Таким образом, предположение о том, что и в Крабовидной туманности, и в объекте Cyg X-3 гамма-кванты образуются при распаде  $\pi^0$ -мезонов, а следовательно, при взаимодействии космических лучей с ядрами окружающей плазмы, находит подтверждение в сходстве спектров (равенстве наклонов).

При этом общая светимость в гамма-лучах (с  $E > 35 \div 40$  МэВ) указанных трех объектов равна  $5 \cdot 10^{34}$ ,  $3 \cdot 10^{35}$  и  $5 \cdot 10^{37}$  эрг/с для периодической части излучения.

Представляется естественным, что более молодой и более быстро вращающийся пульсар NP 0532 излучает в гамма-квантах больше энергии,



Интегральные спектры периодической составляющей гамма-излучения пульсаров PSR 0833—45, NP 0532 и рентгеновского источника Cyg X-3

По оси абсцисс — энергия  $E$  квантов, по оси ординат — интегральное число квантов/с  $N(>E)$  с энергией больше заданной, испускаемое источником

чем PSR 0833—45. Если теперь сделать предположение, что и Cyg X-3 является пульсаром, то, по всей видимости, этот объект следует считать существенно более молодым, чем NP 0532. Пока, однако, нет каких-либо оснований считать Cyg X-3 пульсаром, хотя такое предположение и рассматривалось ранее [15].

### 5. Характер временного распределения гамма-излучения от пульсаров PSR 0833—45, NP 0532 и объекта Cyg X-3

Рассматриваемые нами объекты имеют большое сходство в характере временного распределения гамма-излучения за период пульсара. Так, в области сверхвысоких энергий ( $10^{11}$ — $10^{12}$  эВ) все три объекта имеют один достоверно установленный пик. Относительная ширина пика для PSR 0833—45 составляет 0,033 периода, для NP 0532—0,040 периода.

Во временном распределении гамма-квантов с энергией  $> 10^8$  эВ наблюдаются два пульса. Ширина пульсов значительно больше: так, для PSR 0833—45 относительные ширины пульсов  $\sim 0,16$  и  $\sim 0,08$  от периода для  $E > 35$  МэВ, для NP 0532 0,1 и 0,2 от периода.

Аналогичная ситуация наблюдается и для объекта Cyg X-3: если для сверхвысоких энергий относительная ширина «пульса»  $\sim 0,05$  от периода рентгеновского излучения 4,8 ч, то для  $E > 10^8$  эВ она  $\sim 0,20$  периода.

Нам представляется, что такое уширение «пульса» находит естественное объяснение в предположении, что гамма-кванты возникают при взаимодействии узкого пучка космических лучей с ядрами атомов плазмы. При этом гамма-кванты сверхвысоких энергий, образующиеся в результате распада  $\pi^0$ -мезонов большой энергии, имеют узкое угловое распределение относительно пучка первичных частиц, а гамма-кванты с энергией  $> 10^8$  эВ образуются от  $\pi^0$ -мезонов, обладающих относительно малой энергией, и их угловое распределение значительно шире ( $\sim 30^\circ$ ).

Приведенные выше данные о сходстве спектров гамма-излучения высокой энергии и временного распределения потоков говорят в пользу того, что они образуются одним путем, а именно при взаимодействии ядер космического излучения, генерированного в данных объектах, с окружающей их газовой оболочкой.

Однако имеющихся данных пока недостаточно для каких-либо окончательных выводов. Необходимы более интенсивные наблюдения с улучшенной аппаратурой и в более широком диапазоне энергий.

Ноябрь 1976 г.

## Л и т е р а т у р а

1. *Galbraith W., Jelley J. V.* Nature, 1953, **171**, 349.
2. *Thompson D. J., Fichtel C. E., Kniffen D. A., Ögelman H. B.* Astrophys. J. Letters, 1975, **200**, L. 79.
3. *Crindlay J. E., Helmken H. F., Brown Hanbury R., Davis J., Allen L. R.* Astrophys. J., 1975, **201**, 82.
4. *Bennett K., Bignami G. F., Boella G., Buccheri R., Gorisse M., Hermesen W., Kanbach G., Mayer-Hasselwander H. A., Lichti R., Paul J. A., Scarsi L., Swanenburg B. N., Taylor B. G., Wills R. D.* Astron. and Astrophys., 1976, **50**, 157.
5. *Kniffen D. A., Hartman R. C., Thompson D. J., Bignami G. F., Fichtel C. E.* Nature, 1974, **251**, 397.
6. *McBreen B., Ball S. E. Jr., Campbell M., Greisen K., Koch D.* Astrophys. J., 1973, **184**, 571.
7. *Grindlay J. E., Helmken H. F., Weekes T. C.* Astrophys. J., 1976, **209**, 592.
8. *Greisen K., Ball S. E. Jr., Campbell M., McBreen B., Koch D., Gilman D., Strickman M.* Astrophys. J., 1975, **197**, 471.
9. *Vladimirsky B. M., Stepanian A. A., Fomin V. P.* 13th Internat. Conf. Cosmic Rays, v. 1, Univ. Denver, 1973, p. 456.
10. *Степанян А. А., Владимирский Б. М., Нешпор Ю. И., Фомин В. П.* Изв. АН СССР, 1975, **39**, 417.
11. *Степанян А. А., Владимирский Б. М., Нешпор Ю. И., Фомин В. П.* Изв. Крымской астрофиз. обс., 1976, **55**, 157.
12. *Гальпер А. М., Кириллов-Угрюмов В. Г., Курочкин А. В., Лучков Б. И., Юркин Ю. Т.* Письма ЖЭТФ, 1973, **18**, 217.
13. *Владимирский Б. М., Гальпер А. М., Кириллов-Угрюмов В. Г., Курочкин А. В., Лучков Б. И., Нешпор Ю. И., Степанян А. А., Фомин В. П., Юркин Ю. Т.* Письма Астрон. ж., 1975, **1**, 25.
14. *Thompson D. J., Bignami G. F., Fichtel C. E., Kniffen D. A.* Astrophys. J. Letters, 1974, **190**, L. 51.
15. *Сюняев Р. А.* Письма Астрон. ж., 1976, **2**, 334.

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ЗАТМЕННО-ПЕРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ V 599 Aql

Т. М. Рачковская

На основании спектрограмм, полученных с дисперсией 12 и 36 Å/мм, изучен спектр и измерены лучевые скорости  $v_r$ . Показано, что система V599 Aql состоит из двух звезд главной последовательности:  $Sp_1 = Sp_2 = B3,5$ ;  $M_{V1} = -1,75$ ;  $M_{V2} = -0,51$ . Электронная плотность и относительное содержание водорода и гелия в атмосфере главного компонента величины того же порядка, как и для нормальных звезд. Определены скорости осевого вращения, радиусы,  $\gamma$ -скорость и полуамплитуда лучевой скорости  $K_1$ .

SPECTROPHOTOMETRIC STUDY OF ECLIPSING-VARIABLE SYSTEM V599 Aql, by T. M. Rachkovskaja.— The spectrum of eclipsing-variable system V599 Aql has been studied and radial velocity measurements has been obtained using the spectrograms with dispersion 12 and 36 Å/mm. It was shown, that the system V599 Aql consist from two main-sequence stars:  $Sp_1 = Sp_2 = B3.5$ ;  $M_{V1} = -1.75$ ;  $M_{V2} = -0.51$ . Electron pressure and relative content of hydrogen and helium in the atmosphere of primary component are the same, as in the atmospheres of normal stars. The following parameters have been obtained: axial velocity, radii. From the velocity curve have been obtained  $\gamma = -9,8$  km/s,  $K_1 = 124$  km/s.

V 599 Aql ( $Sp\ B3,5$ ,  $P = 1^d,84$ ), согласно классификации Свечникова [1], относится к типу контактных систем ранних спектральных классов. Главные компоненты систем этого типа имеют спектр от B0 до A2, спутники имеют такой же спектральный класс, как и главная звезда, либо несколько более поздний. Их орбитальные периоды заключены в пределах 0,68—1<sup>d</sup>,87. На диаграмме Г — Р названные системы расположены на главной последовательности, лишь спутники некоторых систем (с малым отношением масс) находятся выше нее.

Спектральные наблюдения V599 Aql ранее были выполнены Пирсом [2], им построена кривая лучевых скоростей. Петри [3] по четырем спектрограммам определил разность звездных величин компонентов в максимуме блеска. Кривая блеска была получена Гапошкиным [4] фотографическим методом и Магалашвили и Кумсишвили [5] по фотоэлектрическим наблюдениям в  $U$ ,  $B$ ,  $V$ -системе.

Результаты перечисленных работ показывают, что некоторые характеристики компонентов, например радиусы, массы, абсолютные визуальные величины  $M_V$ , определены недостаточно уверенно. Кроме того, ранее совсем не ставился вопрос об изучении физических параметров атмосферы компонентов. Поэтому дополнительные наблюдения как спектра, так и блеска системы V599 Aql представляют большой интерес.

Нами была поставлена задача изучить спектр V599 Aql в разные фазы орбитального периода с целью определения физических параметров атмосферы и спектроскопических элементов, чтобы иметь более определенное представление о модели системы.

Таблица 1

| Дата, 1975 г. | Экспозиция                     | Дисперсия, Å/мм | Спектральная область, Å | Фаза               |
|---------------|--------------------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|
| 27—28.V       | 2 <sup>h</sup>                 | 12              | 4900—3800               | 0 <sup>P</sup> ,65 |
|               | 1 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> | 12              | 4900—3700               | 0,70               |
| 21—22.VI      | 3 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup> | 12              | 6900—5800               | 0,19               |
| 22—23.VI      | 4 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> | 12              | 6900—5800               | 0,72               |
| 24—25.VI      | 1 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> | 12              | 4900—4000               | 0,84               |
| 25—26.VI      | 3 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> | 36              | 4900—3700               | 0,31               |
| 27—28.VI      | 4 <sup>h</sup>                 | 12              | 6900—5800               | 0,44               |
| 28—29.VI      | 3 <sup>h</sup>                 | 12              | 4900—3800               | 0,93               |
|               | 2 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup> | 12              | 6900—5800               | 0,00               |
| 12—13.VII     | 4 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup> | 36              | 4900—3700               | 0,50               |
| 13—14.VII     | 3 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> | 36              | 4900—3700               | 0,03               |
|               | 2 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> | 36              | 4900—3700               | 0,10               |

### 1. Наблюдения и их обработка

Наблюдения выполнены на спектрографе Куде 2,6-м рефлектора и дифракционном спектрографе АСП-11 1,22-м рефлектора Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. Использовалась эмульсия типов 103 аО и 103 аF. Данные о спектрограммах собраны в табл. 1. Фазы, приведенные в последнем столбце, вычислены согласно эфемериде [6] и соответствуют моменту середины экспозиции.

Обработка спектрограмм проводилась на микрофотометре в прямых интенсивностях с увеличением в 26 и 42 раза.

### 2. Спектр и некоторые характеристики

Как видно из табл. 1, наши наблюдения достаточно равномерно распределены по фазам орбитального периода системы. С целью выявления особенностей спектра звезды в разные фазы спектрограммы изучались отдельно.

Спектр V599 Aql имеет вид, типичный для звезды класса В: на непрерывном фоне видны интенсивные линии водорода и гелия. Обнаружена асимметрия крыльев, а иногда и раздвоение линий гелия  $\lambda 4026$ ,  $4388$ ,  $4471$ , и  $4481$  Å Mg II в фазах, соответствующих моментам элонгации, и достаточно симметричные контуры в моменты соединения. Этот факт говорит о присутствии спектра вторичного компонента. Контуры линий водорода явно не показывают наличия спутника, поэтому для выявления его признаков был построен график зависимости полуширин линий  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$ ,  $H_\delta$  от фазы орбитального периода (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что полуширины наблюдаемых водородных линий V599 Aql меняются в течение периода. Характер изменения такой, как этого следовало ожидать в случае, когда наблюдаются спектры обоих компонентов (если их спектральные классы близки): увеличение полуширины наблюдаемого контура в фазы, когда нет затмения, и уменьшение, когда затмение наступает.

Аналогично рис. 1 были построены графики зависимости эквивалентных ширин  $W_\lambda$  линий гелия от фазы, но они не показали изменения в течение периода. Это неудивительно, так как из фотометрических наблюдений [5] следует, что затмение в системе V599 Aql частное и незначительное по глубине. Причем глубины главного и вторичного минимумов различаются лишь в пределах  $0^m,02$ , а разность блеска компонентов находится в пределах  $\Delta m = 0,9 \div 1^m,29$  (наше определение этой величины см. ниже).

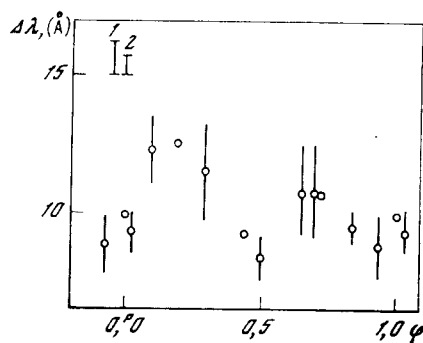


Рис. 1. Изменение полуширин линий водорода с фазой  $\phi$  орбитального периода. Вертикальные линии — средняя квадратичная ошибка одного определения. Вертикальные линии 1 и 2 слева сверху графика показывают полуширину инструментального контура АСП-11 (1,22-м телескоп) и Куде (2,6-м рефлектор) соответственно

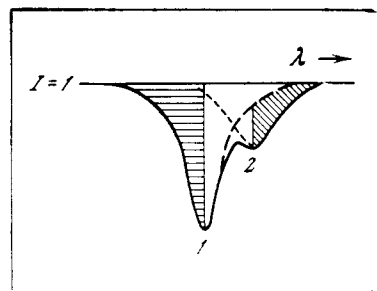


Рис. 2. Наблюдаемый контур линии гелия  $\lambda 4471$  He I в фазе  $\phi = 0^P, 70$

Таким образом, принимая во внимание результаты фотометрических спектральных наблюдений V599 Aql, можно сделать вывод, что в этой системе во все фазы орбитального периода наблюдаются обе звезды. Компоненты имеют близкие спектральные классы. Вклад спутника в общий блеск системы не превышает 30%.

Перейдем к рассмотрению эквивалентных ширин линий. В табл. 2 приведен список спектральных линий, их отождествление и наблюдаемые эквивалентные ширины. Для того чтобы количественно оценить истинную величину эквивалентных ширин линий главного и вторичного компонентов, рассмотрим контур линии  $\lambda 4471$  Å He I в фазе  $0^P, 70$ , близкой к моменту элонгации. Контур  $\lambda 4471$  Å представлен на рис. 2. Контур 1 и 2 соответствуют главному и вторичному компонентам. Заштрихованные площади представляют собой половины контуров 1-го и 2-го компонентов V599 Aql, искаженные только за счет наложения непрерывных спектров. Поэтому, если спектральные классы компонентов близки, то, согласно [7], по отношению эквивалентных ширин или интенсивностей линий двух компонентов мы можем определить отношение интенсивностей их непрерывных спектров  $l$  и в конечном итоге  $\Delta m$  — разность звездных величин компонентов в максимуме блеска системы. По линии гелия  $\lambda 4471$  Å  $l$  оказалась равной  $l = 0,32$ . Величина  $l$  была определена также по отношению центральных интенсивностей линий  $\lambda 4388$  и  $\lambda 4144$  Å He I. Окончательно, с учетом надежности линий, принята  $l = 0,33$ , что дает разность звездных величин  $\Delta m = 1,24 \pm 0,05$ . Эта величина хорошо согласуется со значением  $\Delta m = 1,29 \pm 0,16$ , полученным Петри [3]. Следовательно, чтобы получить истинные эквивалентные ширины главного и вторичного компонентов, необходимо их наблюдаемые эквивалентные ширины умножить на величины  $(1 + l)$  и  $(1 + l)/l$  соответственно. Это все справедливо для случая, когда линии 1 и 2 разделяются. Но в наблюдаемых спектрах V599 Aql лишь несколько линий гелия в фазах, близких к элонгации, выглядят полуразделенными, причем далеко не для всех можно уверенно определить  $W_{\lambda \text{ набл}}$ . Поэтому в дальнейшем, учитывая, что  $W_{\lambda \text{ набл}}$  с фазой изменения не показывают и что вклад непрерывного спектра в фазах, близких к элонгации, составляет около 30% по отношению к интенсивности непрерывного спектра главного компонента, будем считать, что  $W_{\lambda \text{ набл}} = W_{\lambda \text{ ист}}$ . Т. е. наблюдаемые  $W_{\lambda}$  характеризуют истинные эквивалентные ширины главного компонента с ошибкой, не превышающей 30%. Определим теперь некоторые характеристики V599 Aql.

Спектральный класс Sp и абсолютная визуальная величина  $M_V$ . Спектральный класс главного компонента был определен по эквивалентным ширинам отдельных линий гелия и по их отношению  $(W_{4144} + W_{4388})/(W_{4026} +$

Таблица 2

| $\lambda, \text{Å}$ | Элемент       | $W_\lambda, \text{Å}$ | $n$ | $\lambda, \text{Å}$ | Элемент                          | $W_\lambda, \text{Å}$ | $n$ |
|---------------------|---------------|-----------------------|-----|---------------------|----------------------------------|-----------------------|-----|
| 6678                | He I          | 0,66                  | 4   | 4026                | He I                             | 1,52                  | 7   |
| 6563                | H $_{\alpha}$ | 5,48                  | 4   | 4009                | He I                             | 0,72                  | 7   |
| 5895                | Na I межзв.   | 0,39                  | 4   | 3970                | H $_{\epsilon}$ + H Ca II межзв. | 6,44                  | 4   |
| 5889                | Na I межзв.   | 0,43                  | 4   | 3965                | He I                             | 0,37                  | 2   |
| 4861                | H $_{\beta}$  | 6,48                  | 4   | 3933                | K Ca II                          | 0,25                  | 1   |
| 4713                | He I          | 0,30                  | 3   | 3933                | K Ca II межзв.                   | 0,28                  | 2   |
| 4481                | Mg II         | 0,46                  | 8   | 3927                | He I                             | 0,75                  | 3   |
| 4471                | He I          | 1,60                  | 8   | 3919                | C II                             | 0,62                  | 2   |
| 4430                | Межзв.        | 1,50                  | 6   | 3889                | H $_{\delta}$                    | 6,12                  | 5   |
| 4417                | O II          | 0,22                  | 1   | 3872                | He I                             | 0,32                  | 1   |
| 4388                | He I          | 1,05                  | 8   | 3867                | He I                             | 0,31                  | 1   |
| 4367                | O II          | 0,16                  | 1   | 3835                | H $_{\theta}$                    | 6,10                  | 4   |
| 4340                | H $_{\gamma}$ | 6,67                  | 7   | 3820                | He I                             | 1,22                  | 5   |
| 4267                | C II          | 0,26                  | 3   | 3798                | H $_{10}$                        | 5,60                  | 4   |
| 4144                | He I          | 0,88                  | 7   | 3771                | H $_{11}$                        | 4,38                  | 4   |
| 4131                | Si II         | 0,18                  | 1   | 3750                | H $_{12}$                        | 3,30                  | 4   |
| 4128                | Si II         | 0,23                  | 4   | 3734                | H $_{13}$                        | 2,52                  | 3   |
| 4102                | H $_{\delta}$ | 6,86                  | 5   |                     |                                  |                       |     |

+  $W_{4471}$ ) на основании критериев Боярчука [8]. Кроме этого принималось во внимание наличие или отсутствие в спектре V599 Aql других элементов, например O II, C II. Линии O II (см. табл. 2) обнаружены только на одной спектрограмме ( $\varphi = O^P, 7$ ), тогда как  $\lambda 4267 \text{ Å}$  C II уверенно видна на трех спектрограммах. Исходя из O II, можно считать, что  $Sr_1$  не раньше B2, а по  $\lambda 4267 \text{ Å}$  C II в пределах от B2 до B5. Определения  $Sr_1$  по отдельным или парам линий гелия дали значения в диапазоне B1,5—B5, тогда как  $Sr_1 \left( \frac{W_{4144} + W_{4388}}{W_{4026} + W_{4471}} \right) = B3,5$ . Последнее значение мы считаем вполне реальным, так как критерий, основанный на использовании отношения эквивалентных пиринов, является более надежным, и все другие определения  $Sr_1$  не противоречат этому.

Приняв, что наблюдаемые эквивалентные пирины характеризуют линии спектра главного компонента, мы определили абсолютную визуальную величину  $M_{V1}$  главной звезды на основании зависимостей  $W_\lambda, M_V$  Копылова [9]. Затем исходя из полученного значения  $M_{V1}$  и  $\Delta m = \Delta M$  была вычислена абсолютная визуальная величина спутника. В результате были получены значения  $M_{V1} = -1,75$ ;  $M_{V2} = -0,51$ .

Таким образом, двумерная классификация показывает, что обе звезды V599 Aql лежат на главной последовательности диаграммы Г — Р: главный компонент — посередине, а спутник — у ее нижней границы.

Электронная плотность  $\lg n_e(m)$ , числа атомов водорода  $\lg N_{02}H$  и гелия  $\lg N_{2^1P}H$ ,  $\lg N_{2^3P}H$ . Электронная плотность  $\lg n_e(m)$  атмосферы главного компонента была определена по  $m$  — последнему наблюдаемому номеру водородной линии (формула Инглиса — Теллера):  $\lg n_e(m) = 23,26 - 7,5 \lg m$ . В результате получено  $m = 17,2$  и  $\lg n_e = 14,0$ .

Число атомов водорода в атмосфере звезды на втором энергетическом уровне над  $1 \text{ см}^2$  фотосферы  $\lg N_{02}H = 15,9$  и числа атомов гелия на уровнях  $2^1P$  и  $2^3P$   $\lg N_{2^1P}H \approx 14,80$  и  $\lg N_{2^3P}H = 14,52$  вычислены по формуле

$$W_\lambda = \frac{\pi e^2 \lambda^2}{m c^2} f N H.$$

Полученные величины мы сравнили с таковыми для нормальных звезд спектрального класса B3 [10]. Сравнение показало, что электронная плот-

ность и относительное содержание водорода и гелия в атмосфере главного компонента V599 Aql — величины такого же порядка, как и у нормальных звезд главной последовательности.

Скорость вращения  $V_1 \sin i$  главного компонента была определена по полуширинам линий  $\lambda 4026, 4144, 4388, 4471 \text{ \AA}$  He I по спектрограммам в фазах  $0^P,31$  и  $0^P,70$ , когда контур 1 не искажался контуром 2. Она оказалась равной  $V_1 \sin i = 131 \pm 20 \text{ км/с}$ . Если принять  $i = 46^\circ,7$  [5], то  $V_{1\text{осев}} = 182 \pm 28 \text{ км/с}$ . Для вторичного компонента по линии  $\lambda 4471 \text{ \AA}$  He I мы нашли  $V_2 \sin i \approx 120 \text{ км/с}$ , ошибка этого определения, вероятно, раза в два-три превышает ошибку  $V_1 \sin i$  главного компонента.

Для выяснения существования синхронности вращения и обращения звезды интересно сопоставить полученное значение  $V_{\text{осев}}$  с  $V_{\text{синхр}} = 2\pi R/P$ . Радиусы компонентов мы определили по  $T_e$  и  $M_{\text{bol}}$  (табл. 3), используя данные из [11]. Оказалось, что, для того чтобы выполнялось условие синхронности вращения и обращения главного компонента, его скорость вращения вокруг оси должна быть порядка 130, а для спутника около 72 км/с. Учитывая точность наших определений, по-видимому, можно считать, что синхронность орбитального и осевого вращений в системе V 599 Aql имеет место. К тому же наблюдения спектра V599 Aql никаких признаков истечения материи или других нестационарных явлений, которые могли вызвать нарушение синхронности, не обнаруживают.

Таблица 3

| Характеристика  | Значение     | Характеристика | Значение                  |
|-----------------|--------------|----------------|---------------------------|
| $Sp_{1,2}$      | B3,5         | $\lg N_{23P}H$ | 14,52                     |
| $M_{V1,2}$      | -1,75; -0,51 | $V_1 \sin i$   | $131 \pm 20 \text{ км/с}$ |
| $\lg n_e (m)_1$ | 14,0         | $V_2 \sin i$   | 120 км/с                  |
| $\lg N_{0,1}H$  | 15,9         | $R_1/R_\odot$  | 4,3(10,5)                 |
| $\lg N_{21P}H$  | 14,80:       | $R_2/R_\odot$  | 2,4(7,3)                  |

В табл. 3 собраны характеристики компонентов, определенные нами на основании изучения спектра V599 Aql.

Отметим, что значения радиусов компонентов V599 Aql, полученные нами, ниже значений (в скобках), вычисленных из фотометрических наблюдений [5].

### 3. Кривая лучевых скоростей

Для определения лучевых скоростей  $v_r$  были измерены линии водорода ( $H_5 - H_{13}$ ), гелия  $\lambda 3820, 4009, 4026, 4144, 4388, 4471 \text{ \AA}$  He I, магния  $\lambda 4481 \text{ \AA}$  Mg II главного компонента на всех спектрограммах и  $\lambda 4009, 4026, 4388, 4471 \text{ \AA}$  He I и  $\lambda 4481 \text{ \AA}$  Mg II вторичного только на трех спектрограммах. Как отмечалось выше, спектральные линии вторичного компонента проявляют себя в виде асимметрии линий главного (лишь в нескольких случаях достаточно выразительно видно ядро), поэтому точность измерения  $v_r$  вторичного компонента значительно ниже. Кроме этого были измерены межзвездные линии  $D_1$  и  $D_2$  Na I и  $\lambda 3933 \text{ \AA}$  K Ca II, наблюдаемые в спектре V599 Aql.

Измерения выполнены с помощью микроскопа ИЗА-2 относительно линий железа спектра сравнения в синей области и относительно линий неона в красной. Данные измерений были обработаны на ЭВМ ЕС-1020. Полученные значения  $v_r$ , исправленные за эффект орбитального вращения Земли, представлены в табл. 4. В первом столбце даны лабораторные значения длин волн измеренных линий, в следующих столбцах — лучевая скорость для разных фаз наблюдений. Точность измерений межзвездных

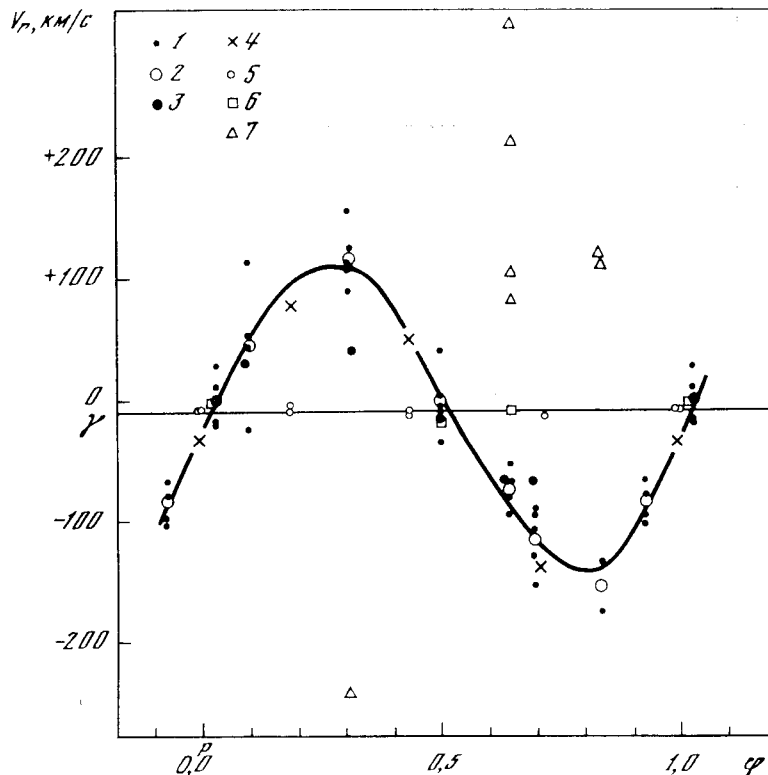


Рис. 3. Кривая лучевых скоростей

Главный компонент: 1 — индивидуальные измерения линий гелия; 2 — средние значения  $v_r$  (He I); 3 — средние  $v_r$  водородных линий, кроме  $H_\alpha$ ; 4 —  $v_r$  ( $H_\alpha$ ); 5 —  $v_r$  ( $D_1$ ,  $D_2$  Na I — межзвездные); 6 —  $v_r$  ( $\lambda 3933$  Ca II — межзвездная). Вторичный компонент: 7 —  $v_r$  (He I,  $\lambda 4481$  Mg II)

линий составляет  $\pm 5$  км/с, линий главного компонента  $\pm 5$  —  $\pm 10$  км/с. В конце таблицы приведены средние значения  $\bar{v}_r$ , определенные по линиям водорода и гелия главной звезды.

На рис. 3 представлена зависимость лучевой скорости от фазы. Кривая  $v_r$  главного компонента проведена по средним значениям  $\bar{v}_r$  (He I) линий гелия. Следует отметить, что некоторые значения  $\bar{v}_r$  (H) водородных линий довольно сильно отличаются от  $\bar{v}_r$  (He I). По-видимому, это можно объяснить тем, что вклад водородных линий вторичного компонента смещает центр тяжести главного компонента, т. е. мы измеряем не истинное положение центра тяжести водородной линии главного компонента, а несколько смещенное в сторону линии вторичного. В пользу этого говорят измерения  $\bar{v}_r$  (H) в фазах 0,10; 0,19; 0,31 и 0,70.

Как уже отмечалось, для вторичного компонента имеется несколько измерений  $v_r$  в фазах 0,31; 0,65; 0,70, причем разброс отдельных определений довольно большой. Разумно оценив надежность отдельных определений  $v_r$  вторичного компонента и приняв во внимание положение оси  $\gamma$  согласно кривой лучевых скоростей главной звезды, мы определили полуамплитуду лучевой скорости вторичного компонента  $K_2 \approx 200$  км/с.

Ниже приведены значения скорости центра масс системы  $\gamma$  и полуамплитуды лучевой скорости  $K_1$  и  $K_2$  по нашим определениям и Пирса [2] (в скобках).

| Характеристика  | Значение     |
|-----------------|--------------|
| $K_1$ , км/с    | 124 (150)    |
| $K_2$ , км/с    | 200 (241)    |
| $\gamma$ , км/с | -9,8 (-12,9) |

Таблица 4

| $\lambda, \text{\AA}$  | Фаза  |        |       |        |       |       |       |        |       |        |        |
|------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|
|                        | 0,028 | 0,099  | 0,188 | 0,310  | 0,438 | 0,500 | 0,647 | 0,696  | 0,721 | 0,838  | 0,930  |
| 5889,95                |       |        | -9,8  |        | -10,5 | +1,5  |       |        | -12,3 |        | -6,6   |
| 5895,92                |       |        | -4,8  |        | -12,5 | +9,9  |       |        |       |        | -7,4   |
| 6562,82                |       |        | -76,8 |        | +19,4 | -34,3 |       | -66,5  |       |        | -34,2  |
| 3750,15                |       |        |       | +50,4  |       | +9,9  |       | -106,9 |       |        |        |
| 3797,90                | -13,6 |        |       | +125,2 |       | -34,3 |       | -86,2  |       |        |        |
| 3819,61                | -19,8 |        |       | +48,9  |       | -5,4  |       | -53,6  |       |        |        |
| 3835,39                | +30,1 |        |       | +18,2  |       | -39,3 |       | -7,8   |       |        |        |
| 3889,05                | +0,0  |        |       |        |       | -22,5 |       | -17,2  |       |        |        |
| 3933,66                | +1,4  |        |       |        |       |       |       | -31,6  |       |        |        |
| 3968,47                |       |        |       |        |       |       |       | -95,0  |       |        |        |
| 3970,07                | -35,7 | +19,8  |       | -4,6   |       | -17,0 |       |        |       |        |        |
| 4009,27гн              | -0,8  | +32,5  |       | +156,6 |       | +41,1 |       |        |       |        | -103,2 |
| 4009,27вр              |       |        |       |        |       |       |       |        |       |        |        |
| 4026,19гн              | -16,4 | +43,1  |       | +90,0  |       | -9,8  |       | -154,2 |       |        | -95,6  |
| 4026,19вр              |       |        |       |        |       |       |       |        |       |        |        |
| 4101,74                | +41,6 | +36,0  |       | +87,0  |       | -50,8 |       | -96,8  |       |        |        |
| 4120,99                |       |        |       | +106,1 |       |       |       |        |       |        |        |
| 4143,76                |       |        |       | +112,5 |       |       |       |        |       |        |        |
| 4340,47                | +28,5 | +54,6  |       |        |       | -16,3 |       | -94,9  |       |        |        |
| 4387,93гн              | -17,6 | +35,3  |       | +107,4 |       | +3,4  |       | -76,6  |       |        |        |
| 4387,93вр              | +1,0  | +113,2 |       | -241,8 |       | -6,4  |       | -129,5 |       | -175,5 | -79,2  |
| 4471,48гн              | +11,0 | -25,3  |       | +110,3 |       |       |       | -115,4 |       | -133,9 | -66,0  |
| 4471,48вр              |       |        |       |        |       |       |       |        |       | +220,5 |        |
| 4481,13гн              | -3,0  |        |       |        |       |       |       | -140,4 |       | -185,7 |        |
| 4481,13вр              |       |        |       |        |       |       |       |        |       | +212,4 |        |
| $\bar{V}_r(\text{He})$ | +0,6  | +43,7  |       | +116,5 |       | -1,2  | -74,5 | -116,0 |       | -155,0 | -86,0  |
| $\bar{V}_r(\text{H})$  | +0,8  | +30,3  |       | +40,0  |       | -16,2 | -69,0 | -68,5  |       |        |        |

Одновременное рассмотрение рис. 3 и этих данных показывает, что как  $\gamma$ -скорость, так и величины  $K_1$  и  $K_2$  по нашим определениям и Пирса несколько различны. Различия в  $K_1$  и  $K_2$ , вероятно, могут быть обусловлены статистикой наблюдений. Различия в  $\gamma$ -скорости, по-видимому, могут быть объяснены различием в нульпунктах нашей и Пирса систем лучевых скоростей.

В заключение считаю своим долгом выразить благодарность доктору физ.-мат. наук А. А. Боярчуку за советы и замечания при обсуждении статьи и Г. Н. Шараповой за помощь в обработке наблюдений.

Декабрь 1976 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Свечников М. А. Уч. зап. Уральского ун-та, серия астроном., 1969, № 88, вып. 5.
2. Pearce J. A. Publs Domin. Astrophys. Observ., 1927, 4, N 6.
3. Petrie R. M. Publs Domin. Astrophys. Observ., 1950, 8, N 10.
4. Gaposchkin S. Bull. Harvard College Observ., 1943, N 917, 5.
5. Магалашвили Н. Л., Кумсишвили Я. И. Бюл. Абастуманской обс., 1966, № 34, 3.
6. Кукаркин Б. В. и др. Общий каталог переменных звезд, т. I. М., «Наука», 1970.
7. Рачковская Т. М. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1971, 43, 87.
8. Боярчук А. А. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1957, 17, 89.
9. Копылов И. М. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1958, 20, 156.
10. Барташ Т. М. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1965, 34, 128.
11. Allen C. W. Astrophysical quantities. Univ. London, 1973.

АБСОЛЮТНАЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ  $\beta$  Lyr

В. И. Бурнашев, М. Ю. Скульский

На основании измерений распределения энергии в спектре  $\beta$  Lyr предложена модель этой системы, состоящая из звезд B8 III и A5 III и газовой оболочки с  $T_e = 20\,000$  K.

ABSOLUTE SPECTROPHOTOMETRY OF  $\beta$  Lyr, by V. I. Burnashev and M. Yu. Skul'sky. — A model of the system  $\beta$  Lyr is proposed on the base of the energy distribution measurements in its spectra. The model consist of B8 III and A5 III stars and a gaseous envelope having  $T_e = 2 \cdot 10^4$  K.

Определение потока излучения в эмиссионных линиях, вклада излучения околозвездной оболочки в континуум и уточнение спектральных классов компонентов системы  $\beta$  Lyr могут быть выполнены на основе данных об абсолютном распределении энергии в спектре этой уникальной тесной двойной звезды. Однако до настоящего времени не было публикаций о такого рода наблюдениях.

Абсолютная спектрофотометрия  $\beta$  Lyr выполнена нами в 1974 г. Наблюдения производились с помощью сканирующего спектрофотометра СФ-68, установленного на 20-см кассегреновском телескопе [1—3]. Каждое наблюдение состояло в среднем из четырех сканирований спектра звезды в диапазоне 3300—7400 Å. Разрешение прибора около 30 Å. Учет атмосферной экстинкции, контроль спектрофотометрической системы и обработка наблюдательных данных проводились по методике, разработанной Никоновым и применяемой в Крымской обсерватории [4, 5]. Абсолютная калибровка аппаратуры выполнена с помощью  $\alpha$  Lyr, распределение энергии в спектре которой дано Терещенко и Харитоновым [6]. Приведение наших наблюдений к спектрофотометрической системе Ока — Шилда или Хайеса — Латама может быть выполнено с помощью поправок, приведенных в [5].

В табл. 1 даны значения  $\lg E(\lambda)$  для спектральной области 3300—7400 Å через интервал 25 Å. Здесь  $E(\lambda)$  выражено в эрг·с<sup>-1</sup>·см<sup>-2</sup>, отнесенных к интервалу длин волн 1 см. В двух фазах звезда наблюдалась дважды, но в таблицу включены данные только для 11 из 13 обработанных наблюдений, относящихся к различным фазам кривой блеска. Фазы вычислены по элементам [7]. В качестве примера для фазы 0,98P в последней колонке таблицы приводится  $\sigma$  — ошибка среднего из четырех сканов, характеризующая внутреннюю точность наблюдений.

Полученное нами абсолютное распределение энергии в спектре  $\beta$  Lyr дало возможность уточнить данные атласа контуров эмиссионных линий водорода и гелия [8], полученные в свое время для этой звезды в абсолютных единицах с помощью широкополосной шестицветной колориметрии [9]. Абсолютная калибровка последней была выполнена по звездам спектральных классов B8—A5, для которых имелись как шестицветные, так и абсолютные спектрофотометрические наблюдения [10]. Такая процедура могла привести к систематическим ошибкам в распределении энергии

Таблица 1

| Длина,<br>возвыш. А | Дата   | 13.972. VI 1974 | 16.684. XI | 27.886. VI | 23.719. X | 19.695. XI | 17.931. VI | 19.954. VI | 06.875. VIII | 14.915. VI | 12.960. VI | 15.686. XI<br>1974 | σ     |
|---------------------|--------|-----------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|--------------|------------|------------|--------------------|-------|
|                     | Фазы   | 0,649           | 0,637      | 0,695      | 0,214     | 0,290      | 0,325      | 0,482      | 0,790        | 0,860      | 0,941      | 0,980              |       |
| 3300                | -1,951 | -1,721          | -1,658     | -1,519     | -1,506    | -1,558     | -1,723     | -1,550     | -1,598       | -1,585     | -1,865     | -1,922             | 0,009 |
| 3325                | -1,935 | -1,719          | -1,650     | -1,504     | -1,513    | -1,546     | -1,717     | -1,546     | -1,581       | -1,581     | -1,863     | -1,909             | 0,019 |
| 3350                | -1,958 | -1,709          | -1,664     | -1,506     | -1,515    | -1,551     | -1,730     | -1,544     | -1,584       | -1,584     | -1,857     | -1,921             | 0,012 |
| 3375                | -1,957 | -1,728          | -1,669     | -1,525     | -1,529    | -1,558     | -1,743     | -1,550     | -1,599       | -1,599     | -1,868     | -1,916             | 0,013 |
| 3400                | -1,970 | -1,741          | -1,673     | -1,523     | -1,533    | -1,566     | -1,740     | -1,550     | -1,603       | -1,603     | -1,873     | -1,920             | 0,012 |
| 3425                | -1,963 | -1,737          | -1,677     | -1,526     | -1,520    | -1,556     | -1,736     | -1,556     | -1,599       | -1,599     | -1,855     | -1,928             | 0,004 |
| 3450                | -1,950 | -1,735          | -1,668     | -1,532     | -1,518    | -1,551     | -1,732     | -1,558     | -1,601       | -1,601     | -1,880     | -1,902             | 0,007 |
| 3475                | -1,959 | -1,742          | -1,670     | -1,521     | -1,532    | -1,564     | -1,730     | -1,567     | -1,603       | -1,603     | -1,866     | -1,926             | 0,011 |
| 3500                | -1,967 | -1,742          | -1,667     | -1,521     | -1,532    | -1,565     | -1,737     | -1,551     | -1,607       | -1,607     | -1,874     | -1,914             | 0,007 |
| 3525                | -1,972 | -1,740          | -1,684     | -1,520     | -1,536    | -1,570     | -1,733     | -1,563     | -1,602       | -1,602     | -1,864     | -1,911             | 0,010 |
| 3550                | -1,982 | -1,740          | -1,690     | -1,516     | -1,536    | -1,575     | -1,727     | -1,567     | -1,607       | -1,607     | -1,881     | -1,914             | 0,008 |
| 3575                | -1,979 | -1,745          | -1,672     | -1,518     | -1,539    | -1,572     | -1,734     | -1,566     | -1,613       | -1,613     | -1,883     | -1,916             | 0,009 |
| 3600                | -1,971 | -1,751          | -1,681     | -1,519     | -1,527    | -1,562     | -1,738     | -1,570     | -1,614       | -1,614     | -1,877     | -1,924             | 0,004 |
| 3625                | -1,976 | -1,755          | -1,698     | -1,531     | -1,527    | -1,578     | -1,742     | -1,576     | -1,623       | -1,623     | -1,882     | -1,946             | 0,005 |
| 3650                | -1,979 | -1,757          | -1,692     | -1,540     | -1,526    | -1,579     | -1,741     | -1,574     | -1,617       | -1,617     | -1,891     | -1,931             | 0,006 |
| 3675                | -1,978 | -1,747          | -1,694     | -1,545     | -1,546    | -1,580     | -1,753     | -1,587     | -1,622       | -1,622     | -1,870     | -1,922             | 0,006 |
| 3700                | -1,940 | -1,722          | -1,665     | -1,511     | -1,536    | -1,560     | -1,720     | -1,574     | -1,604       | -1,604     | -1,827     | -1,883             | 0,009 |
| 3725                | -1,910 | -1,686          | -1,630     | -1,516     | -1,512    | -1,562     | -1,693     | -1,540     | -1,585       | -1,585     | -1,795     | -1,847             | 0,004 |
| 3750                | -1,925 | -1,677          | -1,640     | -1,488     | -1,486    | -1,535     | -1,687     | -1,535     | -1,570       | -1,570     | -1,797     | -1,841             | 0,002 |
| 3775                | -1,880 | -1,665          | -1,610     | -1,472     | -1,472    | -1,510     | -1,655     | -1,515     | -1,533       | -1,533     | -1,770     | -1,827             | 0,004 |
| 3800                | -1,883 | -1,647          | -1,609     | -1,472     | -1,471    | -1,521     | -1,661     | -1,503     | -1,538       | -1,538     | -1,760     | -1,817             | 0,006 |
| 3825                | -1,900 | -1,666          | -1,610     | -1,478     | -1,463    | -1,510     | -1,650     | -1,510     | -1,541       | -1,541     | -1,783     | -1,834             | 0,005 |
| 3850                | -1,865 | -1,656          | -1,595     | -1,458     | -1,457    | -1,500     | -1,645     | -1,504     | -1,525       | -1,525     | -1,770     | -1,823             | 0,003 |
| 3875                | -1,835 | -1,634          | -1,575     | -1,467     | -1,461    | -1,500     | -1,640     | -1,504     | -1,525       | -1,525     | -1,745     | -1,795             | 0,005 |
| 3900                | -1,840 | -1,627          | -1,580     | -1,467     | -1,468    | -1,497     | -1,627     | -1,492     | -1,525       | -1,525     | -1,745     | -1,778             | 0,004 |
| 3925                | -1,887 | -1,670          | -1,600     | -1,482     | -1,481    | -1,512     | -1,646     | -1,490     | -1,523       | -1,523     | -1,760     | -1,829             | 0,005 |
| 3950                | -1,896 | -1,676          | -1,613     | -1,489     | -1,485    | -1,520     | -1,645     | -1,500     | -1,540       | -1,540     | -1,765     | -1,841             | 0,004 |

Таблица 1 (продолжение)

| Длина,<br>волны, Å | Дата   |       | 46,681. XI | 27,886. VI | 23,719. X | 19,695. XI | 17,931. VI | 19,954. VI | 06,875. VII | 14, 915. VI | 12,960. VI | 15,686. XI<br>1974 |       | σ |
|--------------------|--------|-------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|--------------------|-------|---|
|                    | Фаза   | 0,019 |            |            |           |            |            |            |             |             |            | 0,057              | 0,085 |   |
| 3975               | —1,899 |       | —1,700     | —1,616     | —1,509    | —1,507     | —1,528     | —1,670     | —1,520      | —1,550      | —1,785     | —1,855             | 0,006 |   |
| 4000               | —1,890 |       | —1,659     | —1,600     | —1,492    | —1,470     | —1,514     | —1,650     | —1,500      | —1,535      | —1,755     | —1,811             | 0,002 |   |
| 4025               | —1,889 |       | —1,675     | —1,601     | —1,497    | —1,474     | —1,508     | —1,653     | —1,504      | —1,541      | —1,773     | —1,844             | 0,007 |   |
| 4050               | —1,894 |       | —1,670     | —1,604     | —1,487    | —1,462     | —1,528     | —1,664     | —1,505      | —1,535      | —1,771     | —1,833             | 0,007 |   |
| 4075               | —1,902 |       | —1,674     | —1,620     | —1,513    | —1,490     | —1,530     | —1,668     | —1,511      | —1,547      | —1,773     | —1,844             | 0,007 |   |
| 4100               | —1,911 |       | —1,701     | —1,642     | —1,540    | —1,512     | —1,553     | —1,702     | —1,536      | —1,572      | —1,891     | —1,867             | 0,007 |   |
| 4125               | —1,922 |       | —1,697     | —1,632     | —1,546    | —1,490     | —1,540     | —1,684     | —1,520      | —1,559      | —1,806     | —1,872             | 0,006 |   |
| 4150               | —1,912 |       | —1,690     | —1,627     | —1,520    | —1,492     | —1,543     | —1,678     | —1,530      | —1,562      | —1,789     | —1,858             | 0,006 |   |
| 4175               | —1,910 |       | —1,697     | —1,640     | —1,526    | —1,495     | —1,554     | —1,699     | —1,536      | —1,566      | —1,793     | —1,859             | 0,008 |   |
| 4200               | —1,907 |       | —1,702     | —1,635     | —1,530    | —1,506     | —1,556     | —1,700     | —1,534      | —1,574      | —1,791     | —1,865             | 0,007 |   |
| 4225               | —1,922 |       | —1,705     | —1,643     | —1,528    | —1,509     | —1,558     | —1,706     | —1,539      | —1,580      | —1,798     | —1,865             | 0,005 |   |
| 4250               | —1,934 |       | —1,709     | —1,652     | —1,545    | —1,497     | —1,561     | —1,711     | —1,551      | —1,585      | —1,800     | —1,868             | 0,005 |   |
| 4275               | —1,933 |       | —1,716     | —1,659     | —1,553    | —1,513     | —1,573     | —1,718     | —1,557      | —1,594      | —1,813     | —1,875             | 0,003 |   |
| 4300               | —1,945 |       | —1,728     | —1,665     | —1,557    | —1,525     | —1,577     | —1,723     | —1,563      | —1,598      | —1,826     | —1,891             | 0,005 |   |
| 4325               | —1,940 |       | —1,734     | —1,678     | —1,580    | —1,538     | —1,589     | —1,731     | —1,566      | —1,606      | —1,824     | —1,890             | 0,004 |   |
| 4350               | —1,942 |       | —1,736     | —1,675     | —1,570    | —1,550     | —1,583     | —1,725     | —1,579      | —1,615      | —1,830     | —1,890             | 0,003 |   |
| 4375               | —1,964 |       | —1,738     | —1,684     | —1,572    | —1,540     | —1,590     | —1,729     | —1,579      | —1,609      | —1,845     | —1,902             | 0,004 |   |
| 4400               | —1,965 |       | —1,755     | —1,684     | —1,582    | —1,545     | —1,595     | —1,739     | —1,584      | —1,619      | —1,844     | —1,913             | 0,004 |   |
| 4425               | —1,960 |       | —1,744     | —1,682     | —1,582    | —1,557     | —1,596     | —1,742     | —1,586      | —1,607      | —1,843     | —1,893             | 0,002 |   |
| 4450               | —1,973 |       | —1,750     | —1,689     | —1,586    | —1,550     | —1,594     | —1,734     | —1,585      | —1,622      | —1,843     | —1,892             | 0,003 |   |
| 4475               | —1,957 |       | —1,759     | —1,697     | —1,581    | —1,563     | —1,597     | —1,722     | —1,594      | —1,627      | —1,858     | —1,907             | 0,004 |   |
| 4500               | —1,979 |       | —1,764     | —1,705     | —1,588    | —1,574     | —1,618     | —1,765     | —1,606      | —1,636      | —1,858     | —1,928             | 0,005 |   |
| 4525               | —1,994 |       | —1,771     | —1,716     | —1,600    | —1,582     | —1,626     | —1,775     | —1,613      | —1,650      | —1,865     | —1,934             | 0,007 |   |
| 4550               | —1,992 |       | —1,785     | —1,716     | —1,605    | —1,586     | —1,625     | —1,772     | —1,616      | —1,649      | —1,869     | —1,944             | 0,003 |   |
| 4575               | —2,004 |       | —1,789     | —1,724     | —1,615    | —1,599     | —1,636     | —1,782     | —1,621      | —1,655      | —1,870     | —1,957             | 0,009 |   |
| 4600               | —1,999 |       | —1,786     | —1,713     | —1,607    | —1,597     | —1,639     | —1,779     | —1,622      | —1,657      | —1,867     | —1,949             | 0,005 |   |
| 4625               | —2,003 |       | —1,780     | —1,714     | —1,604    | —1,599     | —1,632     | —1,780     | —1,619      | —1,658      | —1,872     | —1,951             | 0,009 |   |

Таблица 1 (продолжение)

| Длина,<br>волны, Å | Дата<br>Физд | 13,972 VI 1974 | 16,684 XI | 27,886 VI | 23,749 X | 19,695 XI | 17,931 VI | 19,954 VI | 16,875 VII | 11,915 VI | 12,960 VI | 15,680 XI<br>1974 | σ     |
|--------------------|--------------|----------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-------------------|-------|
|                    |              | 0,019          | 0,057     | 0,065     | 0,204    | 0,290     | 0,325     | 0,482     | 0,790      | 0,860     | 0,941     | 0,980             |       |
| 4650               | —1,996       | —1,786         | —1,721    | —1,721    | —1,612   | —1,597    | —1,642    | —1,794    | —1,635     | —1,668    | —1,882    | —1,956            | 0,006 |
| 4675               | —2,002       | —1,794         | —1,732    | —1,732    | —1,626   | —1,620    | —1,648    | —1,793    | —1,642     | —1,665    | —1,889    | —1,953            | 0,004 |
| 4700               | —2,004       | —1,806         | —1,733    | —1,733    | —1,620   | —1,610    | —1,645    | —1,795    | —1,639     | —1,671    | —1,885    | —1,957            | 0,006 |
| 4725               | —2,010       | —1,803         | —1,740    | —1,740    | —1,633   | —1,621    | —1,659    | —1,794    | —1,648     | —1,678    | —1,890    | —1,957            | 0,005 |
| 4750               | —2,023       | —1,810         | —1,747    | —1,747    | —1,644   | —1,631    | —1,658    | —1,813    | —1,659     | —1,685    | —1,897    | —1,968            | 0,004 |
| 4775               | —2,027       | —1,820         | —1,752    | —1,752    | —1,659   | —1,639    | —1,663    | —1,820    | —1,661     | —1,685    | —1,891    | —1,979            | 0,006 |
| 4800               | —2,030       | —1,818         | —1,759    | —1,759    | —1,655   | —1,635    | —1,668    | —1,829    | —1,669     | —1,698    | —1,892    | —1,976            | 0,006 |
| 4825               | —2,035       | —1,832         | —1,764    | —1,764    | —1,664   | —1,643    | —1,676    | —1,837    | —1,673     | —1,705    | —1,908    | —1,982            | 0,005 |
| 4850               | —1,978       | —1,801         | —1,758    | —1,758    | —1,655   | —1,635    | —1,670    | —1,813    | —1,653     | —1,684    | —1,877    | —1,932            | 0,007 |
| 4875               | —2,004       | —1,814         | —1,757    | —1,757    | —1,665   | —1,636    | —1,671    | —1,827    | —1,674     | —1,710    | —1,902    | —1,944            | 0,006 |
| 4900               | —2,049       | —1,844         | —1,782    | —1,782    | —1,675   | —1,656    | —1,694    | —1,845    | —1,686     | —1,720    | —1,927    | —1,990            | 0,011 |
| 4925               | —2,055       | —1,862         | —1,783    | —1,783    | —1,679   | —1,657    | —1,691    | —1,844    | —1,693     | —1,729    | —1,948    | —2,009            | 0,007 |
| 4950               | —2,055       | —1,857         | —1,789    | —1,789    | —1,689   | —1,668    | —1,700    | —1,858    | —1,696     | —1,725    | —1,942    | —1,999            | 0,005 |
| 4975               | —2,064       | —1,853         | —1,797    | —1,797    | —1,689   | —1,679    | —1,714    | —1,863    | —1,698     | —1,729    | —1,939    | —1,995            | 0,004 |
| 5000               | —2,052       | —1,847         | —1,796    | —1,796    | —1,688   | —1,669    | —1,714    | —1,859    | —1,690     | —1,729    | —1,944    | —1,997            | 0,004 |
| 5025               | —2,043       | —1,862         | —1,799    | —1,799    | —1,699   | —1,677    | —1,714    | —1,847    | —1,700     | —1,743    | —1,957    | —1,994            | 0,002 |
| 5050               | —2,064       | —1,865         | —1,806    | —1,806    | —1,701   | —1,685    | —1,727    | —1,872    | —1,714     | —1,741    | —1,962    | —2,016            | 0,001 |
| 5075               | —2,087       | —1,867         | —1,821    | —1,821    | —1,705   | —1,690    | —1,737    | —1,883    | —1,728     | —1,762    | —1,969    | —2,029            | 0,004 |
| 5100               | —2,091       | —1,880         | —1,827    | —1,827    | —1,714   | —1,706    | —1,746    | —1,890    | —1,730     | —1,764    | —1,969    | —2,042            | 0,005 |
| 5125               | —2,089       | —1,883         | —1,843    | —1,843    | —1,718   | —1,700    | —1,751    | —1,890    | —1,734     | —1,764    | —1,965    | —2,035            | 0,006 |
| 5150               | —2,105       | —1,886         | —1,846    | —1,846    | —1,725   | —1,706    | —1,751    | —1,908    | —1,738     | —1,759    | —1,986    | —2,049            | 0,003 |
| 5175               | —2,109       | —1,898         | —1,846    | —1,846    | —1,728   | —1,712    | —1,770    | —1,917    | —1,741     | —1,774    | —1,986    | —2,058            | 0,004 |
| 5200               | —2,103       | —1,900         | —1,849    | —1,849    | —1,738   | —1,719    | —1,775    | —1,920    | —1,749     | —1,781    | —1,982    | —2,060            | 0,005 |
| 5225               | —2,111       | —1,897         | —1,850    | —1,850    | —1,737   | —1,728    | —1,779    | —1,929    | —1,756     | —1,787    | —1,988    | —2,057            | 0,007 |
| 5250               | —2,116       | —1,904         | —1,859    | —1,859    | —1,744   | —1,722    | —1,779    | —1,928    | —1,755     | —1,785    | —1,985    | —2,059            | 0,008 |
| 5275               | —2,125       | —1,903         | —1,863    | —1,863    | —1,746   | —1,724    | —1,780    | —1,927    | —1,761     | —1,792    | —1,993    | —2,070            | 0,005 |
| 5300               | —2,123       | —1,914         | —1,864    | —1,864    | —1,748   | —1,733    | —1,786    | —1,929    | —1,763     | —1,800    | —1,995    | —2,064            | 0,006 |

Таблица 1 (продолжение)

| Длина<br>волны, Å | Дата   | 13,972. VI 1974 | 16,681. XI | 27,886. VI | 23,719. X | 19,685. XI | 17,931. VI | 19,954. VI | 06,875. VII | 11,915. VI | 12,960. VI | 15,686. XI<br>1974 | σ |
|-------------------|--------|-----------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|--------------------|---|
|                   | Фазы   | 0,019           | 0,057      | 0,095      | 0,204     | 0,290      | 0,325      | 0,482      | 0,790       | 0,860      | 0,941      | 0,0980             |   |
| 5325              | —2,121 | —1,926          | —1,868     | —1,761     | —1,740    | —1,787     | —1,934     | —1,771     | —1,802      | —2,000     | —2,071     | 0,002              |   |
| 5350              | —2,127 | —1,916          | —1,875     | —1,759     | —1,744    | —1,788     | —1,934     | —1,775     | —1,802      | —2,000     | —2,052     | 0,010              |   |
| 5375              | —2,130 | —1,930          | —1,877     | —1,761     | —1,742    | —1,796     | —1,937     | —1,781     | —1,809      | —2,003     | —2,077     | 0,010              |   |
| 5400              | —2,137 | —1,942          | —1,889     | —1,774     | —1,753    | —1,804     | —1,948     | —1,785     | —1,818      | —2,013     | —2,088     | 0,003              |   |
| 5425              | —2,143 | —1,946          | —1,894     | —1,779     | —1,762    | —1,805     | —1,956     | —1,788     | —1,824      | —2,023     | —2,107     | 0,007              |   |
| 5450              | —2,145 | —1,951          | —1,894     | —1,775     | —1,771    | —1,811     | —1,963     | —1,795     | —1,820      | —2,026     | —2,104     | 0,006              |   |
| 5475              | —2,147 | —1,958          | —1,905     | —1,782     | —1,764    | —1,819     | —1,963     | —1,803     | —1,827      | —2,032     | —2,105     | 0,007              |   |
| 5500              | —2,158 | —1,964          | —1,909     | —1,792     | —1,777    | —1,815     | —1,958     | —1,805     | —1,832      | —2,033     | —2,103     | 0,006              |   |
| 5525              | —2,159 | —1,968          | —1,909     | —1,800     | —1,783    | —1,823     | —1,964     | —1,811     | —1,838      | —2,048     | —2,118     | 0,004              |   |
| 5550              | —2,167 | —1,975          | —1,908     | —1,799     | —1,777    | —1,823     | —1,977     | —1,813     | —1,848      | —2,052     | —2,124     | 0,006              |   |
| 5575              | —2,170 | —1,980          | —1,920     | —1,801     | —1,792    | —1,833     | —1,978     | —1,825     | —1,847      | —2,055     | —2,118     | 0,010              |   |
| 5600              | —2,176 | —1,978          | —1,925     | —1,811     | —1,789    | —1,853     | —1,989     | —1,829     | —1,850      | —2,072     | —2,127     | 0,003              |   |
| 5625              | —2,186 | —1,984          | —1,926     | —1,814     | —1,794    | —1,849     | —1,990     | —1,831     | —1,869      | —2,073     | —2,140     | 0,007              |   |
| 5650              | —2,195 | —1,986          | —1,943     | —1,813     | —1,799    | —1,854     | —2,000     | —1,839     | —1,872      | —2,074     | —2,136     | 0,009              |   |
| 5675              | —2,186 | —1,989          | —1,917     | —1,797     | —1,793    | —1,840     | —1,993     | —1,831     | —1,863      | —2,078     | —2,140     | 0,002              |   |
| 5700              | —2,196 | —1,986          | —1,935     | —1,814     | —1,809    | —1,856     | —2,004     | —1,845     | —1,875      | —2,086     | —2,137     | 0,004              |   |
| 5725              | —2,201 | —2,005          | —1,947     | —1,834     | —1,817    | —1,873     | —2,013     | —1,849     | —1,882      | —2,090     | —2,137     | 0,005              |   |
| 5750              | —2,209 | —2,006          | —1,952     | —1,830     | —1,822    | —1,870     | —2,013     | —1,861     | —1,890      | —2,085     | —2,148     | 0,006              |   |
| 5775              | —2,207 | —2,012          | —1,960     | —1,855     | —1,834    | —1,879     | —2,024     | —1,870     | —1,905      | —2,107     | —2,164     | 0,006              |   |
| 5800              | —2,218 | —2,012          | —1,963     | —1,844     | —1,828    | —1,881     | —2,027     | —1,873     | —1,903      | —2,105     | —2,157     | 0,009              |   |
| 5825              | —2,222 | —2,010          | —1,962     | —1,852     | —1,825    | —1,893     | —2,025     | —1,875     | —1,903      | —2,111     | —2,155     | 0,004              |   |
| 5850              | —2,194 | —2,009          | —1,952     | —1,847     | —1,827    | —1,876     | —2,012     | —1,854     | —1,886      | —2,090     | —2,155     | 0,009              |   |
| 5875              | —2,205 | —1,943          | —1,898     | —1,800     | —1,772    | —1,812     | —1,915     | —1,806     | —1,856      | —2,055     | —2,124     | 0,005              |   |
| 5900              | —2,231 | —2,035          | —1,985     | —1,869     | —1,844    | —1,899     | —2,021     | —1,885     | —1,912      | —2,130     | —2,184     | 0,013              |   |
| 5925              | —2,231 | —2,024          | —1,979     | —1,870     | —1,847    | —1,890     | —2,046     | —1,883     | —1,914      | —2,124     | —2,169     | 0,003              |   |
| 5950              | —2,230 | —2,040          | —1,982     | —1,875     | —1,858    | —1,897     | —2,053     | —1,883     | —1,915      | —2,122     | —2,170     | 0,008              |   |
| 5975              | —2,230 | —2,043          | —1,980     | —1,882     | —1,859    | —1,903     | —2,046     | —1,895     | —1,921      | —2,123     | —2,175     | 0,005              |   |

Таблица 1 (продолжение)

| Длина<br>волны, А | Дата<br>Фазы | 13,972. VI 1974 | 16,681. XI | 27,886. VI | 28,719. X | 19,695. XI | 17,981. VI | 19,954. VI | 06,875. VII | 11,915. VI | 12,960. VI | 15,086. XI<br>1974 | σ     |
|-------------------|--------------|-----------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|--------------------|-------|
|                   |              | 0,919           | 0,057      | 0,095      | 0,204     | 0,290      | 0,325      | 0,482      | 0,790       | 0,860      | 0,941      | 0,980              |       |
| 6000              |              | -2,244          | -2,037     | -2,001     | -1,877    | -1,870     | -1,914     | -2,052     | -1,808      | -1,924     | -2,128     | -2,184             | 0,009 |
| 6025              |              | -2,258          | -2,044     | -1,996     | -1,896    | -1,863     | -1,926     | -2,058     | -1,901      | -1,940     | -2,127     | -2,177             | 0,010 |
| 6050              |              | -2,265          | -2,068     | -2,009     | -1,916    | -1,882     | -1,938     | -2,066     | -1,918      | -1,953     | -2,144     | -2,188             | 0,006 |
| 6075              |              | -2,262          | -2,059     | -2,018     | -1,898    | -1,878     | -1,933     | -2,074     | -1,910      | -1,948     | -2,145     | -2,198             | 0,009 |
| 6100              |              | -2,276          | -2,073     | -2,021     | -1,907    | -1,888     | -1,932     | -2,071     | -1,922      | -1,953     | -2,143     | -2,201             | 0,008 |
| 6125              |              | -2,274          | -2,072     | -2,021     | -1,919    | -1,886     | -1,932     | -2,085     | -1,930      | -1,960     | -2,159     | -2,214             | 0,008 |
| 6150              |              | -2,284          | -2,087     | -2,025     | -1,918    | -1,897     | -1,942     | -2,097     | -1,934      | -1,963     | -2,148     | -2,210             | 0,009 |
| 6175              |              | -2,283          | -2,081     | -2,026     | -1,930    | -1,903     | -1,947     | -2,096     | -1,933      | -1,971     | -2,155     | -2,213             | 0,007 |
| 6200              |              | -2,285          | -2,086     | -2,036     | -1,930    | -1,904     | -1,954     | -2,097     | -1,942      | -1,989     | -2,165     | -2,225             | 0,012 |
| 6225              |              | -2,297          | -2,094     | -2,035     | -1,937    | -1,913     | -1,949     | -2,101     | -1,945      | -1,989     | -2,174     | -2,224             | 0,006 |
| 6250              |              | -2,296          | -2,094     | -2,030     | -1,937    | -1,915     | -1,964     | -2,109     | -1,946      | -1,982     | -2,177     | -2,229             | 0,007 |
| 6275              |              | -2,313          | -2,116     | -2,050     | -1,951    | -1,924     | -1,982     | -2,134     | -1,963      | -1,992     | -2,214     | -2,242             | 0,005 |
| 6300              |              | -2,298          | -2,110     | -2,041     | -1,956    | -1,937     | -1,972     | -2,134     | -1,932      | -1,963     | -2,219     | -2,245             | 0,004 |
| 6325              |              | -2,289          | -2,104     | -2,048     | -1,963    | -1,933     | -1,967     | -2,133     | -1,958      | -1,994     | -2,191     | -2,236             | 0,004 |
| 6350              |              | -2,294          | -2,107     | -2,056     | -1,957    | -1,933     | -1,975     | -2,127     | -1,960      | -1,990     | -2,176     | -2,235             | 0,004 |
| 6375              |              | -2,308          | -2,116     | -2,055     | -1,959    | -1,935     | -1,978     | -2,119     | -1,936      | -1,990     | -2,204     | -2,252             | 0,006 |
| 6400              |              | -2,317          | -2,127     | -2,071     | -1,978    | -1,943     | -1,975     | -2,137     | -1,979      | -2,005     | -2,207     | -2,259             | 0,004 |
| 6425              |              | -2,325          | -2,134     | -2,060     | -1,980    | -1,935     | -1,988     | -2,148     | -1,978      | -2,010     | -2,210     | -2,262             | 0,010 |
| 6450              |              | -2,330          | -2,125     | -2,078     | -1,991    | -1,943     | -1,996     | -2,155     | -1,997      | -2,012     | -2,229     | -2,249             | 0,015 |
| 6475              |              | -2,332          | -2,109     | -2,071     | -1,985    | -1,949     | -1,993     | -2,160     | -1,985      | -2,012     | -2,212     | -2,262             | 0,003 |
| 6500              |              | -2,341          | -2,141     | -2,071     | -1,995    | -1,955     | -2,004     | -2,163     | -1,994      | -2,031     | -2,239     | -2,281             | 0,008 |
| 6525              |              | -2,331          | -2,135     | -2,082     | -1,996    | -1,965     | -2,005     | -2,180     | -1,996      | -2,025     | -2,214     | -2,281             | 0,011 |
| 6550              |              | -2,170          | -2,026     | -1,976     | -1,886    | -1,892     | -1,947     | -2,028     | -1,878      | -1,916     | -2,085     | -2,135             | 0,022 |
| 6575              |              | -2,044          | -1,912     | -1,939     | -1,875    | -1,818     | -1,879     | -1,970     | -1,880      | -1,903     | -2,025     | -1,972             | 0,007 |
| 6600              |              | -2,328          | -2,139     | -2,094     | -1,995    | -1,961     | -1,968     | -2,157     | -1,991      | -2,030     | -2,218     | -2,262             | 0,011 |
| 6625              |              | -2,364          | -2,167     | -2,099     | -1,984    | -1,976     | -2,014     | -2,191     | -2,004      | -2,053     | -2,235     | -2,284             | 0,008 |
| 6650              |              | -2,362          | -2,170     | -2,101     | -1,994    | -1,969     | -2,023     | -2,166     | -2,015      | -2,044     | -2,246     | -2,290             | 0,010 |
| 6675              |              | -2,307          | -2,143     | -2,071     | -1,958    | -1,955     | -2,002     | -2,097     | -1,988      | -2,020     | -2,216     | -2,235             | 0,015 |
| 6700              |              | -2,331          | -2,161     | -2,091     | -2,013    | -1,985     | -2,004     | -2,149     | -2,006      | -2,037     | -2,239     | -2,277             | 0,016 |

Таблица 1 (окончание)

| Длина<br>волны, Å | Дата   | 13,972. VI 1974 | 16,681. XI | 27,886. VI | 23,719. X | 19,695. XI | 17,931. VI | 19,954. VI | 06,875. VII | 11,915. VI | 12,960. VI | 15,686. XI<br>1974 | $\sigma$ |
|-------------------|--------|-----------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|--------------------|----------|
|                   | Фаза   | 0,019           | 0,057      | 0,035      | 0,204     | 0,290      | 0,325      | 0,482      | 0,790       | 0,840      | 0,941      | 0,980              |          |
| 6725              | -2,367 | -2,477          | -2,136     | -2,010     | -1,996    | -2,025     | -2,196     | -2,017     | -2,080      | -2,263     | -2,318     | 0,011              |          |
| 6750              | -2,385 | -2,182          | -2,138     | -2,007     | -1,994    | -2,018     | -2,189     | -2,032     | -2,057      | -2,251     | -2,322     | 0,008              |          |
| 6775              | -2,376 | -2,182          | -2,157     | -2,014     | -2,002    | -2,057     | -2,207     | -2,043     | -2,078      | -2,252     | -2,317     | 0,011              |          |
| 6800              | -2,394 | -2,197          | -2,154     | -2,024     | -2,005    | -2,063     | -2,211     | -2,052     | -2,081      | -2,254     | -2,330     | 0,011              |          |
| 6825              | -2,386 | -2,198          | -2,144     | -2,012     | -2,000    | -2,053     | -2,215     | -2,040     | -2,073      | -2,254     | -2,323     | 0,009              |          |
| 6850              | -2,386 | -2,185          | -2,147     | -2,043     | -2,014    | -2,066     | -2,209     | -2,040     | -2,095      | -2,252     | -2,305     | 0,012              |          |
| 6875              | -2,386 | -2,219          | -2,158     | -2,048     | -2,032    | -2,075     | -2,217     | -2,046     | -2,090      | -2,262     | -2,339     | 0,012              |          |
| 6900              | -2,383 | -2,223          | -2,169     | -2,053     | -2,051    | -2,086     | -2,224     | -2,052     | -2,087      | -2,273     | -2,350     | 0,008              |          |
| 6925              | -2,400 | -2,241          | -2,159     | -2,073     | -2,039    | -2,093     | -2,245     | -2,083     | -2,096      | -2,304     | -2,354     | 0,005              |          |
| 6950              | -2,424 | -2,230          | -2,169     | -2,091     | -2,054    | -2,079     | -2,242     | -2,091     | -2,106      | -2,305     | -2,345     | 0,007              |          |
| 6975              | -2,418 | -2,234          | -2,177     | -2,082     | -2,053    | -2,083     | -2,253     | -2,071     | -2,112      | -2,308     | -2,355     | 0,007              |          |
| 7000              | -2,419 | -2,257          | -2,174     | -2,088     | -2,072    | -2,086     | -2,240     | -2,087     | -2,120      | -2,314     | -2,397     | 0,006              |          |
| 7025              | -2,428 | -2,240          | -2,182     | -2,097     | -2,064    | -2,088     | -2,252     | -2,088     | -2,113      | -2,310     | -2,384     | 0,009              |          |
| 7050              | -2,386 | -2,210          | -2,148     | -2,044     | -2,039    | -2,059     | -2,198     | -2,044     | -2,079      | -2,267     | -2,327     | 0,011              |          |
| 7075              | -2,345 | -2,178          | -2,142     | -2,047     | -2,034    | -2,051     | -2,188     | -2,063     | -2,102      | -2,262     | -2,279     | 0,008              |          |
| 7100              | -2,426 | -2,244          | -2,208     | -2,088     | -2,074    | -2,095     | -2,257     | -2,100     | -2,127      | -2,320     | -2,370     | 0,014              |          |
| 7125              | -2,450 | -2,251          | -2,200     | -2,087     | -2,064    | -2,120     | -2,266     | -2,090     | -2,130      | -2,330     | -2,413     | 0,014              |          |
| 7150              | -2,466 | -2,257          | -2,202     | -2,094     | -2,060    | -2,129     | -2,277     | -2,113     | -2,154      | -2,320     | -2,392     | 0,011              |          |
| 7175              | -2,468 | -2,268          | -2,217     | -2,120     | -2,086    | -2,118     | -2,285     | -2,122     | -2,144      | -2,335     | -2,410     | 0,018              |          |
| 7200              | -2,462 | -2,286          | -2,227     | -2,121     | -2,110    | -2,129     | -2,268     | -2,113     | -2,151      | -2,332     | -2,424     | 0,011              |          |
| 7225              | -2,461 | -2,273          | -2,222     | -2,121     | -2,100    | -2,131     | -2,292     | -2,124     | -2,152      | -2,352     | -2,398     | 0,015              |          |
| 7250              | -2,484 | -2,300          | -2,243     | -2,126     | -2,090    | -2,154     | -2,310     | -2,139     | -2,169      | -2,357     | -2,425     | 0,019              |          |
| 7275              | -2,448 | -2,272          | -2,221     | -2,110     | -2,080    | -2,123     | -2,253     | -2,123     | -2,129      | -2,353     | -2,415     | 0,019              |          |
| 7300              | -2,469 | -2,282          | -2,234     | -2,141     | -2,081    | -2,135     | -2,298     | -2,154     | -2,154      | -2,365     | -2,420     | 0,015              |          |
| 7325              | -2,482 | -2,292          | -2,252     | -2,132     | -2,102    | -2,148     | -2,303     | -2,149     | -2,182      | -2,366     | -2,448     | 0,015              |          |
| 7350              | -2,491 | -2,301          | -2,243     | -2,136     | -2,120    | -2,163     | -2,306     | -2,152     | -2,186      | -2,359     | -2,444     | 0,012              |          |
| 7375              | -2,481 | -2,309          | -2,248     | -2,140     | -2,135    | -2,165     | -2,315     | -2,156     | -2,189      | -2,364     | -2,429     | 0,007              |          |
| 7400              | -2,499 | -2,301          | -2,246     | -2,149     | -2,136    | -2,181     | -2,337     | -2,159     | -2,198      | -2,353     | -2,441     | 0,012              |          |

в спектре  $\beta$  Луг. Расхождения между данными [8] и нашими определениями составляют около 3% в области  $H_\alpha$  и около 15% в области линии  $He\ I\ \lambda 3889\ \text{\AA}$ . Ниже для длин волн эмиссионных линий даны величины поправочных коэффициентов  $k$ , на которые необходимо умножить значения  $E(\lambda)$ , определенные с помощью шестицветной колориметрии.

|                       |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\lambda, \text{\AA}$ | 3889 | 4101 | 4340 | 4471 | 4861 | 5875 | 6563 |
| $k$                   | 0,85 | 0,88 | 0,91 | 0,93 | 0,94 | 0,94 | 0,97 |

Значения энергетической освещенности, даваемой излучением звезды в линии  $H_\alpha$ , полученные нами, и приведенные в нашу систему данные 1966 и 1969 гг. показывают довольно сильное различие. Это подтверждает существование отмеченных Скульским [8] долговременных изменений в излучении околозвездной оболочки.

Изменение с фазой бальмеровского скачка  $D$  и «цвета»  $\lg E(4225) - \lg E(6370)$  показано на рис. 1. Величина  $D$  неодинакова как в обоих минимумах, так и в квадратурах. Она имеет наибольшее значение вблизи фазы главного минимума и наименьшее около фазы 0,2  $P$ . Изменение «цвета»  $\lg E(4225) - \lg E(6370)$  значительно лишь в главном минимуме.

Было выполнено сравнение этих величин для  $\beta$  Луг и звезд различных спектральных классов каталога [5], полученных одновременно с той же аппаратурой. Вариации «цвета»  $\lg E(4225) - \lg E(6370)$  для  $\beta$  Луг соответствуют спектральным классам A3 — B9, тогда как бальмеровский скачок — классам B2 — B4, что указывает на значительный избыток излучения за бальмеровским пределом. Такой избыток, а также сильные эмиссионные линии и ослабленные в квадратурах линии поглощения яркого компонента [41] подтверждают большой вклад в континуум системы околозвездной газовой среды. Представляет интерес оценить этот вклад путем подыскания комбинации спектрального распределения излучения звезд, близких по характеристикам к предполагаемым компонентам  $\beta$  Луг, с излучением газовой оболочки при различных ее температурах.

Так как оптическая толща газовой оболочки  $\beta$  Луг, по данным Шаховского [12] и Шулова [13], порядка 0,1 и в частотах непрерывного спектра газ остается практически оптически тонким, то в этом случае можно использовать спектральное распределение излучения ионизованного водорода высокой плотности, вычисленное Боярчуком, Гершбергом и Годовниковым [14] для разных значений электронной температуры.

По данным [9] предполагаемые спектральные классы компонентов  $\beta$  Луг: B8 — B9 и A4 — F0. Данные о распределении энергии в спектрах звезд  $\xi^2$  Cet (B8 III),  $\alpha$  Peg (B9,5 III) и  $\alpha$  Oph (A5 III) были взяты из каталога [5], составленного с помощью примененной в настоящей работе аппаратуры. Для  $\alpha$  Her (A9 III) использованы данные каталога [15]. Для этих звезд учтено влияние межзвездного поглощения, вклад которого около  $\lambda 5550\ \text{\AA}$  вычислялся согласно данным Шарова [16] и расстояниям до звезд, взятым из каталога BS [17], а зависимость межзвездного поглощения от длины волны взята по данным Уитфорда [18] и Страйжиса [19]. Согласно данным Абта и соавторов [20], для  $\beta$  Луг вклад межзвездного поглощения около  $\lambda 5550\ \text{\AA}$  принимался равным  $0^m,19$ .

Суммарное вычисленное относительное распределение энергии системы из двух звезд и газовой оболочки определялось из соотношения

$$K I_{\text{выч}}(\lambda) = I_1(\lambda) + xI_2(\lambda) + yI_n(\lambda),$$

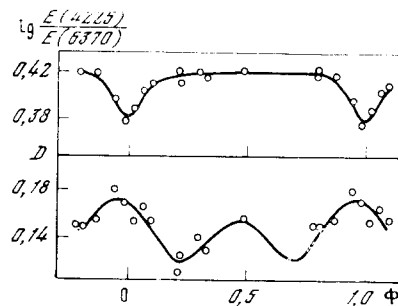


Рис. 1. Изменение с фазой бальмеровского скачка  $D$  и «цвета»  $\lg E(4225) - \lg E(6370)$

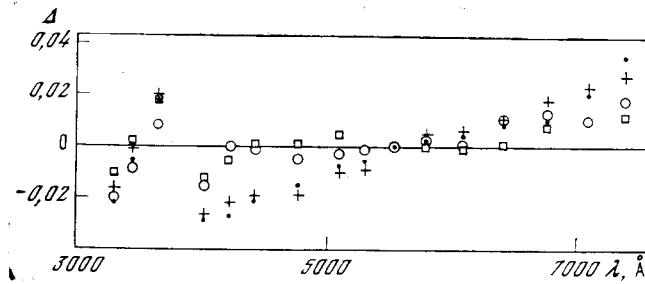


Рис. 2. Отклонения наблюдаемого относительного распределения энергии в спектре  $\beta$  Лyr от вычисленного для фаз 0,29P (точки), 0,48P (кружки), 0,79P (крестики), 0,98P (квадраты)

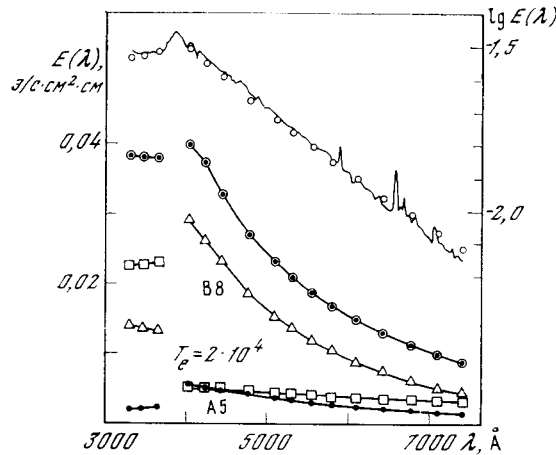


Рис. 3. Сравнение вычисленного и наблюдаемого распределения энергий в спектре  $\beta$  Лyr

где  $I_{\text{выч}}(\lambda)$  — интенсивность суммарного излучения системы, нормированная к интенсивности у  $\lambda 5550 \text{ Å}$ ;  $I_{\text{н}}(\lambda)$ ,  $I_1(\lambda)$  и  $I_2(\lambda)$  — нормированные интенсивности излучения газовой оболочки, яркого и слабого компонентов;  $K$  — коэффициент пропорциональности, не зависящий от длины волны, представляет собой суммарную интенсивность у  $5550 \text{ Å}$  по отношению к нормированной интенсивности излучения яркого компонента в данной фазе.

Вычисления проводились для нескольких наборов множителей  $x$  и  $y$ , учитывающих вклад компонентов для различных фаз. Пределы их изменения были оценены из наблюдаемых глубин минимумов и избытка излучения за бальмеровским пределом. Были рассмотрены комбинации излучения звезд: B8 III + B9,5 III; B8 III + A5 III; B9,5 III + A5 III; B9,5 III + A9 III и ионизованного водорода с  $T_e = 10\,000$  и  $20\,000 \text{ K}$ . Результаты вычислений показывают, что наблюдениям лучше всего соответствует суммарный континуум комбинации звезд B8 III + A5 III и ионизованного водорода при  $T_e = 20\,000 \text{ K}$ . На рис. 2 даны значения отклонений  $\Delta = \lg I_{\text{выч}}(\lambda) - \lg I_{\text{набл}}(\lambda)$  для принятой комбинации для некоторых фаз. Видно, что они не превышают 0,03 и имеют некоторый ход с длиной волны.

Комбинация  $I_1(\lambda) + 0,27 I_2(\lambda) + 0,35 I_{\text{н}}(\lambda)$  для звезд B8 III и A5 III и сравнение ее с наблюдениями в фазе 0,21 P представлены на рис. 3. Верхняя кривая дает сравнение вычисленного (кружки) и наблюдаемого (сплошная линия) распределений энергии в спектре  $\beta$  Лyr (рис. 2 показывает, что для других фаз получается подобный результат). Вычисленный суммарный континуум, исправленный за межзвездное поглощение, и вклад в него каждого из компонентов показаны в нижней части рисунка. Видно, что вклад газа наибольший за бальмеровским пределом и в красной области. Поэтому линии второго компонента могут быть обнаружены прежде всего в синей области спектра. Отметим при этом, что вклад излучения газа в суммарный континуум в фазе 0,21 P примерно на 10% больше

по сравнению с фазой  $0,79 P$ . Таким образом, становятся понятными результаты работы [21] по отождествлению линий Ca II  $\lambda 3933$ , Mg II  $\lambda 4471$ , Si II  $\lambda 6343$  и  $\lambda 6371$  Å слабого компонента. Линии Ca II и Mg II уверенно наблюдаются во второй квадратуре, увеличивая свою интенсивность к главному минимуму. В первой квадратуре они слабее, что может быть объяснено увеличением вклада газа в континуум системы. Красные же линии Si II представляют собой небольшие линии поглощения на широкой, но слабой эмиссии. Условия их возникновения другие, чем линий Ca II и Mg II в синей области спектра.

Составное распределение энергии излучения трех источников в различных фазах должно удовлетворять согласованной фотометрической модели системы. Будем предполагать, что коэффициенты потемнения дисков звезд к краю равны нулю, т. е. диски звезд однородны. Варьируя соотношение источников излучения так, чтобы отклонения наблюдаемого континуума от вычисленного не превышали  $3\sigma$ , и задаваясь вкладом излучения компонентов и размерами горячей звезды, можно, добиваясь равенства затмеваемых площадей компонентов звезд в обоих минимумах, определить соответствие расчетных глубин минимумов наблюдаемым, размеры слабого компонента и наклон орбиты.

Таблица 2

| Фаза   | $x$    | $y$    |
|--------|--------|--------|
| $0,25$ | $0,29$ | $0,37$ |
| $0,48$ | $0,06$ | $0,25$ |
| $0,00$ | $0,77$ | $0,38$ |

Для звезд B8 III и A5 III эффективные температуры, согласно Аллену [22], равны  $11\,500$  и  $8\,500$  К, и планковское излучение около  $5\,500$  Å составляет соответственно  $8,7$  и  $3,7$  эрг·с<sup>-1</sup>·см<sup>-2</sup>·Å<sup>-1</sup>. Яркий компонент  $\beta$  Lyr имеет несферическую форму [12] и соотношение масс компонентов  $M_1/M_2 = 0,26$  [21]. Согласно расчетам Меретина [23], звезда, теряющая вещество в тесной двойной системе, имеет форму эллипсоида и при указанном отношении масс компонентов его оси составляют  $0,25$  и  $0,29 A$  ( $A$  — расстояние между центрами звезд).

Учитывая эти данные, мы нашли, что наблюдениям лучше всего соответствует вклад источников излучения по отношению к яркому компоненту, даваемый табл. 2. При этом видимая площадь яркого компонента изменяется в отношении:  $1 : 0,86 : 0,35$  в фазах  $0,25$ ;  $0,48$  и  $0,0P$  соответственно. Считая, что вторичный компонент имеет сферическую форму, найдем, что его радиус оказывается равным  $0,225 A$ . При этом отличие глубин вычисленных минимумов от наблюдаемых [24] составляет около  $3\%$ . С помощью таблиц, приведенных в монографии Зверева и соавторов [25], был определен наклон орбиты  $i = 85^\circ$ . Фотометрическая модель системы изображена на рис. 4.

При вычислениях предполагалось, что температуры обеих звезд и газовой составляющей остаются постоянными, а основными параметрами, влияющими на кривую блеска, являются взаимное затмение компонентов, изменение с фазой площади яркого компонента и количества излучающего газа. Вклад газа в излучение системы для фаз  $0,25$ ;  $0,48$  и  $0,0P$  составляет соответственно  $22$ ,  $13$  и  $8\%$ . Изменение с фазой количества газа, излучающего при  $T_e = 20\,000$  К, указывает, что главной областью его локализации является пространство между обеими звездами. Уменьшение доли светящегося газа в главном минимуме вполне объясняется значительным затмением основной области его локализации слабым компонентом. При этом, поскольку этот компонент имеет спектральный класс A5 III, отличающийся от спектрального класса B8 III яркого компонента, становится ясным и увеличение в главном минимуме [21] эквивалентных ширины линий Ca II, Mg II и легковозбудимых мультиплетов Fe II — ведь наблюдаемые светимости холодной и горячей звезд в этот момент почти выравниваются.

Полученные данные могут несколько измениться, если принять во внимание возможные неоднородности: потемнение дисков звезд к краю, переменность температуры по поверхности главного компонента, неоднородность излучающего газа, наличие газового диска в системе и т. д. Эти факторы проявляются и при данном спектрофотометрическом исследовании, однако их количественная оценка может быть получена из решения моно-

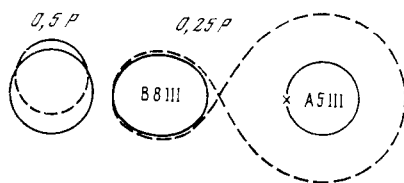


Рис. 4. Предполагаемая фотометрическая модель системы  $\beta$  Лyr

хроматических кривых блеска, для построения которых необходим более обширный ряд наблюдений.

Таким образом, из выполненных спектрофотометрических наблюдений следует, что непрерывный спектр излучения  $\beta$  Лyr может быть представлен суммарным излучением двух звезд B8 III и A5 III и газовой оболочки с  $T_e = 20\,000$  К. При этом, кроме получения удовлетворительной фотометрической картины, можно найти объяснение спектроскопических данных.

Авторы приносят глубокую благодарность В. Б. Никонову, А. А. Боярчуку и Р. Е. Гершбергу за ценные советы и замечания, а также Б. А. Бурнашевой, О. В. Вишневской, Г. Е. Лактиоловой и Н. Н. Петровой за помощь при обработке наблюдательного материала.

Ноябрь 1976 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Каминко Л. А., Корепанов В. С., Повопашенный В. Б., Чистяков Ю. Н., Шипулин Ю. А. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1973, **47**, 162.
2. Кульчицкий А. В. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1973, **47**, 176.
3. Бурнашев В. И., Петров П. П. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1973, **47**, 176.
4. Никонов В. Б. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1975, **54**, 3.
5. Бурнашев В. И. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1977, **57**, 57.
6. Терещенко В. М., Харитонов А. В. Труды Астрофиз. ин-та АН КазССР, 1972, **21**.
7. Perczeg T. J. IBVS, 1974, N 820.
8. Скульский М. Ю. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1972, **45**, 135.
9. Belton M. J. S., Woolf N. J. Astrophys. J., 1965, **141**, 145.
10. Willstrop R. V. Mem. Roy. Astron. Soc., 1965, **69**, 3, 83.
11. Скульский М. Ю. Проблемы космической физики, 1975, **10**, 160.
12. Шаховский П. М. Астрон. ж., 1964, **41**, 1942.
13. Шулов О. С. Астрофизика, 1967, **3**, № 2, 233.
14. Боярчук А. А., Гершберг Р. Е., Годовников Н. В. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1967, **38**, 208.
15. Харитонов А. В., Терещенко В. М., Глушкова Е. А., Ребристый В. Т., Фришберг Л. Д. Труды Астрофиз. ин-та АН КазССР, 1974, **24**.
16. Шаров А. С. Астрон. ж., 1963, **40**, 900.
17. Catalogue of bright stars, 3rd ed. D. Hoffleit (Ed.). Connecticut, New Haven, 1964.
18. Whitford A. E. Astron. J., 1958, **63**, 201.
19. Страйжис В. Бюл. Вильнюсской обс., 1964, № 11, 11.
20. Abt H. A., Jeffers H. M., Gibson J., Sandage A. R. Astrophys. J., 1962, **135**, 429.
21. Скульский М. Ю. Астрон. ж., 1975, **52**, 710.
22. Allen C. W. Astrophysical quantities, 3rd ed. Univ. London, Athlone Press, 1973.
23. Меретин В. П. Труды Каз. гор. АО, 1972, **38**, 16.
24. Wood D. B., Walker M. F. Astrophys. J., 1960, **131**, 363.
25. Зверев М. С., Кукаркин Б. В., Мартынов Д. Я., Паренago П. П., Флоря Н. Ф., Цесевич В. П. Методы изучения переменных звезд. М., Гостехиздат, 1947.

ИЗУЧЕНИЕ ЭМИССИОННОЙ ЛИНИИ He I,  $\lambda 10830 \text{ \AA}$ ,  
В СПЕКТРЕ  $\beta$  ЛИРЫ<sup>1</sup>

М. Б. Гирняк, М. Ю. Скульский, Г. И. Шанин, А. Г. Щербakov

На основании анализа 59 спектрограмм  $\beta$  Лы, полученных на 50" телескопе КАО с дисперсией 48  $\text{\AA}/\text{мм}$ , сделан вывод о том, что две трети потока в линии He I,  $\lambda 10830 \text{ \AA}$  формируются в газовой оболочке, не поддающейся затмению и охватывающей тесную двойную систему в целом. Внешние слои этой оболочки имеют постоянную скорость расширения 130 км/с. Одна треть излучающего газа в линии He I,  $\lambda 10830 \text{ \AA}$ , по-видимому, связана с системой газовых потоков и кольца, окружающего слабый компонент  $\beta$  Лы.

THE INVESTIGATION OF THE EMISSION LINE OF He I,  $\lambda 10830 \text{ \AA}$ , IN SPECTRUM OF BETA LYRAE, by M. B. Girniak, M. Yu. Skulski, G. I. Shanin, A. G. Shcherbakov.— Observations of the He I,  $\lambda 10830 \text{ \AA}$ , line in spectrum of  $\beta$  Lyr show that about 70 per cent of radiation from this line are emitted by external envelope, surrounding the spectroscopic binary. The outer regions of envelope expand with permanent velocity of about 130 km/s. The rest 30 per cent of radiation may be formed by gas streams and ring, which envelopes the faint component.

Сложный эмиссионно-абсорбционный спектр  $\beta$  Лы возникает в газовой околозвездной оболочке. Проведенное в работах [1—5] изучение динамики этой оболочки выявило ее интересные особенности. Оказалось, что смещение центра сильных эмиссионных линий в основном соответствует орбитальному движению слабого компонента. Вращение газового диска и проекция его на яркий компонент естественно объясняют возникновение в фазах около главного минимума линий-спутников и кривую их лучевых скоростей. Локализованы два источника повышенного поглощения околозвездной газовой оболочки. Первый из них — система газовых потоков, существующая в пространстве между компонентами. Второй — расширяющаяся с почти постоянной скоростью, разреженная газовая оболочка, охватывающая тесную двойную систему в целом.

Отметим, что оболочка, окружающая систему в целом, была идентифицирована лишь по лучевым скоростям линий гелия, которые имеют нижний метастабильный уровень. Их резкие, узкие линии поглощения показывают почти постоянное положение в различные фазы, которое соответствует расширению оболочки со скоростью 130 км/с. Ранее были изучены только две такие линии, находящиеся в видимой области спектра: He I,  $\lambda 3888 \text{ \AA}$  и  $\lambda 3964 \text{ \AA}$ . Поэтому важно изучить динамику и энергетику самой сильной линии гелия, имеющей нижний метастабильный уровень, а именно — инфракрасную линию He I,  $\lambda 10830 \text{ \AA}$ .

В 1974 г. при помощи электронно-оптического преобразователя изображения типа ФКТ-1А (S1), установленного на 50" телескопе Крымской

<sup>1</sup> Крымская астрофизическая обсерватория, Астрономический институт АН УССР, Львовский государственный университет.

обсерватории, нами были получены спектрограммы  $\beta$  Луг в области линии гелия  $\lambda 10830$  Å с дисперсией 48 Å/мм. Фазы были вычислены по эфемеридам [6]. В спектре  $\beta$  Луг данная линия представляет собой очень сильную эмиссию, разделенную глубокой абсорбцией, смещенной в коротковолновую сторону. Хотя общий характер контура линии остается практически неизменным во всех фазах, однако, как видно из рис. 1, общая интенсивность и соотношение коротковолнового  $v$  и длинноволнового  $r$  компонентов значительно меняются. Следует подчеркнуть очень большую ширину линии, что свидетельствует о движениях в оболочке со скоростями вплоть до 800 км/с.

Лучевая скорость  $v_r$ , определенная по резкому поглощению, разделяющему эмиссию, примерно постоянна во всех фазах (см. таблицу и рис. 2). Ее среднее значение составляет около  $-150$  км/с, как и значение лучевой скорости, определенной по линии He I,  $\lambda 3888$  Å, имеющей тот же нижний метастабильный уровень. Можно предполагать, что у обеих линий резкие абсорбционные компоненты возникают в динамически одинаковой газовой оболочке, движущейся во все стороны от центра масс системы со скоростью около 130 км/с. При этом сильная эмиссия линии He I,  $\lambda 10830$  Å, не искажает положения абсорбционного компонента. Эта оболочка, очевидно, отличается от системы газовых потоков, локализуемой в пространстве между компонентами двойной системы, в которой возникает комплекс оболочечных линий поглощения водорода и тех линий гелия, которые изменяют с фазой лучевые скорости от 0 до  $-120$  км/с [3].

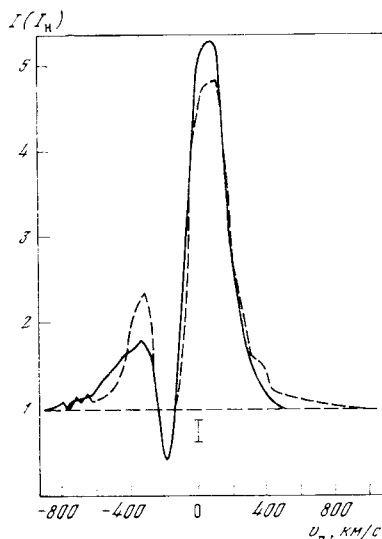
Лучевые скорости центра полной эмиссии линии He I,  $\lambda 10830$  Å, мало изменяются с фазой и близки к значению лучевой скорости центра масс системы, равной  $-18$  км/с. Лишь во второй квадратуре наблюдается уменьшение лучевой скорости центра эмиссии, и ее величина становится близкой к скорости слабого компонента, у которого  $K_2 = -48$  км/с [5]. Это свидетельствует о возможном вкладе в излучение линии He I,  $\lambda 10830$  Å, при данной фазе вещества, локализуемого внутри тесной двойной системы.

Для исследования энергетических изменений в линии He I,  $\lambda 10830$  Å, с фазой ее контуры были построены в абсолютных единицах ( $\text{эрг} \times \text{с}^{-1} \times \text{Å}^{-1} \times \text{км/с}$ ) с помощью данных [1], где на основании шестичетной колориметрии было найдено абсолютное распределение энергии в спектре  $\beta$  Луг и изменение его с фазой. Как показали исследования [7], ошибка здесь не превышает 5–10%. Учтено также изменение интенсивности излучения системы из-за эффектов затмения. Соответствующий коэффициент  $C = a \times b_{\lambda, \phi} \times c_v$  [1], учитывающий все эти факторы, приведен в таблице.

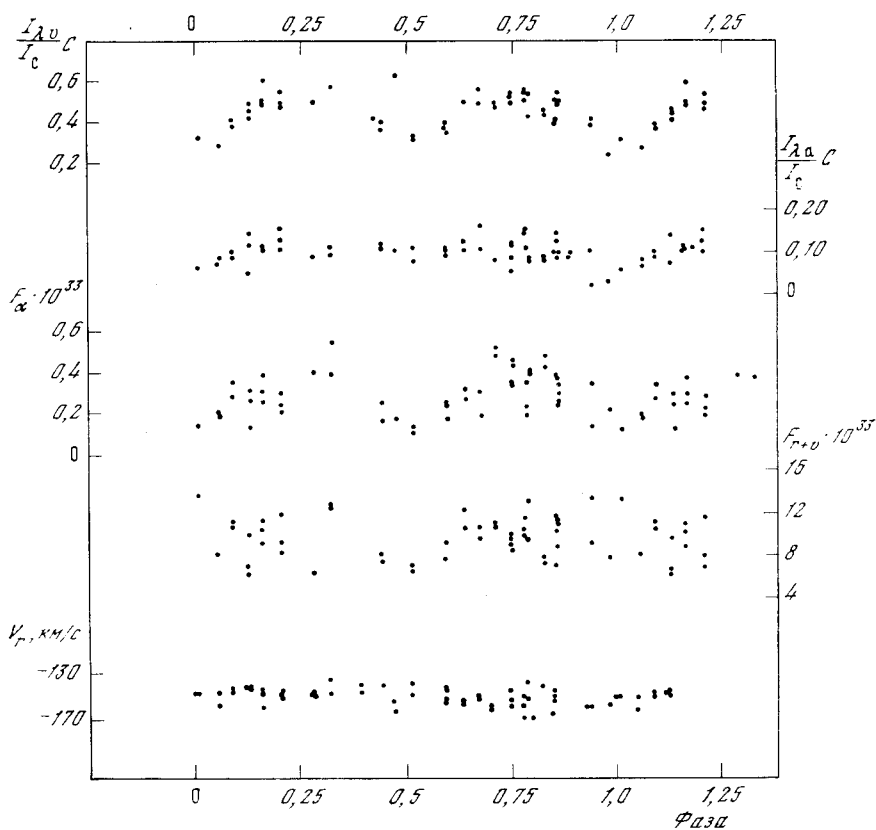
Спектрофотометрия линии He I,  $\lambda 10830$  Å, проведенная по контурам, построенным в энергетических единицах, включала измерения эквивалентных ширин фиолетовой и красной эмиссии ( $W_{\lambda, v}$  и  $W_{\lambda, r}$ ), поглощения  $W_{\lambda, a}$ , их суммы и отношения интенсивностей. По этим величинам с помощью коэффициентов  $C$  вычислялись соответствующие мощности излучения и поглощения в линии. Некоторые из исследуемых величин приведены в таблице, а также показаны на рис. 2. Два верхние графика иллюстрируют изменения отношения максимальной интенсивности фиолетовой эмиссии  $I_{\lambda, v}$  и остаточной интенсивности  $I_{\lambda, a}$  в резком поглощении к интенсивности непрерывного спектра  $I_c$ , умноженные на коэффициент  $C$ , который позволил исключить изменения интенсивности излучения континуума и цвета с фазой. Глубина абсорбционной линии несколько зависит от фазы. Интенсивность фиолетовой эмиссии, а также мощность общего поглощения под непрерывным спектром  $F_a$  (см. рис. 2) максимальны в фазах квадратур, т. е. на эти величины влияют эффекты затмения излучающего газа компонентами двойной системы.

Последнее верно и для изменения с фазой суммы потоков от фиолетовой и красной эмиссии  $F_v + F_r$  (см. рис. 2), которая увеличивается в пол-

**Рис. 1.** Контур линии He I,  $\lambda$  10830 Å, в спектре  $\beta$  1. уг для двух фаз  
Сплошная линия — фаза  $0P,056$ , штриховая —  $0P,854$



**Рис. 2.** Изменения с фазой интенсивностей, потоков и лучевых скоростей компонент линии He I,  $\lambda$  10830 Å



тора раза от минимумов к квадратурам, откуда следует, что в минимумах затмевается примерно треть излучающего газа. Кроме того, в фазе главного минимума в пределах 0,1 периода наблюдаются резкие всплески излучения также примерно в полтора раза. Аналогичные скачки полного потока излучения в эти же фазы отмечены в линии  $H_{\alpha}$  [7], значит, они реальны. Можно предполагать, что в фазах главного минимума на излучение газа внешней оболочки накладывается нестационарное излучение газовых потоков и кольца, проектирующихся на яркий компонент. В це-

Таблица

| Номер | Фазы  | Дата,<br>1974 г. | УТ                             | $r_p$ , км/с | $\epsilon$ | $W_{\text{кр}}$ | $W_{\text{ЛВ}}$ | $W_{\text{ЛЗ}}$ | $W_{\text{кр}}W_{\text{ЛВ}}$ | $F_T$ | $F_V$ | $F_A$ | $\frac{I_{\text{кр}}}{I_{\text{ЛВ}}} \cdot C$ | $\frac{I_{\text{ЛВ}}}{I_{\text{ЛН}}} \cdot C$ | $\frac{I_{\text{ЛН}} - I_{\text{ЛВ}}}{I_{\text{ЛН}}} \cdot C$ |
|-------|-------|------------------|--------------------------------|--------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------|-------|-------|-------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 731   | 0,854 | 20.IV            | 0 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup> | -161         | +0,232     | 27,62           | 3,12            | 1,66            | 8,85                         | 6,41  | 0,72  | 0,39  | 0,856                                         | 0,422                                         | 0,100                                                         |
| 732   | ,854  | 20               | 1 06                           | -150         | 0,231      | 42,09           | 8,98            | 1,62            | 4,69                         | 9,72  | 2,07  | 0,38  | 1,113                                         | 0,541                                         | 0,097                                                         |
| 734   | ,458  | 24               | 23 29                          | -142         | 0,233      | 44,58           | 4,17            | 1,65            | 10,70                        | 9,39  | 0,97  | 0,38  | 1,107                                         | 0,487                                         | 0,098                                                         |
| 735   | ,460  | 24               | 23 59                          | -145         | 0,234      | 32,71           | 5,26            | 1,11            | 6,21                         | 7,69  | 1,24  | 0,26  | 0,971                                         | 0,519                                         | 0,103                                                         |
| 736   | ,461  | 24               | 24 19                          | -158         | 0,234      | 39,80           | 7,64            | 1,31            | 5,21                         | 9,31  | 1,79  | 0,31  | 1,170                                         | 0,604                                         | 0,108                                                         |
| 758   | ,856  | 41.VI            | 20 21                          | -145         | 0,230      | 39,35           | 7,77            | 1,09            | 5,05                         | 8,74  | 1,79  | 0,25  | 1,017                                         | 0,455                                         | 0,143                                                         |
| 759   | ,857  | 11               | 20 38                          | -145         | 0,228      | 37,51           | 5,56            | 1,35            | 6,75                         | 7,63  | 1,28  | 0,31  | 1,047                                         | 0,495                                         | 0,087                                                         |
| 765   | ,937  | 12               | 21 25                          | -155         | 0,167      | 48,07           | 7,65            | 0,87            | 6,29                         | 8,029 | 1,28  | 0,45  | 1,059                                         | 0,391                                         | 0,102                                                         |
| 766   | ,938  | 12               | 21 38                          | -155         | 0,167      | 71,54           | 9,97            | 2,09            | 7,17                         | 11,94 | 1,66  | 0,35  | 1,279                                         | 0,458                                         | 0,023                                                         |
| 768   | ,008  | 13               | 19 31                          | -145         | 0,130      | 93,22           | 10,32           | 1,05            | 10,32                        | 12,12 | 1,34  | 0,14  | 1,378                                         | 0,358                                         | 0,056                                                         |
| 769   | ,009  | 13               | 19 44                          | -145         | 0,130      |                 |                 |                 |                              |       |       |       |                                               |                                               |                                                               |
| 776   | ,088  | 14               | 20 20                          | -145         | 0,197      | 51,36           | 5,53            | 1,44            | 9,29                         | 10,12 | 1,09  | 0,28  | 1,058                                         | 0,404                                         | 0,095                                                         |
| 777   | ,089  | 14               | 20 34                          | -141         | 0,198      | 47,49           | 6,00            | 1,73            | 7,92                         | 9,40  | 1,19  | 0,35  | 1,099                                         | 0,380                                         | 0,079                                                         |
| 779   | ,322  | 17               | 20 44                          | -130         | 0,248      | 42,96           | 6,53            | 1,58            | 6,58                         | 10,64 | 1,62  | 0,39  | 1,230                                         | 0,573                                         | 0,104                                                         |
| 780   | ,322  | 17               | 20 55                          | -144         | 0,248      | 45,77           | 6,49            | 1,66            | 7,05                         | 11,34 | 1,99  | 0,54  | 1,190                                         | 0,575                                         | 0,089                                                         |
| 783   | ,394  | 18               | 19 15                          | -136         |            |                 |                 |                 |                              |       |       |       |                                               |                                               |                                                               |
| 784   | ,395  | 18               | 19 38                          | -143         |            |                 |                 |                 |                              |       |       |       |                                               |                                               |                                                               |
| 786   | ,473  | 19               | 19 44                          | -151         |            |                 |                 |                 |                              |       |       |       |                                               |                                               |                                                               |
| 787   | ,474  | 19.VI            | 19 59                          | -160         | 0,167      | 94,28           | 11,54           | 1,40            | 8,17                         | 15,74 | 1,93  | 0,18  | 1,698                                         | 0,635                                         | 0,094                                                         |
| 794   | ,781  | 23               | 19 25                          | -152         | 0,252      | 35,26           | 6,07            | 0,96            | 5,80                         | 8,89  | 1,53  | 0,24  | 1,081                                         | 0,517                                         | 0,144                                                         |
| 795   | ,782  | 23               | 19 40                          | -145         | 0,252      | 38,24           | 7,41            | 0,78            | 5,46                         | 9,64  | 1,87  | 0,20  | 1,200                                         | 0,559                                         | 0,151                                                         |
| 796   | ,783  | 23               | 20 05                          | -163         | 0,251      | 34,48           | 7,50            | 1,42            | 4,46                         | 7,83  | 1,88  | 0,36  | 0,949                                         | 0,572                                         | 0,108                                                         |
| 800   | ,859  | 24               | 19 30                          | -157         | 0,228      | 40,87           | 8,44            | 1,53            | 4,84                         | 9,32  | 1,92  | 0,35  | 1,140                                         | 0,559                                         | 0,100                                                         |
| 801   | ,860  | 24               | 19 53                          | -141         | 0,227      | 39,48           | 9,16            | 1,20            | 4,28                         | 8,89  | 2,08  | 0,27  | 0,962                                         | 0,515                                         | 0,100                                                         |
| 803   | ,637  | 4.VII            | 20 56                          | -165         | 0,233      | 39,21           | 6,00            | 1,39            | 6,54                         | 9,14  | 1,40  | 0,32  | 1,021                                         | 0,510                                         | 0,103                                                         |
| 804   | ,637  | 4                | 21 07                          | -150         | 0,233      | 46,56           | 6,42            | 1,21            | 7,61                         | 10,85 | 1,43  | 0,28  | 1,144                                         | 0,508                                         | 0,123                                                         |
| 808   | ,711  | 5                | 19 51                          | -160         | 0,258      | 37,08           | 4,32            | 2,00            | 8,59                         | 9,57  | 1,11  | 0,52  | 1,153                                         | 0,493                                         | 0,077                                                         |
| 809   | ,711  | 5                | 20 05                          | -155         | 0,258      | 38,22           | 4,17            | 1,86            | 9,10                         | 9,86  | 1,07  | 0,48  | 1,176                                         | 0,506                                         | 0,013                                                         |
| 813   | ,790  | 6                | 20 29                          | -133         | 0,250      | 44,53           | 7,99            | 1,62            | 5,58                         | 11,13 | 2,00  | 0,41  | 1,225                                         | 0,535                                         | 0,080                                                         |
| 814   | ,790  | 6                | 20 40                          | -148         | 0,250      | 32,64           | 4,71            | 1,60            | 6,93                         | 8,46  | 1,18  | 0,40  | 0,914                                         | 0,439                                         | 0,082                                                         |

Таблица (окончание)

| Юмер | Φ <sub>аэ</sub> | Дата,<br>1974 г. | УТ                              | $v_r$ , км/с | $c$   | $W_{\lambda r}$ | $W_{\lambda v}$ | $W_{\lambda a}$ | $W_{\lambda r} W_{\lambda v}$ | $F_r$ | $F_v$ | $E_a$ | $\frac{I_{\lambda r} \cdot c}{I_{\lambda v}}$ | $\frac{I_{\lambda v} - I_{\lambda a}}{I_{\lambda v}}$ |
|------|-----------------|------------------|---------------------------------|--------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 912  | ,127            | 22.X             | 16 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup> | -141         | 0,222 | 36,68           | 8,06            | 1,42            | 4,55                          | 8,14  | 1,79  | 0,31  | 0,981                                         | 0,044                                                 |
| 913  | ,128            | 22               | 17 02                           | -141         | 0,223 | 23,68           | 6,49            | 0,64            | 3,65                          | 5,28  | 1,45  | 0,14  | 0,689                                         | 0,134                                                 |
| 914  | ,129            | 22               | 17 25                           | -142         | 0,223 | 21,69           | 6,11            | 1,17            | 3,55                          | 4,84  | 1,36  | 0,26  | 0,731                                         | 0,107                                                 |
| 920  | ,203            | 23               | 16 14                           | -150         | 0,243 | 31,26           | 6,27            | 0,99            | 4,99                          | 7,59  | 1,52  | 0,24  | 1,025                                         | 0,122                                                 |
| 921  | ,204            | 23               | 16 29                           | -147         | 0,244 | 27,55           | 5,98            | 0,86            | 4,61                          | 6,72  | 1,46  | 0,21  | 0,861                                         | 0,149                                                 |
| 922  | ,204            | 23               | 16 41                           | -145         | 0,244 | 41,36           | 6,70            | 1,26            | 6,17                          | 10,09 | 1,63  | 0,30  | 1,276                                         | 0,100                                                 |
| 930  | ,280            | 24               | 16 22                           | -145         | 0,250 | 20,58           | 4,64            | 1,60            | 4,43                          | 5,15  | 1,16  | 0,40  | 0,822                                         | 0,080                                                 |
| 931  | ,281            | 24               | 16 36                           | -147         | 0,250 |                 |                 |                 |                               |       |       |       |                                               |                                                       |
| 932  | ,282            | 24               | 16 46                           | -144         | 0,250 |                 |                 |                 |                               |       |       |       |                                               |                                                       |
| 936  | ,673            | 29.X             | 18 17                           | -145         | 0,251 | 35,95           | 6,66            | 1,24            | 5,39                          | 9,02  | 1,67  | 0,31  | 1,237                                         | 0,105                                                 |
| 937  | ,674            | 29               | 18 28                           | -149         | 0,252 | 29,87           | 7,74            | 0,80            | 3,86                          | 7,53  | 1,95  | 0,20  | 1,043                                         | 0,156                                                 |
| 941  | ,751            | 30               | 18 31                           | -155         | 0,257 | 27,47           | 6,17            | 1,71            | 4,46                          | 7,05  | 1,58  | 0,44  | 1,218                                         | 0,087                                                 |
| 945  | ,826            | 31               | 17 42                           | -145         | 0,240 | 27,08           | 5,69            | 1,79            | 4,76                          | 6,50  | 1,37  | 0,43  | 0,852                                         | 0,089                                                 |
| 946  | ,827            | 31               | 18 01                           | -135         | 0,240 | 28,22           | 6,56            | 1,87            | 4,30                          | 5,76  | 1,57  | 0,48  | 0,912                                         | 0,079                                                 |
| 953  | ,442            | 8.XI             | 17 02                           |              | 0,193 | 37,54           | 4,37            | 1,28            | 8,60                          | 7,24  | 0,85  | 0,25  | 1,085                                         | 0,116                                                 |
| 954  | ,443            | 8                | 17 23                           | -137         | 0,192 | 34,95           | 2,84            | 0,86            | 12,30                         | 6,71  | 0,54  | 0,17  | 0,864                                         | 0,106                                                 |
| 955  | ,515            | 9                | 15 42                           | -135         | 0,162 | 33,48           | 5,98            | 0,70            | 5,59                          | 5,42  | 0,97  | 0,11  | 0,763                                         | 0,105                                                 |
| 956  | ,516            | 9                | 16 03                           | -145         | 0,162 | 36,37           | 7,28            | 0,84            | 5,00                          | 5,88  | 1,18  | 0,14  | 0,773                                         | 0,073                                                 |
| 957  | ,592            | 10               | 15 36                           | -138         |       |                 |                 |                 |                               |       |       |       |                                               |                                                       |
| 958  | ,593            | 10               | 15 51                           | -140         | 0,208 | 31,58           | 6,17            | 1,14            | 5,12                          | 6,46  | 1,28  | 0,24  | 0,857                                         | 0,104                                                 |
| 959  | ,594            | 10               | 16 06                           | -151         | 0,209 | 40,60           | 6,38            | 1,24            | 6,37                          | 8,50  | 1,33  | 0,26  | 1,024                                         | 0,088                                                 |
| 960  | ,594            | 10               | 16 20                           | -153         | 0,209 | 39,26           | 5,44            | 0,87            | 7,21                          | 8,20  | 1,14  | 0,18  | 0,940                                         | 0,104                                                 |
| 961  | ,596            | 10               | 16 44                           | -145         | 0,211 | 36,96           | 6,43            | 1,13            | 5,74                          | 7,80  | 1,35  | 0,24  | 0,987                                         | 0,110                                                 |
| 965  | ,747            | 12               | 15 42                           | -155         | 0,257 | 28,11           | 6,70            | 1,39            | 4,20                          | 7,22  | 1,72  | 0,36  | 1,056                                         | 0,116                                                 |
| 966  | ,748            | 12               | 15 53                           | -150         | 0,257 | 31,28           | 7,34            | 1,32            | 4,25                          | 8,04  | 1,88  | 0,34  | 1,118                                         | 0,121                                                 |
| 967  | ,749            | 12               | 16 15                           | -140         | 0,257 | 30,16           | 6,58            | 1,78            | 4,58                          | 7,74  | 1,69  | 0,46  | 1,144                                         | 0,051                                                 |
| 978  | ,979            | 15               | 15 45                           | -153         | 0,130 | 53,36           | 8,13            | 1,78            | 6,56                          | 6,93  | 1,06  | 0,23  | 0,780                                         | 0,027                                                 |
| 979  | ,056            | 16               | 15 42                           | -146         | 0,161 | 41,96           | 7,92            | 1,31            | 5,30                          | 6,75  | 1,27  | 0,21  | 0,726                                         | 0,064                                                 |
| 980  | ,057            | 16               | 16 06                           | -157         | 0,162 | 41,85           | 7,83            | 1,20            | 5,35                          | 6,78  | 1,27  | 0,19  | 0,765                                         | 0,081                                                 |

лом же две трети потока в линии He I,  $\lambda 10830$  Å, формируются в газовой оболочке, не поддающейся затмению и охватывающей тесную двойную систему в целом. Самые внешние слои этой оболочки, в которых возникают компоненты резкого поглощения линий He I,  $\lambda 3888$ , 3964 и 10830 Å, показывают постоянную скорость расширения.

Пока остается открытым вопрос о характере подпитки этих областей оболочки веществом и утечке его из системы. Естественным кажется предположение о взаимодействии внешней оболочки с газовыми струями и кольцом вокруг слабого компонента, образовавшимся в результате потери вещества ярким компонентом.

Авторы благодарят А. А. Боярчука за обсуждение работы и полезные замечания.

Ноябрь 1976 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Скульский М. Ю. Изв. Крымской астрофиз. обс., 1972, 45, 135.
2. Скульский М. Ю. Астрон. цирк., 1973, № 765, 6.
3. Скульский М. Ю. Астрон. цирк., 1973, № 766, 4.
4. Скульский М. Ю. Астрон. цирк., 1973, № 769, 5.
5. Скульский М. Ю. Астрон. ж., 1975, 52, 710.
6. Herczeg T. J. IBVS, 1973, N 820.
7. Бурнашев В. И., Скульский М. Ю. Наст. том, с. 64.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ЗВЕЗД И МЕТОДИКА ПОИСКА ХОЛОДНЫХ СПУТНИКОВ СПЕКТРАЛЬНО-ДВОЙНЫХ СИСТЕМ В БЛИЖНЕЙ ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ<sup>1</sup>

В. Д. Бычков, Э. А. Витриченко, А. Г. Щербаков

В области 8300—8900 Å проведено спектроскопическое исследование ряда стандартных звезд и спектрально-двойных систем раннего типа с невидимым вторичным компонентом. По данным наблюдений звезд главной последовательности разработан количественный критерий спектральной классификации для ближней инфракрасной области. Критерий эффективен в диапазоне спектральных классов A0 — K0. Разработана методика поиска холодных спутников спектрально-двойных систем по наблюдениям их спектров в ближней инфракрасной области. У наблюдавшихся систем холодных спутников не обнаружено. По водородным спектрам рассчитаны параметры атмосфер изучавшихся звезд.

SPECTRAL CLASSIFICATION AND THE METHOD OF THE SEARCH FOR THE COOL COMPANIONS OF SPECTROSCOPIC BINARIES IN NEAR INFRARED, by V. D. Bychkov, E. A. Vitrichenko, A. G. Shcherbakov.— The spectroscopic investigations of several standard stars and early-type single-lines spectroscopic binaries in region from 8300 to 8900 Å are presented. The quantitative excitation criterion of the spectral classification of stars in near infrared is found from observational data on main-sequence stars. The criterion is effective for the A0 to K0 spectral classes. The method of the search for the cool companions of spectroscopic binaries is developed on the principles of spectral observations in near infrared. No cool companions for the observed binaries were found. The parameters of the atmospheres ( $N_e$ ,  $N_{02H}$ ,  $N_{03H}$ ) for all investigated stars are calculated.

По данным Яшек [1], доля звезд спектральных классов В, А и К, входящих в спектрально-двойные системы, составляет 45, 46 и 30% соответственно. Среди спектрально-двойных немало звезд с неизвестным вторым компонентом. Согласно Баттену [2], они составляют 64% от числа всех известных систем. Поиски невидимых компонентов у таких систем предпринимались рядом авторов [3, 4] и заключались в основном в отыскании следов его спектра на высокодисперсионных спектрограммах главного компонента, полученных в видимой области.

Поиски холодного спутника у спектрально-двойной можно провести фотометрическим сравнением яркости звезды в видимой и инфракрасной области. Однако наличие инфракрасного избытка не является достаточным условием для обнаружения холодного компонента, так как избыток может быть вызван другими причинами (пыль, свободно-свободные переходы и др.). Присутствие в спектре горячей звезды линий поглощения, типичных для звезд поздних типов, — более веское доказательство наличия холодного спутника.

<sup>1</sup> Крымская астрофизическая обсерватория АН СССР, Институт космических исследований АН СССР, Астрономический институт АН УзССР.

Из диаграммы спектр — светимость видно, однако, что холодный компонент у двойной системы раннего типа практически невозможно обнаружить, если он является звездой главной последовательности (по причине его низкой светимости). Примером может служить затменная система  $\alpha$  CrB (A0 V + G6 V), у которой спутник виден только в моменты главных минимумов [5].

Допустим, что спектрально-двойная имеет главный компонент типа В. Из той же диаграммы следует, что наиболее вероятными кандидатами для обнаружения у нее холодного спутника в ближней инфракрасной области будут системы с комбинациями спектров типа В V + (G — M) III, В III + (G — M) III или, например, В I + (G — M) I. Системы же типа В V + (G — M) I или В III + (G — M) I должны иметь спектр с заметными следами вторичного компонента уже в видимой области.

С другой стороны, очевидно, что каждая такая комбинация определяет конкретное значение функции масс, которая обычно известна из наблюдений. Следовательно, в принципе решением уравнения для  $f(m)$  можно оценить, существует ли у спектрально-двойной звезды холодный спутник, который был бы замечен в инфракрасной области. В дальнейшем задача сводится к классификации инфракрасного спектра системы, который в этом случае будет функцией спектральных классов обоих компонентов и отношения их потоков в этой области.

Для решения задачи спектральной классификации необходимы наблюдения ряда стандартных звезд с известными спектральными характеристиками, так как имеющаяся в настоящее время информация о спектрах звезд в ближней инфракрасной области в основном носит описательный характер.

Т а б л и ц а 1

| Звезда        | $m_v$ | Sp   | Число спектров | Спектральный интервал, Å | Звезда      | $m_v$ | Sp   | Число спектров | Спектральный интервал, Å |
|---------------|-------|------|----------------|--------------------------|-------------|-------|------|----------------|--------------------------|
| $\alpha$ Lyr  | 0,03  | A0 V | 3              | 8470—8950                | $\beta$ CVn | 4,30  | G0 V | 2              | 8390—8860                |
| 9i UMa        | 3,14  | A7 V | 2              | 8380—8860                | $\xi$ Boo   | 4,61  | G8 V | 4              | 8370—8830                |
| $\rho$ Gem    | 4,16  | F0 V | 5              | 8320—8810                | 61 Cyg      | 5,10  | K5 V | 1              | 8410—8850                |
| 16 $\eta$ Lep | 3,70  | F0 V | 1              | 8380—8810                | 15 Lac      | 5,20  | M0 V | 2              | 8350—8820                |
| 3 $\pi^1$ UMa | 5,64  | G0 V | 2              | 8310—8760                |             |       |      |                |                          |

Т а б л и ц а 2

| Звезда         | $m_v$ | Sp      | $f(m)$ | Фаза  | Число спектров | Спектральный интервал, Å |
|----------------|-------|---------|--------|-------|----------------|--------------------------|
| $\pi^1$ Ori    | 3,67  | B2 III  | 0,0169 | 0,781 | 1              | 8360—8810                |
| 17 Tau         | 3,69  | B6 III  | 0,114  | 0,579 | 2              | 8460—8910                |
|                |       |         |        | 0,590 | 2              | 8360—8810                |
|                |       |         |        | 0,959 | 2              | 8320—8780                |
| 27 Tau         | 3,60  | B8 III  | 0,386  | 0,401 | 2              | 8400—8910                |
|                |       |         |        | 0,424 | 1              | 8350—8840                |
|                |       |         |        | 0,747 | 2              | 8400—8910                |
| $\alpha$ Dra   | 3,66  | A0p III | 0,436  | 0,090 | 2              | 8330—8830                |
|                |       |         |        | 0,934 | 2              | 8360—8860                |
|                |       |         |        | 0,953 | 2              | 8360—8830                |
| $\alpha$ CrB   | 2,27  | A0 V    | 0,0602 | 0,714 | 2              | 8350—8800                |
|                |       |         |        | 0,926 | 1              | 8520—8930                |
| $\epsilon$ UMa | 1,76  | A0p V   | 0,0058 | —     | 2              | 8350—8820                |
| $\alpha$ And   | 2,06  | A0p     | 0,166  | 0,478 | 2              | 8410—8940                |
| $\beta$ Ari    | 2,64  | A5 V    | 0,0547 | 0,765 | 2              | 8520—8970                |
|                |       |         |        | 0,774 | 2              | 8480—8940                |

## Наблюдения

Спектры звезд с дисперсией 48 Å/мм были получены с помощью фотоконтактного ЭОП типа ФКТ-1А (S1) на 50" телескопе Крымской астрофизической обсерватории. Аппаратура и методика наблюдений подробно описаны в [6, 7]. Всего получена 51 спектрограмма. Данные о стандартных звездах помещены в табл. 1, а о спектрально-двойных — в табл. 2. Значения звездных величин и спектральных классов звезд взяты из [2, 8].

## Результаты наблюдений

Табл. 3 и 4 представляют спектры звезд в области 8300—8900 Å. В табл. 3 по четырем звездам сравнивается встречаемость линий поглощения различных химических элементов у спектральных классов A0 и G0.

Наиболее сильными деталями инфракрасных спектров звезд широкого диапазона спектральных классов являются линии пашеновской серии водорода и линии инфракрасного триплета Ca II.

В табл. 4 представлены результаты измерений эквивалентных ширин этих линий у всех исследовавшихся звезд, а на рис. 1 показана величина вероятного отклонения от среднего значения, как функция  $\bar{W}_\lambda$ . Из рисунка видно, что ее значение достигает 15% и выше, если  $W_\lambda < 2$  Å, и не превосходит, как правило, 10% при  $W_\lambda > 2$  Å.

На рис. 2 в качестве примера показаны зависимости эквивалентных ширин пашеновских линий от номера серии для пяти звезд ранних спектральных классов. У звезд  $\rho$  Gem и  $\epsilon$  UMa эквивалентные ширины линий P 13, 15 и 16 завышаются блендированием с линиями триплета кальция 8662, 8542, 8498 Å. Кроме того, как видно из рисунка, у  $\epsilon$  UMa водородные линии относительно слабы для данного спектрального класса; спектр ближе к классу F0, чем к A0, полученному по бальмеровским линиям.

## Обсуждение результатов

**Критерии спектральной классификации звезд.** Потенциал возбуждения третьего уровня водородного атома составляет 12,04 эВ, следовательно, линии пашеновской серии, возникающие с этого уровня, должны быть сильны в спектрах горячих звезд. Напротив, потенциал возбуждения вто-

Таблица 3

| $\lambda, \text{Å}$ | Элемент | Мультиплет | $\lambda, \text{эВ}$ | A0                                     |                              | $\lambda, \text{Å}$ | Элемент | Мультиплет | $\lambda, \text{эВ}$ | G0                                     |                              |
|---------------------|---------|------------|----------------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------|---------|------------|----------------------|----------------------------------------|------------------------------|
|                     |         |            |                      | $\alpha$ Ly $\gamma$ ,<br>$\alpha$ CrB | $3\pi^1$ UMa,<br>$\beta$ CVn |                     |         |            |                      | $\alpha$ Ly $\gamma$ ,<br>$\alpha$ CrB | $3\pi^1$ UMa,<br>$\beta$ CVn |
| 8339,4              | Fe I    | 1153       | 4,42                 |                                        | +                            | 8567,7              | N I     | 8          | 10,63                | +                                      | —                            |
| 8387,8              | Fe I    | 60         | 2,47                 |                                        | +                            | 8598,4              | H       | 9          | 12,04                | +                                      | +                            |
| 8413,3              | H       | 10         | 12,04                |                                        | +                            | 8621,6              | Fe I    | 491        | 2,94                 | —                                      | +                            |
| 8437,9              | H       | 10         | 12,04                |                                        | +                            | 8629,2              | N I     | 8          | 10,64                | +                                      | —                            |
| 8467,3              | H       | 10         | 12,04                |                                        | +                            | 8662,1              | Ca II   | 2          | 1,69                 | —                                      | —                            |
| 8498,0              | Ca II   | 2          | 1,69                 | —                                      | +                            | 8665,0              | H       | 9          | 12,04                | +                                      | +                            |
| 8502,5              | H       | 10         | 12,04                | +                                      | +                            | 8680,2              | N I     | 1          | 10,29                | +                                      | —                            |
| 8514,1              | Fe I    | 60         | 2,49                 | —                                      | +                            | 8711,7              | N I     | 1          | 10,29                | +                                      | —                            |
| 8536,4              | Si I    | 80         | 6,15                 | —                                      | +                            | 8728,1              | Si I    | 79         | 6,15                 | —                                      | +                            |
| 8542,1              | Ca II   | 2          | 1,69                 | —                                      | +                            | 8750,5              | H       | 9          | 12,04                | +                                      | +                            |
| 8545,4              | H       | 10         | 12,04                | +                                      | +                            | 8862,8              | H       | 9          | 12,04                | +                                      |                              |
| 8556,8              | Si I    | 45         | 5,85                 | —                                      | +                            |                     |         |            |                      |                                        |                              |

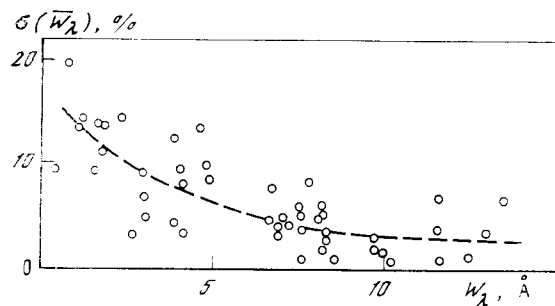


Рис. 1. Зависимость средне-  
квадратичного отклонения от  
величины  $\overline{W}_\lambda$ .

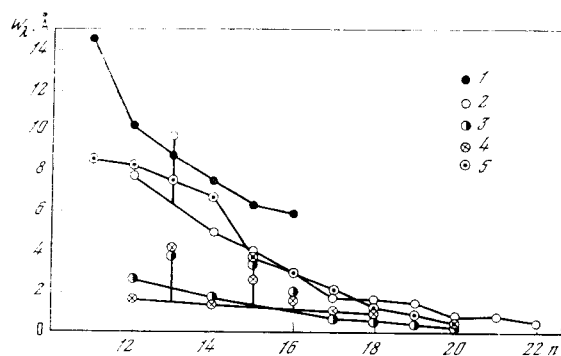


Рис. 2. Зависимость эквива-  
лентных ширин линий пше-  
новской серии от их номера  
в спектрах пяти звезд

1 —  $\alpha$  Lyr, A0 V; 2 —  $\alpha$  Dra,  
A0p III; 3 —  $\rho$  Gem, F0V'  
4 —  $\epsilon$  UMa, A0p V; 5 — 27 Tau,  
B8 III

рого уровня Ca II, с которого возникают линии триплета, равен 1,69 эВ. Поэтому линии кальция должны быть сильны в спектрах холодных звезд.

На рис. 3 верхняя кривая представляет зависимость эквивалентной ширины водородной линии P14 от спектрального класса звезд и хорошо отражает известное уже поведение водородных линий с изменением температуры. Средняя кривая дает представление об изменении эквивалентной ширины бленды, состоящей из водородной линии P15 и линии Ca II,

Таблица 4

| Звезда              | Sp      | W <sub>λ</sub> , Å |      |                 |     |                 |                 |     |     |     |     |     |     |
|---------------------|---------|--------------------|------|-----------------|-----|-----------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                     |         | p11                | p12  | p13 +<br>+Ca II | p14 | p15 +<br>+Ca II | p16 +<br>+Ca II | p17 | p18 | p19 | p20 | p21 | p22 |
| π <sup>1</sup> Ori  | B2 III  |                    | 7,5  | 6,0             | 4,9 | 2,1             | 2,0             |     |     |     |     |     |     |
| 17 Tau              | B6 III  | 12,4               | 8,1  | 7,2             | 6,9 | 4,1             | 2,6             | 1,9 |     |     |     |     |     |
| 27 Tau              | B8 III  | 8,5                | 8,3  | 7,5             | 6,7 | 3,8             | 3,0             | 2,3 | 1,3 | 0,9 | 0,4 |     |     |
| α CrB               | A0 V    | 11,7               | 8,2  | 6,8             | 4,6 | 1,9             | 0,8             | 0,3 |     |     |     |     |     |
| α Dra               | A0p III |                    | 7,8  | 9,7             | 4,9 | 4,1             | 3,0             | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 0,7 | 0,6 | 0,5 |
| α And               | A0p     | 14,9               | 9,8  | 11,6            | 6,0 | 3,7             |                 |     |     |     |     |     |     |
| α Lyr               | A0 V    | 14,4               | 10,2 | 8,8             | 7,6 | 6,4             | 6,0             |     |     |     |     |     |     |
| ε UMa               | A0p V   |                    | 1,7  | 4,0             | 1,5 | 2,7             | 1,8             | 0,9 | 0,9 |     |     |     |     |
| β Ari               | A5 V    | 10,5               | 8,8  | 10,1            | 6,6 | 5,7             |                 |     |     |     |     |     |     |
| 9i UMa              | A7 V    |                    | 3,4  | 5,1             | 2,2 | 3,2             | 1,6             | 0,9 | 0,6 | 0,5 |     |     |     |
| 16η Lep             | F0 V    |                    | 1,3  | 3,4             | 0,9 | 3,3             | 1,6             | 0,4 |     |     |     |     |     |
| ρ Gem               | F0 V    |                    | 2,6  | 3,9             | 1,7 | 3,5             | 2,0             | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,3 |     |     |
| 3π <sup>1</sup> UMa | G0 V    |                    | 0,6  | 3,6             | 0,5 | 2,8             | 1,3             | 0,5 |     |     |     |     |     |
| ξ CVn               | G0 V    |                    | 1,2  | 3,4             | 1,3 | 4,4             | 2,1             | 0,9 | 0,6 | 0,6 |     |     |     |
| β Boo               | G8 V    |                    | 0,8  | 4,4             | 0,5 | 4,1             | 1,3             |     |     |     |     |     |     |
| 61 Cyg              | K5 V    |                    |      | 2,4             |     | 3,4             | 1,8             |     |     |     |     |     |     |
| 15 Lac              | M0 V    |                    |      | 3,5             |     | 4,3             | 2,4             |     |     |     |     |     |     |

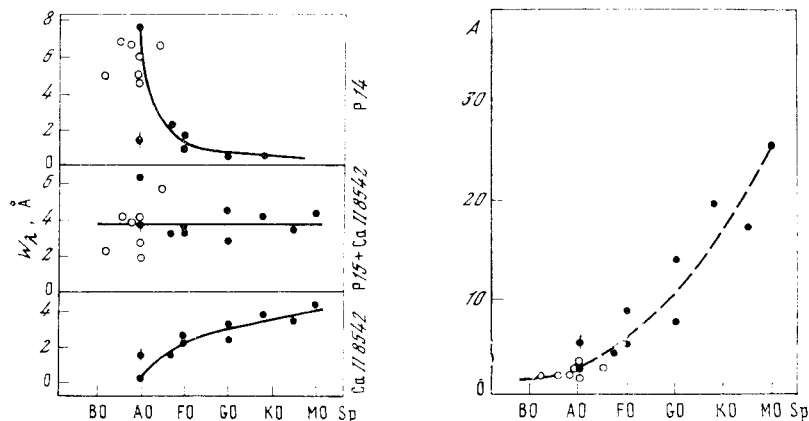


Рис. 3. Зависимость эквивалентных ширин линий водорода и Ca II от спектрального класса

Черные кружки — стандартные звезды, светлые кружки — спектрально-двойные, кружок с черточкой —  $\epsilon$  UMa

Рис. 4. Количественный критерий спектральной классификации

Черные кружки — стандартные звезды, светлые кружки — спектрально-двойные, кружок с черточкой —  $\epsilon$  UMa

8542 Å. В первом приближении можно считать, что эквивалентная ширина бленды инвариантна относительно спектрального класса.

Нижняя кривая получена по формуле, представляющей разность двух величин:

$$W_{\lambda}(\text{Ca II}) = W_{\lambda}(\text{P15} + \text{Ca II}) - W_{\lambda}(\text{P15}),$$

где  $W_{\lambda}(\text{P15} + \text{Ca II})$  — наблюдаемая эквивалентная ширина бленды, а  $W_{\lambda}(\text{P15})$  — эквивалентная ширина линии P15, полученная интерполяцией водородных линий с помощью графика, аналогичного рис. 2. Как и ожидалось, вычисленная эквивалентная ширина линии кальция возрастает при переходе от горячих к холодным звездам.

Можно показать, что этот способ освобождения линии кальция от бленды не приведет к ошибкам больше 10—15% (в том случае, когда бленда физическая), если применять его к звездам холоднее F0. Кроме того, для спектрально-двойных систем с горячим компонентом, поставляющим водородные линии, и холодным, поставляющим линии Ca II, этот способ является точным.

Для проведения уверенной количественной классификации спектров звезд нужно найти наиболее сильно меняющуюся с температурой комбинацию водородных и кальциевых линий. Для этого вычислим величину

$$A = \frac{W_{\lambda}(\text{P13} + \text{Ca II}) + W_{\lambda}(\text{P15} + \text{Ca II}) + W_{\lambda}(\text{P16} + \text{Ca II})}{W_{\lambda}(\text{P14})}.$$

Зависимость этой величины от спектрального класса показана на рис. 4. Видно, что в диапазоне исследуемых спектральных классов величина  $A$  меняется больше чем на порядок. Для звезд горячее A0 этот критерий не является эффективным, так как в их спектрах отсутствует триплет кальция, и величина  $A$  определяется декрементом пашеновской серии. Для звезд холоднее K0 трудно надежно измерить значение  $W_{\lambda}$  водородных линий вследствие их слабости. Поэтому величина  $A$  удобна для классификации звезд в диапазоне спектральных классов от A0 до K0. Отметим, что полученный количественный критерий является одномерным, так как определен по звездам главной последовательности. Попытка двумерной качественной классификации A- и F-звезд по линиям P 14, P 15 + Ca II

и O I,  $\lambda 7774 \text{ \AA}$ , была предпринята в 1964 г. Парсонсом [9] по спектрам с дисперсией 200 А/мм. Как видно из рис. 3 и 4, точность определений спектрального класса звезды с помощью величины  $A$  не хуже чем 0,5 спектрального класса, что достаточно для задачи обнаружения холодных компонентов спектрально-двойных систем.

**Методика поиска холодного спутника.** Поиск холодного компонента в ближайшей инфракрасной области можно свести к следующим этапам.

1. Как было сказано выше, предварительная оценка условий наблюдаемости спутника может быть сделана путем решения уравнения для функции масс. Если по светимости и спектру главного компонента определить его массу, то решением уравнения для  $f(m)$  можно найти массу вторичного компонента как функцию угла наклона орбиты к лучу зрения. Пользуясь полученными значениями массы, с помощью соотношений масса — светимость и масса — спектральный класс можно определить семейство значений светимости спутника и его спектрального класса в функции угла  $i$ . По этим значениям с помощью соответствующих показателей цвета можно оценить вклад отдельных компонентов в общий поток излучения как в видимой, так и в инфракрасной области. Выбрав наилучший вариант системы, по спектральным классам компонентов можно вычислить ее средний спектральный класс для инфракрасной области.

Ниже (рис. 5) предлагается номограмма для быстрого решения уравнения функции масс, которое можно записать в виде

$$\frac{f(m)}{m_A} = \frac{\alpha^3}{(1 + \alpha)^3} \sin^3 i. \quad (1)$$

Здесь  $\alpha = m_B/m_A$  представляет отношение масс компонентов.

На рис. 5 по левой оси ординат отложены значения величины

$$F(\alpha) = (1 + \alpha)^2/\alpha^3.$$

Для спектрально-двойной звезды с известной функцией масс и спектром главного компонента вычислим отношение  $m_A/f(m)$  и по его величине найдем семейство значений  $F(\alpha) = \varphi(i)$  (см. штриховую линию на рисунке). По этим значениям с помощью кривой  $F(\alpha) = \varphi(\alpha)$  найдем семейство величин  $\alpha = \varphi(i)$ , а следовательно, и массы вторичного компонента.

2. Полученный из инфракрасных наблюдений с помощью критерия  $A$  спектральный класс системы сравнивается со спектральным классом, вычисленным с помощью уравнения для функции масс, и оценивается спектр вторичного компонента.

3. Производится фотометрический поиск холодного компонента системы в видимой и инфракрасной области.

4. Факт обнаружения холодного спутника будет окончательно установленным, если по его линиям в инфракрасном спектре системы будет построена кривая лучевых скоростей.

**О холодных спутниках звезд.** Полученный спектральный материал недостаточен для построения кривых лучевых скоростей. Поэтому мы ограничились спектрофотометрическими данными.

Для исследуемых спектрально-двойных звезд выяснилось следующее.

1. Применение метода функции масс не указывает на существование холодных спутников, которые можно было бы обнаружить в инфракрасном спектре.

2. Как видно из рис. 4, практически все спектрально-двойные (отмеченные светлыми кружками) по критерию  $A$  имеют спектральные классы, хорошо совпадающие с МК классами, т. е. в их инфракрасных спектрах нет следов холодных спутников.

Некоторое исключение составляет  $\epsilon \text{ UMa (A0p V)}$ .

На рис. 6 видно, что спутником  $\epsilon \text{ UMa}$  может быть звезда типа (F5 — G0) III. Кроме того, из рис. 2 и табл. 4 следует, что ее инфракрасный

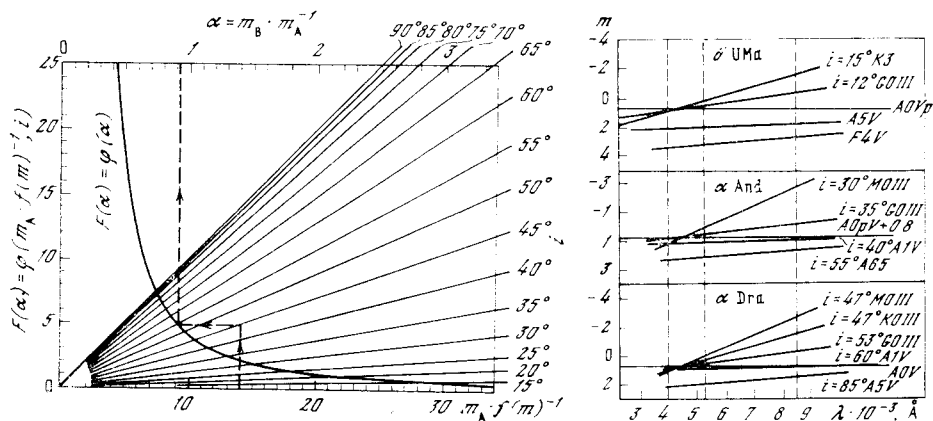


Рис. 5. Номограмма для решения уравнения функции масс

Рис. 6. Вклад в поток главного компонента (в видимой и инфракрасной областях) потоков от различных вариантов спутников для трех спектрально-двойных систем

спектр близок к спектру звезды типа F0. Наконец, по инфракрасным наблюдениям  $\epsilon$  UMa получается, что величина  $A = 5,2$ , это соответствует на кривой рис. 4 спектральному классу F — среднему между A0 и G0. Однако фотометрические данные по  $\epsilon$  UMa ставят под сомнение наличие у нее предполагаемого холодного спутника, так как в широком диапазоне длин волн от  $\lambda 3000 \text{ \AA}$  до  $3,5 \text{ мкм}$  континуум звезды соответствует спектру A0. Удивительно, что спектр звезды по линиям пашеновской серии имеет расхождение на целый спектральный класс со спектром, получаемым по бальмеровским линиям. Этот факт трудно объяснить и пекулярностью звезды типа Ap. Поэтому вопрос о природе инфракрасного спектра  $\epsilon$  UMa остается открытым.

### Параметры атмосфер звезд

Электронную концентрацию в атмосфере звезды можно оценить по формуле Инглиса — Теллера [10], связывающей номер последней наблюдаемой линии спектральной серии водорода или водородоподобного атома с эффективной электронной плотностью среды, в которой эта линия возникает:

$$\lg n'_e = 23,25 - 7,5 \lg n_m, \quad (2)$$

причем  $n'_e \approx 2n_e$  (где  $n_e$  — электронная концентрация), если температура атмосферы звезды  $T < 10^5/n_m$  и  $n'_e = n_e$ , если  $T \geq 10^5/n_m$ .

Для определения полного числа атомов на третьем уровне водородного атома в столбе с сечением  $1 \text{ см}^2$  можно воспользоваться формулой для оптически тонкого слоя, связывающей эквивалентную ширину линий пашеновской серии с полным числом атомов в третьем состоянии:

$$W_\lambda = \frac{\pi e^2 \lambda^2}{mc^2} f_{i3} N_{03} H. \quad (3)$$

Здесь  $f_{i3}$  — силы осцилляторов для соответствующих переходов.

С помощью этой формулы полное число атомов  $N_{03}H$  определялось как максимальное значение на кривой  $\lg N_{03}H = f(n)$ , построенной по эквивалентным ширинам пашеновской серии (метод Унзоляда [11]).

В табл. 5 для атома водорода в спектрах наблюдавшихся звезд нами приведены значения  $n_m$ ,  $\lg n_e$  и  $\lg N_{03}H$ , полученные по серии Пашена, наряду с аналогичными величинами для серии Бальмера, вычисленными

Таблица 5

| Параметр          | $\pi^4$ Ori<br>B2 III | $\gamma^4$ Tau<br>B6 III | $\gamma^4$ Tau<br>B8 III | $\alpha$ CrB<br>A0 V | $\alpha$ Dra<br>A0p III | $\alpha$ And<br>A0p | $\alpha$ Lyr<br>A0 V | $\epsilon$ UMa<br>A0p V | $\beta$ Ari<br>A5 V | $\eta^1$ UMa<br>A7 V | $\rho$ Gem<br>F0 V | $\beta$ CVn<br>G0 V | $\zeta$ Boo<br>G8 V |
|-------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| $n_m^B$           |                       | 18,0                     |                          | 20,5                 | 20,5                    | 19,7                | 17,7                 | 17,5                    | 17,7                | 13,3                 |                    |                     |                     |
| $n_m^P$           | 17,6                  | 19,0                     | 19,3                     | 17,2                 | 24,0                    | 19,0                | 21,7                 | 24,0                    | 18,0                | 21,5                 | 24,5               | 21,2                | 18,5                |
| $\lg n_e^B$       |                       | 13,81                    |                          | 13,43                | 13,43                   | 13,58               | 13,88                | 13,96                   | 13,88               | 14,86                |                    |                     |                     |
| $\lg n_e^P$       | 13,92                 | 13,66                    | 13,58                    | 13,99                | 12,91                   | 13,66               | 13,06                | 12,91                   | 13,85               | 13,28                | 12,84              | 13,02               | 13,76               |
| $n_e^B/n_e^P$     |                       | 1,4                      |                          | 0,3                  | 3,3                     | 0,8                 | 6,6                  | 11,2                    | 1,1                 | 38,0                 |                    |                     |                     |
| $\lg N_{02}H$     | 15,65                 | 16,02                    |                          | 16,52                | 16,40                   | 16,13               | 16,18                | 16,14                   | 16,02               | 15,97                | 15,09              | 14,80               | 14,59               |
| $\lg N_{03}H$     | 15,53                 | 15,63                    | 15,68                    | 15,54                | 15,56                   | 15,61               | 15,79                | 15,09                   | 15,65               | 15,19                |                    |                     |                     |
| $N_{02}H/N_{03}H$ | 1,3                   | 2,5                      |                          | 9,5                  | 6,9                     | 3,1                 | 2,4                  | 11,2                    | 2,3                 | 6,0                  |                    |                     |                     |

\* В — бальмеровские линии; P — пашеновские линии.

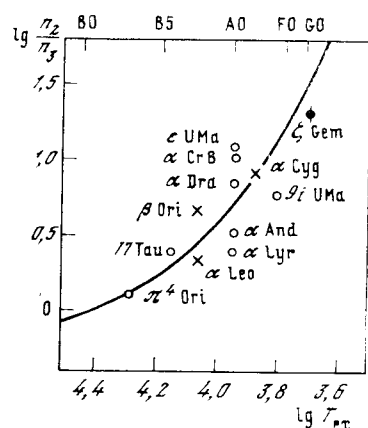


Рис. 7. Относительные населенности второго и третьего водородных уровней как функция спектрального класса

уует о выполнимости в атмосферах изучавшихся звезд условий, близких к локальному термодинамическому равновесию.

Авторы благодарят А. А. Боярчука за ценные замечания.  
Ноябрь 1976 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Jashek G. A. Bol. Asoc. Argent. Astron., 1968, N 14, 65.
2. Batten A. H. Publs Domin. Astrophys. Observ., 1967, 13, N 8.
3. Скульский М. Ю. Астрон. ж., 1965, 52, 710.
4. Worley C. E. Publs Astron. Soc. Pacific, 1955, 67, 330.
5. Kron G. E., Gordon K. G. Astrophys. J., 1953, 118, 55.
6. Витриченко Э. А., Волков В. И., Шанин Г. И., Шевченко В. С., Щербаков А. Г. Астрон. ж., 1974, 51, 866.
7. Витриченко Э. А., Шанин Г. И., Шевченко В. С., Щербаков А. Г. В кн.: Новая техника в астрономии. Л., «Наука», 1975, с. 130.
8. Hoffleit D. Catalogue of bright stars. Connecticut, New Haven, 1964.
9. Parsons S. B. Astrophys. J., 1964, 140, 853.
10. Inglis D., Teller E. Astrophys. J., 1939, 90, 439.
11. Копылов И. М. Изв. Крымской астрофиз. obs., 1961, 26, 232.
12. Копылов И. М. Изв. Крымской астрофиз. obs., 1958, 20, 123.
13. Копылов И. М. Изв. Крымской астрофиз. obs., 1960, 22, 189.
14. Леушин В. В. Астрофиз. исследования, 1973, 5, 70.
15. Merrill P. W., Wilson O. C. Astrophys. J., 1934, 80, 19.

**О ВОЗМОЖНЫХ ЗВЕЗДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СТАНДАРТАХ  
В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА  $\lambda 1000-3500 \text{ \AA}$** **А. М. Зверева**

На основе опубликованных данных внеатмосферных измерений проведен анализ абсолютных ультрафиолетовых потоков звезд  $\gamma$  Ori,  $\alpha$  CMa,  $\alpha$  Leo и  $\eta$  UMa в области спектра  $\lambda 1000-3500 \text{ \AA}$ . Указанные звезды в спектральной области  $\lambda > 1500 \text{ \AA}$  можно рассматривать как потенциальные абсолютные энергетические стандарты ультрафиолетового излучения. В настоящее время, когда точность абсолютных измерений потоков в этой области в основном не лучше 15%, целесообразно использовать для привязок систему данных TD-1, как наиболее близкую к средним значениям.

В области  $\lambda < 1500 \text{ \AA}$  рассмотренные звезды не могут пока служить стандартам, так как все они показывают синхронные временные изменения потоков, которые превосходят ошибки измерений в 5—10 раз. Эти наблюдаемые вариации потоков коррелируют с солнечной активностью (числами Вольфа). Возможной причиной таких изменений может быть изменение абсолютной чувствительности измерительной аппаратуры под действием радиации Солнца. Существующая неопределенность указывает на необходимость новых экспериментов.

ON THE POSSIBLE ENERGY STELLAR STANDARDS IN SPECTRAL REGION  $\lambda 1000-3500 \text{ \AA}$ , by A. M. Zvereva.— On the basis of the available published data of space observations analysis of the absolute ultraviolet fluxes from stars  $\gamma$  Ori,  $\alpha$  CMa,  $\alpha$  Leo and  $\eta$  UMa within spectral range  $1000-3500 \text{ \AA}$  is done. In spectral region  $\lambda > 1500 \text{ \AA}$  these stars can be considered as available standards of absolute fluxes of energy in ultraviolet. At present time until the accuracy of the absolute flux measurements in this spectral region is no better than  $\sim 15\%$  it is reasonably to use the data from TD-1 which are most account to the mean of all data.

The stars can not be used as a standards in spectral region  $\lambda < 1500 \text{ \AA}$  because of synchronous temporal variation in fluxes of all stars which exceed the errors of observations by factor of 5—10. This variations are correlated with solar activity (Wolf numbers). The possible cause of such variations can be changes in sensitivity of detectors due to either variable effect of solar radiation or secondary effects. This uncertainties indicate the necessity of new space observations.

Со времени получения первых внеатмосферных спектров звезд прошло более 15 лет. В 1962 г. были опубликованы первые результаты по абсолютному распределению энергии звезд в ультрафиолетовой области спектра  $\lambda < 3300 \text{ \AA}$  [1]. С тех пор в результате успешного развития космических исследований на ракетах и спутниках был получен большой материал по абсолютной ультрафиолетовой фотометрии и спектрофотометрии. Нами в работе анализируется опубликованный материал для нескольких ярких звезд для выявления возможности использовать эти звезды в качестве энергетических стандартов УФ-излучения.

В некоторых экспериментах звезды уже использовались в качестве эталонов УФ-излучения. Так, в японском эксперименте [2] фотометрические измерения в области  $\lambda < 1500 \text{ \AA}$  выполнялись относительно звезды

$\alpha$  Leo и переход к абсолютным единицам потока производился согласно абсолютному потоку, измеренному для  $\alpha$  Leo ранее со спутника [3]. Абсолютная калибровка УФ-спектрометров Висконсинского университета, установленных на орбитальной астрономической обсерватории ОАО-2, опиралась на сравнительно частые наблюдения одних и тех же звезд ( $\alpha$  Vir,  $\eta$  UMa,  $\alpha$  Leo) по отношению к стандартному источнику черенковского излучения [4, 5]. В свою очередь эти звезды измерялись специально с помощью калибровочных УФ-фотометров на ракетах для получения дополнительных данных по абсолютной калибровке [5]. Однако вопрос о возможности использования звезд в качестве энергетических стандартов в УФ-области в литературе обсужден лишь для одной звезды  $\gamma$  Ori [6]. Авторы этой статьи делают вывод о пригодности  $\gamma$  Ori в качестве стандарта в области  $\lambda > 1500 \text{ \AA}$  и указывают на возможную переменность в области  $\lambda < 1500 \text{ \AA}$ , связанную либо с излучением самой звезды, либо с межзвездным поглощением.

Нами рассмотрены данные по абсолютным потокам в УФ-области для четырех звезд, для которых опубликовано наибольшее число измерений:  $\gamma$  Ori,  $\alpha$  CMa,  $\alpha$  Leo,  $\eta$  UMa.  $\gamma$  Ori также включена в рассмотрение, поскольку данные Хесберга и соавторов [6] дополнены другими измерениями, в том числе и абсолютными измерениями ОАО-2 [7].

### 1. Абсолютные энергетические измерения и проблема калибровки

Перед тем как перейти к анализу наблюдательных данных в УФ-области, напомним о точности определения энергетических звездных стандартов в видимой области и о трудностях, возникающих при переходе к внеатмосферной УФ-области спектра.

Распределение энергии в спектре  $\alpha$  Lyr — первичного абсолютного энергетического звездного стандарта — по наземным измерениям известно с точностью  $\pm 2\%$  в видимой области,  $\pm 6\%$  в близкой УФ-области ( $\lambda > 3300 \text{ \AA}$ ) и ИК-области [8]. Высокая точность этого спектрофотометрического стандарта, близкая к основному стандарту излучения — абсолютно черному телу, обязана тем значительным успехам, которые были достигнуты за последние годы в лабораторной спектрорадиометрии. Абсолютная калибровка Веги, выполненная Оуком и Шилдом [9], может служить иллюстрацией тому: во время измерений со звездой непосредственно сравнивались два чернотельных источника и стандартная лампа. Уточнение калибровки Оука — Шилда, выполненное недавно [10], в пределах 3% связано в основном с более точным учетом горизонтальной экстинкции.

Однако у разных исследователей системы калибровок звездных потоков основаны на разных первичных эталонах — моделях абсолютно черного тела. Отклонения реально используемых устройств от идеального абсолютно черного тела, а также несовершенство учета вертикальной и горизонтальной экстинкций приводят к систематическим ошибкам, присущим каждой системе калибровок. В результате абсолютная калибровка  $\alpha$  Lyr в различных системах расходится до 10% в области  $\lambda < 3500 \text{ \AA}$  [8, 11]. Одной из причин таких расхождений, особенно в ближней УФ-области, является отсутствие единых международных спектрофотометрических эталонов при наземных наблюдениях или хотя бы нескольких стандартов, связанных между собой.

При переходе к внеатмосферной УФ-области измерений проблема абсолютной калибровки во многом усложняется, во-первых, из-за трудностей сравнения излучения звезд со стандартными источниками. Большинство стандартных источников УФ-излучения являются сложными и громоздкими устройствами, которые по этой причине не могут работать в космосе. Непосредственное сравнение проводилось лишь с компактными источниками (черенковский излучатель, стандартные лампы) в эксперимен-

те на ОАО-2 [5, 12]. Однако эти сравнения служили только для проверки стабильности работы аппаратуры в космосе. Абсолютная калибровка измерительной аппаратуры опиралась на лабораторные исследования. Во-вторых, лабораторная калибровка представляет известную трудность — все лабораторные испытания должны выполняться в вакууме. В-третьих, при внеатмосферных измерениях в условиях космического пространства могут сказываться эффекты контаминации (загрязнения), деградации и люминесценции различных материалов, которые используются при создании измерительной аппаратуры [13]. Трудности учета последних эффектов связаны в основном с неопределенностями абсолютной калибровки. Проведение экспериментов с возвращаемой на Землю аппаратурой в значительной мере избавляет от этих трудностей.

После первых спектрофотометрических внеатмосферных измерений звезд обнаружили значительные недостатки наблюдаемых УФ-потоков по сравнению с теорией — до 10–20 раз в области  $\lambda < 2500 \text{ \AA}$ . Для более коротковолновой области  $\lambda < 1500 \text{ \AA}$  предполагались еще большие дефициты потоков. Помимо расхождений с теорией различные наблюдения обнаруживали значительные расхождения (до 10 раз) между собой [14], и на основании этого утверждалось, что большие дефициты потоков переальны. Таким образом, причина недооценки наблюдаемых потоков сводилась в основном к ошибкам калибровки.

Обычно в УФ-области применялся метод калибровки, основанный на экстраполяции абсолютного распределения энергии стандартной лампы в область  $\lambda < 3000 \text{ \AA}$  с помощью салицилата натрия [15]. Калибровка лампы осуществлялась путем привязки к черному телу, и точность абсолютной калибровки быстро падала после  $\lambda 3500 \text{ \AA}$  из-за уменьшения излучения: так, для вольфрамовой лампы при  $t = 2800 \text{ K}$  в области  $\lambda 3000 \text{ \AA}$  излучение составляет  $10^{-2}$  от максимума. Экстраполяция излучения лампы до  $2500 \text{ \AA}$  опиралась на тот факт, что салицилат натрия светится в видимой области под действием ультрафиолетового излучения с постоянным квантовым выходом. Однако неоднократно указывалось, что для различных образцов покрытий существуют различия в чувствительности [12, 15]. Более того, квантовый выход меняется со временем и с дозой ультрафиолетового облучения [12]: для  $\lambda 1400 \text{ \AA}$  падение чувствительности составляет 10% в год.

Как видно, применение этого традиционного метода с учетом ошибок калибровки вряд ли давало точность измерений лучше 30% <sup>1</sup>. Наряду с этим методом довольно широко использовался метод калибровки по ионизационным камерам (стандартные приемники излучения) [16, 17]; точность калибровки в пределах 20–50%.

По мере развития техники калибровки создавались новые стандартные источники излучения в ультрафиолете [16, 17]: синхротрон, дуга Болдта, плазма низкой плотности (источник «Zeta»). Точность новых методов калибровки  $\sim 20\%$  в области  $\lambda 1500 \text{ \AA}$ , и существует реальная возможность повышения точности до 10%.

Одним из самых обещающих фундаментальных источников некоторое время считали синхротронное излучение электронов <sup>2</sup>. Перекалибровка висконсинской аппаратуры, установленной на ОАО-2, была выполнена с помощью этого источника [4, 5]. Следует отметить, что в указанном методе калибровки рассеянный свет, значительно искажающий калибровку, сведен к минимуму. Кроме того, источник стабилен во времени в течение нескольких часов и имеет непрерывное распределение энергии, подобное звезде спектрального класса В5.

<sup>1</sup> Интересно заметить, что в первой работе по абсолютной ультрафиолетовой спектрофотометрии [1] приводилась точность 10%.

<sup>2</sup> В настоящее время более обещающим источником признается черенковский излучатель, который успешно применялся при калибровке аппаратуры, установленной на спутнике D2B (согласно частному сообщению проф. Г. Куртеса).

Мы не будем подробно останавливаться на описании всех методов калибровки, тем более что в каждой работе по внеатмосферным абсолютным измерениям, как правило, уделяется внимание этому вопросу или дается ссылка на работу, где обсуждается процедура калибровки. Можно отметить главное (судя по литературе): почти все экспериментаторы относятся к вопросам абсолютной калибровки с большой тщательностью и применяют иногда два независимых способа калибровки, которые сходятся в пределах  $\sim 20\%$  и лучше (см., например, Стечер [18] и Ивенс [49] из Годдардского космического центра NASA, Хампфри и соавторы [20] из ESRO).

В результате после значительных усилий, направленных на разрешение проблемы калибровки, расхождения в оценках ультрафиолетовых потоков звезд несколько уменьшились, но по-прежнему определения абсолютных энергий звезд находятся еще в неудовлетворительном состоянии (см. обзорный доклад А. Д. Кода на 54-м симпозиуме МАС «Наземные и внеатмосферные измерения потоков звезд» [8]). Если в видимой области существует различие в несколько процентов, то в далеком ультрафиолете реально существуют расхождения в 5 раз, несмотря на то что точность измерений в ультрафиолете находится в пределах 15–50%.

## 2. Анализ внеатмосферных измерений ультрафиолетовых потоков для четырех звезд

Основные характеристики звезд  $\gamma$  Ori,  $\alpha$  CMa,  $\alpha$  Leo,  $\eta$  UMa по наземным наблюдениям приведены в табл. 1. Три звезды, исключая  $\alpha$  CMa, в видимой области спектра используются в качестве вторичных звездных стандартов [11]. Сводка данных по измерениям в области  $\lambda < 3500$  Å для этих звезд дана в табл. 2–5, где указаны авторы работ, публикация, моменты измерений, спектральные области измерений, установка, метод калибровки и точность.

В сводку вошли все данные по фотометрии и спектрофотометрии в области  $\lambda < 3500$  Å для выбранных нами звезд. Включены также данные, «абсолютизация» которых опирается на наземные наблюдения ( $\lambda > 3300$  Å). Наземные определения приведены для сравнения в  $\lambda > 3200$  Å. В случае измерений ОАО-2 для одной звезды иногда имеется несколько кривых распределений энергии: сюда входят и предварительные сообщения, и распределения, полученные по разным калибровкам.

Как видно из таблиц, каждая звезда представлена разнообразными данными. Наблюдения проводились с различной аппаратурой; разрешение спектральных приборов от 10 до 100 Å и фотометров — от 110 до 300 Å. Методы калибровки также разные, и точность измерений находится в пределах 15–50%.

Распределения энергии в спектрах указанных звезд в абсолютных единицах ( $10^{-9}$  эрг/см<sup>2</sup>·с·Å) приведены на рис. 1–4. Из графиков видно, что в области  $\lambda > 2000$  Å расхождение данных находится в пределах ошибок измерений. Исключение составляет ранняя работа Стечера и Миллигэна

Таблица 1

Характеристики звезд

| Звезда       | $m_V$ | $B - V$ | Sp     | $E(B - V)$ |
|--------------|-------|---------|--------|------------|
| $\gamma$ Ori | 1,64  | −0,23   | B2 III | 0 *        |
| $\alpha$ CMa | −1,47 | +0,01   | A1 V   | 0 *        |
| $\alpha$ Leo | 1,36  | −0,11   | B8 V   | −0,01      |
| $\eta$ UMa   | 1,86  | −0,20   | B3 V   | 0          |

\*  $(B - V) < (B - V)_0$ .

Таблица 2  
Сводка наблюдений у Ори, выполненных в УФ-области ( $\lambda < 3500 \text{ \AA}$ )

| Автор, публикация                            | Время наблюдений     | Спектральная область $\lambda$ , $\text{\AA}$               | Разрешение $\Delta\lambda$ , $\text{\AA}$ | Точность, % | Установка  | $h$ , км   | Калибровка                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------|------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| T. P. Stecher, J. E. Milligan (1962) [1]     | 22.XI 1960 г.        | 4700—4100                                                   | 100                                       | $\leq 30$   | R          | 198        | Ртутная лампа ( $\lambda 2537$ ) (водородная лампа + салицилат натрия)                                                                                         |
| T. A. Chubb, E. T. Byram (1963) [21]         | V, XI 1960 г.        | 4314                                                        | 50                                        | 50 (неопр.) | R          | ?          | Ионизационная камера                                                                                                                                           |
| A. M. Smith (1967) [3]                       | 1965 г.              | 4376                                                        | 100                                       | 50          | S          | 100        | Ионизационная камера                                                                                                                                           |
| K. Jamashita (1968) [2]                      | 7.III 1967 г.        | 4120, 4290, 4415                                            | 100                                       | 40; 30; 45  | R          | 250        | Но $\alpha$ L $\gamma$ o (Smith) в $\lambda 4376$ ; водородная лампа                                                                                           |
| G. R. Carruthers (1968) [22]                 | 46.III 1967 г.       | 4445, 4270                                                  | 120, 80                                   | 20          | R          | 193        | Ионизационная камера (ФЭУ + салицилат натрия)                                                                                                                  |
| G. R. Carruthers (1969) [23]                 | 30.I 1969 г.         | 4445, 4270                                                  | 120, 80                                   | 40          | R          | 178        | Ионизационная камера (ФЭУ + салицилат натрия)                                                                                                                  |
| F. E. Stuart (1969) [24]                     | II 1968 г.           | 4050—2180                                                   | 25                                        | 30          | R          | 160        | Ионизационная камера (водородная лампа + салицилат натрия)                                                                                                     |
| T. P. Stecher (1969) [18]                    | ?                    | 1700—3000                                                   | 100                                       | 30          | R          | —          | 1) Ртутная лампа ( $\lambda 2537$ ); ФЭУ + салицилат натрия; 2) ионизационная камера                                                                           |
| R. E. Schild e. a. (1971) [25]               | —                    | 3300—6050                                                   | 60                                        | 5           | Наземн.    | —          | Черное тело                                                                                                                                                    |
| A. B. Харитонов, В. М. Терещенко (1971) [26] | —                    | 3200—6000                                                   | 100                                       | 5           | Наземн.    | —          | Черное тело                                                                                                                                                    |
| D. C. Evans (1972) [19]                      | 31.X 1971 г.         | 1200—4000                                                   | 100                                       | 45          | R          | 204        | Ионизационная камера (ФЭУ + салицилат натрия, калибровка по термостойбику)                                                                                     |
| R. Hockstra (1975) [6]                       | 1973 г.              | 2105, 2540, 2814                                            | 90                                        | 40          | TD-1       | 550        | Черное тело MPl (дуга Болдта)                                                                                                                                  |
| A. Monfils, R. Wilson (1974) [6]             | 1972 г.              | 4370—2536                                                   | 37                                        | 45          | TD-1       | 550        | 4) Черное тело (Лисек); 2) ионизационная камера (Эдинбург)                                                                                                     |
| A. Boksenberg e. a. (1973) [20]              | IX 1966 г.           | 2600—3600                                                   | 20                                        | ?           | Gemini 44  | 300        | Дейтериевая лампа + ФЭУ с салицилатом натрия                                                                                                                   |
| T. H. Morgan (1975) [27]                     | IX 1966 г.           | 2600—3600                                                   | 20                                        | ?           | Gemini 44  | 300        | Дейтериевая лампа + ФЭУ с салицилатом натрия                                                                                                                   |
| H. Hesserberg a. e. (1975) [6]               | 6.X<br>27.XI 1973 г. | 4250—3000                                                   | 100—200                                   | 25          | 2R         | 250        | 1) Черное тело MPl — основная калибровка; 2) стандартная угольная дуга $\lambda 2500$ (дополнительно); 3) ионизационная камера и термостойбики (дополнительно) |
| R. C. Bless e. a. (1976) [7]                 | e XII 1968 г.        | 4450—3800<br>4370, 4385,<br>4565, 4915, 2090,<br>2460, 2920 | 10, 20<br>200—300                         | 20<br>20    | OAO-2<br>R | 770<br>215 | Стандартные иридемы, калиброванные по спихтрогону                                                                                                              |

Таблица 3

Сводка наблюдений  $\alpha$  CMa, выполненных в УФ-области ( $\lambda < 3500 \text{ \AA}$ )

| Автор, публикация                           | Время измерений | Систематическая область $\lambda$ , $\text{\AA}$               | Разрешение $\Delta\lambda$ , $\text{\AA}$ | Точность, %                                         | Установка  | $h$ , км   | Калибровка                                                                                                                              |
|---------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| T. A. Clubb, E. T. Byram (1963) [21]        | V, XI 1960 г.   | 1314                                                           | 50                                        | 50<br>(неопр.)                                      | R          | ?          | Позиционная камера                                                                                                                      |
| E. T. Byram e. a. (1965) [28]               | 1960 г.         | 1115                                                           | 70                                        | 50                                                  | R          | ?          | Позиционная камера                                                                                                                      |
| G. R. Carruthers (1968) [22]<br>(1969) [23] | 16.III 1967 г.  | 1115, 1270                                                     | 120, 80                                   | 20                                                  | R          | 493        | Позиционная камера (ФЭУ + са-<br>лицилат натрия)                                                                                        |
| T. P. Stecher (1969) [48]                   | ?               | 1700—3000                                                      | 100                                       | 30 (неопр.)                                         | 4R         | ?          | 1) Ртутная лампа ( $\lambda 2537 \text{ \AA}$ ) и (ФЭУ +<br>+ салицилат натрия); 2) позицион-<br>ная камера                             |
| T. P. Stecher (1970) [29]                   | ?               | 1216—3000                                                      | 40                                        | »                                                   | R          | 453        |                                                                                                                                         |
| D. C. Evans (1972) [49]                     | 31.X 1971 г.    | 1200—4000                                                      | 100                                       | 15                                                  | R          | 204        | Позиционная камера (ФЭУ + сали-<br>цилат натрия, калибровка по термо-<br>стойбику)                                                      |
| R. E. Schild e. a. (1971) [25]              | ---             | 3300—6050                                                      | 60                                        | 5                                                   | Наземн.    | —          | Черное тело                                                                                                                             |
| M. Gros e. a. (1973) [30]                   | c XII 1968 г.   | 1800—3600                                                      | 20                                        | 6<br>( $\lambda 3500$ )                             | OAO-2      | 770        | Ho и Lyg в $\lambda 3500 \text{ \AA}$ ( $\alpha$ CMa, $\gamma$ Cen) [23]                                                                |
| F. Beckmanns e. a. (1974) [31]              | 1972 г.         | 1370—2536<br>2750                                              | 37<br>300                                 | 15                                                  | TD 1       | 550        | 1) Черное тело (Пизел); 2) пози-<br>ционная камера (Эддингбург)                                                                         |
| G. G. Spear e. a. (1974) [32]               | XI 1966 г.      | 2500—3900                                                      | 7                                         | 13<br>( $\lambda 2500$ )<br>6<br>( $\lambda 3000$ ) | Gemini 12  | ?          | По наземным измерениям<br>$\lambda 3700 \text{ \AA}$ [23]<br>относительная калибровка по дей-<br>териевой лампе с салицилатом<br>натрия |
| R. C. Bless e. a. (1976) [7]                | c XII 1969 г.   | 4150—3800<br>1370, 1385,<br>1505, 1915,<br>2090, 2460,<br>2920 | 10; 20<br>200—300                         | 20<br>20                                            | OAO-2<br>R | 770<br>215 | Стандартные прислунки, калибровка<br>по спхтрогону                                                                                      |

Таблица 4  
Сводка наблюдений  $\alpha$  Leo, выполненных в УФ-области ( $\lambda < 3500 \text{ \AA}$ )

| Автор, публикации                        | Время измерений | Спектральная область $\lambda$ , $\text{\AA}$ | Разрешение $\Delta\lambda$ , $\text{\AA}$ | Точность, % | Установка   | $n$ , км | Калибровка                                                                                       |
|------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------|-------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| T. P. Stecher, J. E. Milligan (1962) [1] | 22.XI 1960 г.   | 1700—3500                                     | 100                                       | $\leq 30$ * | R           | 498      | Ртутная лампа ( $\lambda 2537 \text{ \AA}$ ), водородная лампа + салицилат натрия                |
| T. A. Chubb, E. T. Byram (1963) [33]     | V, XI 1960 г.   | 4314                                          | 50                                        | 50 (неопр.) | 2R          | ?        | Ионизационная камера                                                                             |
| E. T. Byram с. а. (1965) [28]            | 1963 г.         | 4115                                          | 70                                        | 50          | R           | ?        | Ионизационная камера                                                                             |
| A. M. Smith (1967) [3]                   | 1965 г.         | 4376                                          | 100                                       | 50          | S           | 1100     | Ионизационная камера                                                                             |
| K. Iamashita (1968) [2]                  | 7.III 1967 г.   | 4120, 4290, 4415                              | 400                                       | 40, 30, 15  | R           | 250      | Абсолютизация по $\alpha$ Leo в $\lambda 1376 \text{ \AA}$ (Smith [3]); отн. по водородной лампе |
| J. W. Campbell (1970) [34]               | V 1967 г.       | 2150, 2550                                    | 300                                       | ?           | 2R          | 194      | Ртутная лампа ( $\lambda 2537 \text{ \AA}$ ) с использованием салицилата натрия                  |
| R. E. Shild с. а. (1971) [25]            | —               | 3300—6050                                     | 60                                        | 5           | Наземн.     | —        | Черное тело                                                                                      |
| D. C. Evans (1971) [19]                  | 14.IV 1969 г.   | 1200—3000                                     | 400                                       | 15          | (4.251)     | 204      | Ионизационная камера                                                                             |
| »                                        | 31.X 1971 г.    | 1200—4000                                     | 400                                       | 15          | 2R (13.041) |          |                                                                                                  |
| F. Beekmans с. а. (1974) [31]            | 1972 г.         | 4370—2536<br>2750                             | 37<br>300                                 | 15          | TD-1        | 550      | Черное тело                                                                                      |
| A. M. Зверева, К. А. Дорие (1976) [35]   | 20.IV 1968 г.   | 2275, 2740                                    | 410, 120                                  | 30          | S (K-215)   | 426      | Ионизационная камера                                                                             |
| R. C. Bless с. а. (1976) [7]             | с XI 1968 г.    | 2920, 2460, 2090, 1915, 1365, 1385, 1370      | 200—300                                   | 20          | R-калибр.   | 215      | Водородная лампа + салицилат натрия                                                              |
|                                          |                 | 4150—3800                                     | 40, 20                                    | 20          | OAO-2       | 770      | Синхротрон (Wisconsin)                                                                           |
|                                          |                 |                                               |                                           |             |             |          | Вольфрамовая лампа + салицилат натрия с использованием стандартного приемника (Wisconsin)        |

\* Точность, предполагаемая авторами, 10%.

Таблица 5  
Сводка наблюдений η УМа, выполненных в УФ-области ( $\lambda < 3500 \text{ \AA}$ )

| Автор, публикации                     | Время измерения | Спектральная область $\lambda$ , Å       | Разрешение $\Delta\lambda$ , Å | Точность, % | Установка          | $h$ , км   | Калибровка                                                                                                                      |
|---------------------------------------|-----------------|------------------------------------------|--------------------------------|-------------|--------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E. T. Byram c. a. (1965) [28]         | 1960 г.         | 4115                                     | 70                             | 50          | R                  | ?          | Ионизационная камера                                                                                                            |
| A. M. Smith (1967) [3]                | 1965 г.         | 1376                                     | 100                            | 50          | S                  | 1100       | Ионизационная камера (ФЗУ + салицилат натрия)                                                                                   |
| C. B. Opal c. a. (1968) [36]          | 2.IX 1964 г.    | 1300—1800                                | 400                            | 45          | R                  | ?          | ?                                                                                                                               |
| R. C. Bless c. a. (1968) [37]         |                 | 2100, 2500, 2800                         | 300                            | 25          | R                  | 113        | Стандартная вольфрамовая лампа + салицилат натрия                                                                               |
| T. P. Stecher (1969) [18]             |                 | 2000—3000                                | 400                            | 30 (неопр.) | 4R                 | ?          | Ртутная лампа ( $\lambda 2537$ ), приведенная к стандартам NBS; доплер.— ионизационная камера                                   |
| R. E. Schild c. a. (1971) [25]        | —               | 3300—6000                                | 60                             | 5           | Наземные измерения |            | Черное тело                                                                                                                     |
| R. C. Bless c. a. (1972) [5]          | III 1971 г.     | 1370, 1385, 1565, 1915, 2090, 2460, 2920 | 200—300                        | 20          | R                  | 215        | По синхротрону                                                                                                                  |
| A. D. Code (1973) [8]                 | c XII 1968 г.   | 1050—2000<br>1800—3600                   | 40<br>20                       | 20          | OAO-2              | 770        | 1) Вольфрамовая лампа + салицилат натрия (предполетная — стандартные приемники);<br>2) ст. звезды, калиброванные по синхротрону |
| A. B. Underhill (1973) [38]           | c XII 1968 г.   | 1050—2000<br>1800—3600                   | 40<br>20                       | 15          | OAO-2              | 770        | Калибровка D. C. Evans (ионизационная камера)                                                                                   |
| R. C. Bohlin c. a. (1974) [39]        | 14.VII 1972 г.  | 1700—3400                                | 18                             | 15          | R                  | ?          | $\lambda \geq 2250$ Å — вольфрамовая лампа;<br>$\lambda < 2385$ Å — стандартные приемники (калибр. NBS), фотодиоды, ФЭУ         |
| R. C. Henry c. a. (1975) [41]         | XII 1972 г.     | 1180—1680                                | 14                             | 10          | «Apollo-17»        | ?          | Фотодиоды (калибр. NBS)                                                                                                         |
| C. M. Humphries c. a. (1975) [40]     | 1972 г.         | 1370—2536<br>2750                        | 37<br>300                      | 15          |                    | TD-4       | 550                                                                                                                             |
| A. M. Зверева, R. A. Эрме (1976) [35] | V 1968 г.       | 2275, 2740                               | 110, 120                       | 30          | (K-215)            | 426        | Стандартная вольфрамовая лампа + салицилат натрия                                                                               |
| R. C. Bless c. a. (1976) [7]          | c XII 1968 г.   | 4150—3800                                | 40, 20                         | 20          | OAO-2<br>R         | 770<br>215 | Стандартные приемники, калиброванные по синхротрону                                                                             |
| G. Courtes (1976) (частное сообщение) | c IX 1975 г.    | 1650, 2200                               | 300, 410                       | ?           | D2B                | ?          | Черенковский источник, калиброванный по синхротрону                                                                             |

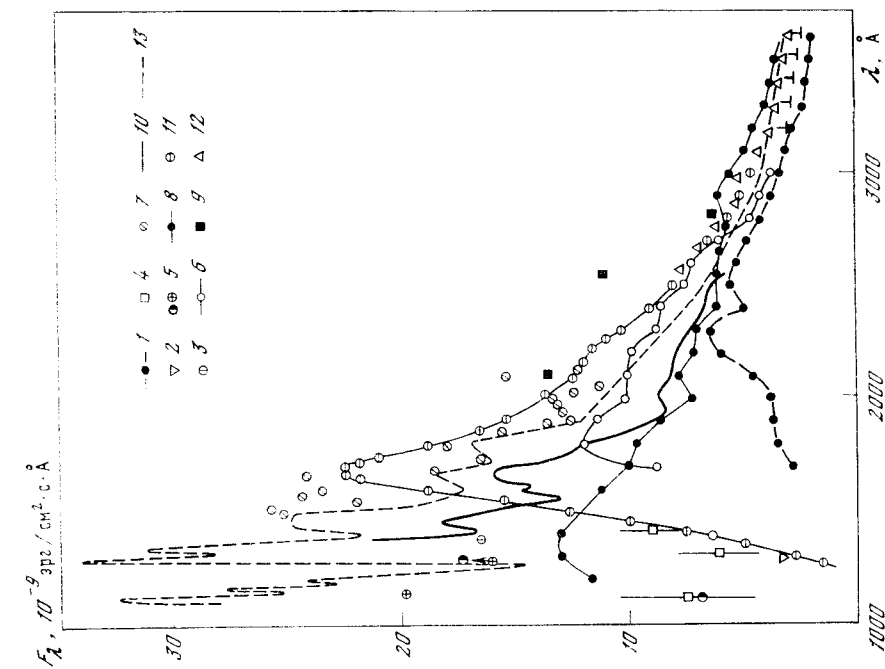


Рис. 1. Результаты абсолютных висатмосферных измерений  $\gamma$  Ori  
1 — Stecher, Milligan [1]; 2 — Chubb, Byram [21]; 3 — Smith [3]; 4 — Iamashita [2]; 5 — Carruthers [22, 23]; 6 — Stecher [18]; 7 — Stuart [24]; 8 — Evans [19]; 9 — Hoekstra, нит. [6]; 10 — Monfils, Wilson, нит. [6]; 11 — Hessberg [6]; 12 — Morgan [27]; 13 — Bless e. a. [7]

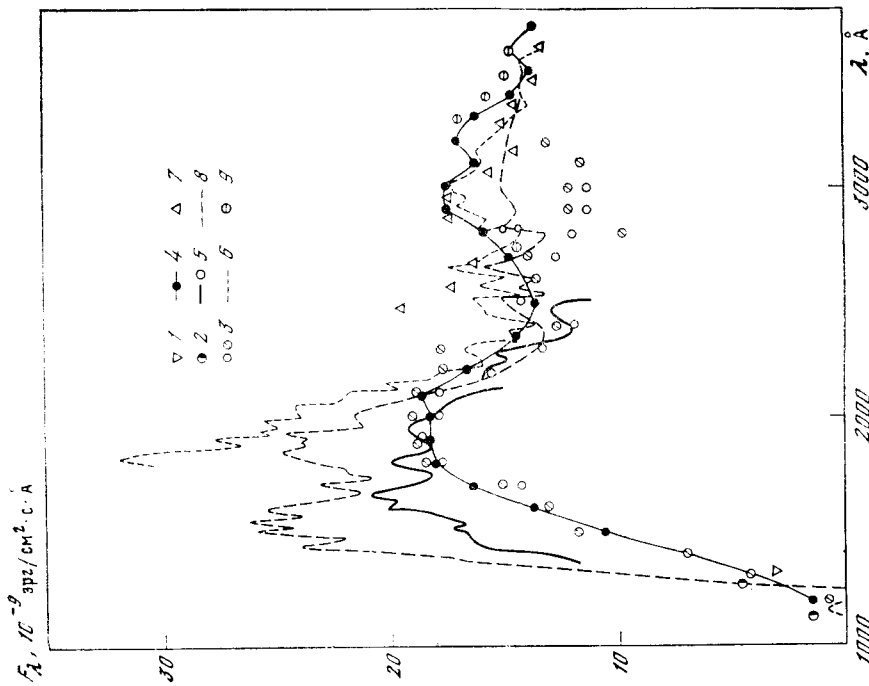


Рис. 2. Результаты абсолютных висатмосферных измерений  $\alpha$  CMa  
1 — Chubb, Byram [21]; 2 — Carruthers [22]; 3 — Stecher [18, 20]; 4 — Evans [19]; 5 — Beckmann e. a. [31]; 6 — Gros e. a. [30]; 7 — Spear e. a. [32]; 8 — Bless e. a. [7]; 9 — Schild e. a. [25]

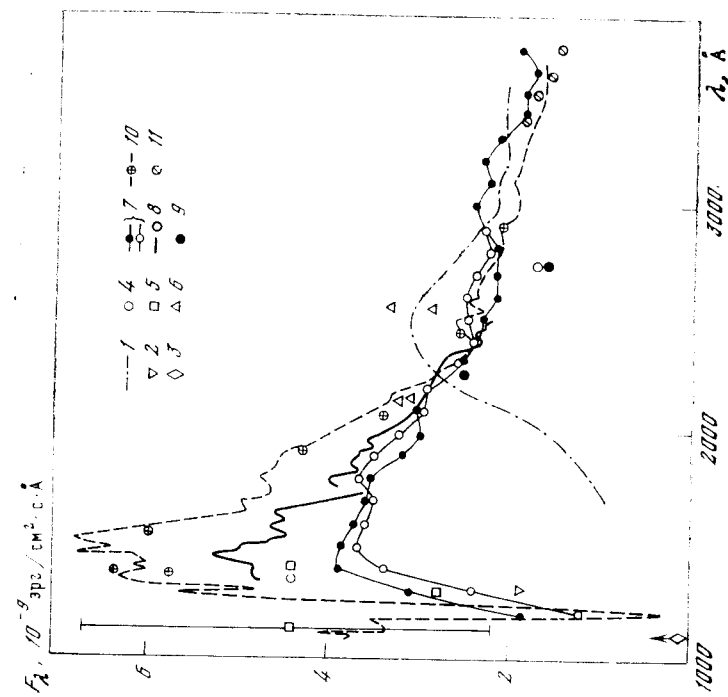
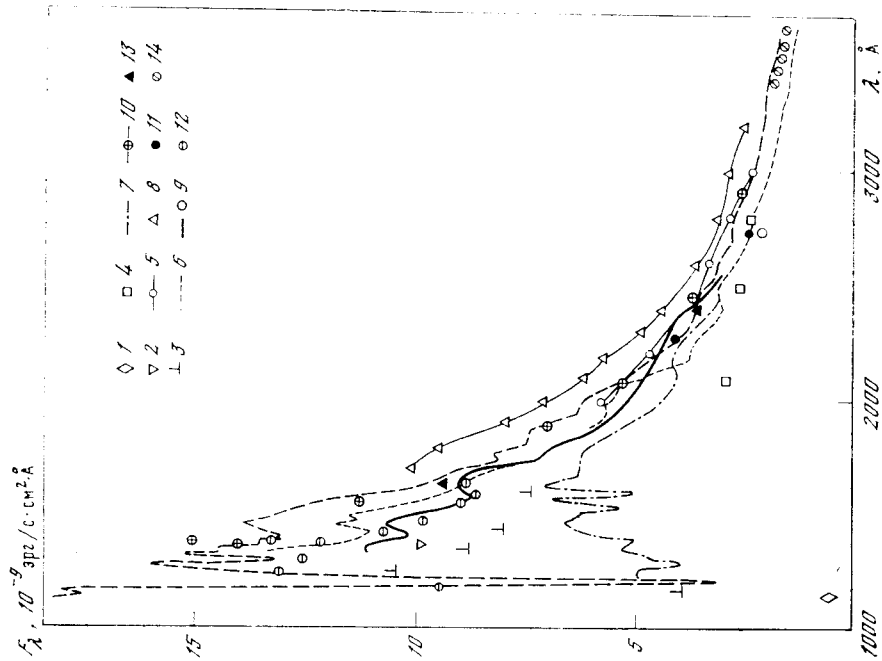


Рис. 3. Результаты абсолютных внеатмосферных измерений  $\alpha$  Leo  
1 — Stecher, Milligan [4]; 2 — Chubb, Byram [33]; 3 — Byram [28]; 4 — Smith [31]; 5 — Yamashita [2]; 6 — Campbell [34]; 7 — Evans [49]; 8 — Weckmann e. a. [31]; 9 — Зверева, Эарне [35]; 10 — Bless e. a. [7]; 11 — Schild e. a. [25]

Рис. 4. Результаты абсолютных внеатмосферных измерений  $\eta$  UMa

1 — Byram [28]; 2 — Smith [31]; 3 — Opal e. a. [36]; 4 — Bless e. a. [37]; 5 — Stecher [18]; 6 — Bless e. a. [51]; 7 — Underhill [38]; 8 — Bohlin e. a. [39]; 9 — Humphries e. a. [40]; 10 — Bless e. a. [7]; 11 — Зверева, Эарне [35]; 12 — Henry e. a. [41]; 13 — G. Courtes (частное сообщение); 14 — Schild e. a. [25]



[1]: эти данные показывают характерный загиб спектра в области  $\lambda 2500 \text{ \AA}$  как для  $\gamma \text{ Ori}$ , так и  $\alpha \text{ Leo}$ , хотя спектральные классы этих звезд разные: B2 III и B8 V. Второе распределение Стечера, полученное позже с идентичной аппаратурой [18], уже не отличается так резко от других измерений. Автор [18] считает, что ранние наблюдения, по-видимому, отягощены значительными ошибками калибровки (вклад рассеянного света) и неучетом остаточного поглощения атмосферой Земли.

В коротковолновой области ( $\lambda < 2000 \text{ \AA}$ ) начинается постепенное «расползание» данных и расхождения достигают 10 раз в области  $\lambda < 1300 \text{ \AA}$  для  $\gamma \text{ Ori}$  и 5 раз для других звезд. Здесь интересно отметить измерения Каррузерса [22, 23] (рис. 1). С одинаковой аппаратурой (ионизационные камеры) дважды проводились измерения в областях  $\lambda 1115$  и  $1270 \text{ \AA}$ . Результаты измерений в области  $\lambda 1115 \text{ \AA}$  различаются почти в 4 раза, хотя метод калибровки одинаковый. Автор [23] делает вывод: в первом случае изменилась чувствительность приемников и необходимо ввести множитель 4 для ранних измерений. Подобный вывод, скорее всего, не опирается на достоверные факты, а вытекает лишь из необъяснимого несоответствия результатов.

В общем оказывается, что для всех исследуемых звезд измерения ОАО-2 дают большие значения потоков. Для  $\gamma \text{ Ori}$  наибольшие значения потоков наблюдаются не только по данным ОАО-2, но и по измерениям Стюарта [24] и в области  $\lambda > 1600 \text{ \AA}$  Хесберга и соавторов [6]. Существенно, что все эти измерения опираются на разные методы абсолютной калибровки (синхротрон, ионизационная камера и дуга Болдта).

Одно из последних определений потоков для  $\gamma \text{ Ori}$ , выполненное с аппаратурой и калибровкой института Макса Планка [6], существенно нарушило в области  $\lambda < 1600 \text{ \AA}$  согласие наблюдаемых и теоретических значений, которое появилось в последнее время после измерений на ОАО-2 и TD-1. Результаты [6] получены на основании тщательно проведенного эксперимента (на двух ракетах получено 16 сканов звезды  $\gamma \text{ Ori}$  — единственного объекта наблюдений) и опираются на абсолютную калибровку по методу Болдта. Кроме того, проводилось сравнение калибровок стандартных ФЭУ, выполненных по вышеупомянутому способу, а также с помощью ионизационной камеры. Согласие калибровок заключено в пределах 30%.

Особо следует отметить измерения с помощью сканеров Висконсинского университета, установленных на ОАО-2. Полная предполетная калибровка аппаратуры проводилась традиционным методом с применением солицилата натрия за 18 месяцев до запуска. И лишь после того, как экспериментаторы убедились в фотометрической стабильности системы, было решено провести новую абсолютную калибровку по нескольким ярким ранним звездам, которые в свою очередь наблюдались как программные звезды на орбитальной обсерватории. С этого момента начинаются общие усилия групп Висконсинского университета и Космического центра Годдарда (GSFC), цель которых — запуск маленьких телескопов с фотометрами на ракетах «Аэроб» для измерения ультрафиолетовых потоков звезд, [5, 19]. Эти эксперименты позволили проводить калибровку измерительной аппаратуры в течение нескольких недель до и после полета. Группа из Висконсинского университета калибровала аппаратуру новым методом по синхротрону, группа из GSFC — по стандартам NBS (Национальное бюро стандартов США) с применением солицилата натрия. Первые наблюдения три звезды:  $\alpha \text{ Vir}$ ,  $\eta \text{ UMa}$ ,  $\alpha \text{ Leo}$ , вторые — четыре:  $\alpha \text{ Leo}$ ,  $\alpha \text{ CMa}$ ,  $k \text{ Ori}$ ,  $\gamma \text{ Ori}$ . Сравнение результатов для  $\alpha \text{ Leo}$  показало хорошее согласие в области  $\lambda > 2000 \text{ \AA}$ , в более коротковолновой области измерения Ивенса (GSFC) [19] меньше на 30—50%, что превышает ошибки обоих измерений. Не найдено никаких реальных источников систематических ошибок при перекалибровке аппаратуры после полета.

Существует интересный факт, связанный с ракетными измерениями

группы Висконсинского университета: в полосе  $\lambda 1900 \text{ \AA}$  по всем звездам наблюдалось падение потоков в 1,7 раза относительно интерполированного общего хода распределения. Предполетная и послеполетная калибровки фотометра хорошо согласуются, и окончательные данные в этой полосе были увеличены в 1,7 раза с учетом изменений чувствительности в космосе для этого фотометра.

Анализ каждого эксперимента в отдельности привел к выводу, что трудно найти объективные критерии, которые позволили бы выбрать однозначно лучший ряд наблюдений в области  $\lambda > 1500 \text{ \AA}$ . Можно лишь сказать определенно, что наблюдения Стечера и Миллигэна ошибочны в области  $\lambda < 2500 \text{ \AA}$ .

Если рассматривать совокупность данных для каждой звезды в отдельных длинах волны как ряд неравнооточных измерений, тогда средневзвешенные потоки лучше всего согласуются в основном с данными TD-1 (S2/68). Средневзвешенные значения потоков нельзя использовать в качестве стандартов из-за присутствия систематических ошибок, которые трудно учитывать [42]. Однако эти приближенные осредненные значения могут служить дополнительным критерием при выборе лучшего ряда наблюдений.

В области  $\lambda \leq 1500 \text{ \AA}$ , исходя из существующей в настоящее время точности абсолютных измерений, можно ожидать расхождения потоков не более чем в 2 раза. В действительности существуют различия в наблюдаемых УФ-потоках более 5 раз.

Одно из объяснений этого факта заключается в нереальной точности абсолютной калибровки, которая приводится в опубликованных исследованиях. Такое объяснение выдвинул Код [8]. Это предположение не лишено оснований, хотя, как нам кажется, для надежной точности абсолютной лабораторной калибровки, кроме абсолютных стандартов, одним из основных факторов является *точность воспроизведения реальных условий космических экспериментов*.

Вторая попытка объяснить существующие расхождения наблюдений в далекой УФ-области сводится к предположению переменности, связанной либо с излучением звезды, либо с межзвездным поглощением [6]. Эта возможность предполагалась конкретно для звезды  $\gamma \text{ Ori}$  в области  $\lambda \leq 1300 \text{ \AA}$ . В исследовании Хесберга и соавторов [6] показано, что данные, полученные в разных экспериментах, обнаруживают определенную переменность в  $\lambda 1120 \text{ \AA}$ , не очень уверенные изменения в  $\lambda 1300 \text{ \AA}$  и, наконец, в области  $\lambda 1400 \text{ \AA}$  временные изменения отсутствуют (вернее, не превосходят ошибок измерений).

В связи с этим представляет интерес провести аналогичное исследование для четырех выбранных звезд. На рис. 5—8 представлены для каждой звезды ультрафиолетовые потоки ( $\lambda \leq 1800 \text{ \AA}$ ), полученные в разные дни. Как уже говорилось, для  $\gamma \text{ Ori}$  в рассмотрение были включены дополнительные данные по ОЛО-2 и др., которые не учитывались в работе [6].

Из графиков видно, что для  $\lambda 1800 \text{ \AA}$  не существует флуктуаций потоков, превосходящих ошибки измерений. Исключение составляют данные по ранним измерениям (1960 г.), которым нельзя придавать большое значение ввиду возможной неточности абсолютной калибровки. Далее, с продвижением в сторону коротких длин волны временные флуктуации потоков заметно превышают ошибки измерений. Это позволяет утверждать, что такие изменения действительно имели место.

Из сравнения графиков рис. 5—8 можно заключить, что наблюдаемые потоки для разных звезд показывают почти синхронную переменность. Важно подчеркнуть, что завышенные оценки потоков получаются не только по данным ОЛО-2, а также и по другим измерениям [2, 23, 24]. Неожиданное сходство кривых для разных звезд свидетельствует об общей причине, вызывающей эти изменения. Если предположить, что временные

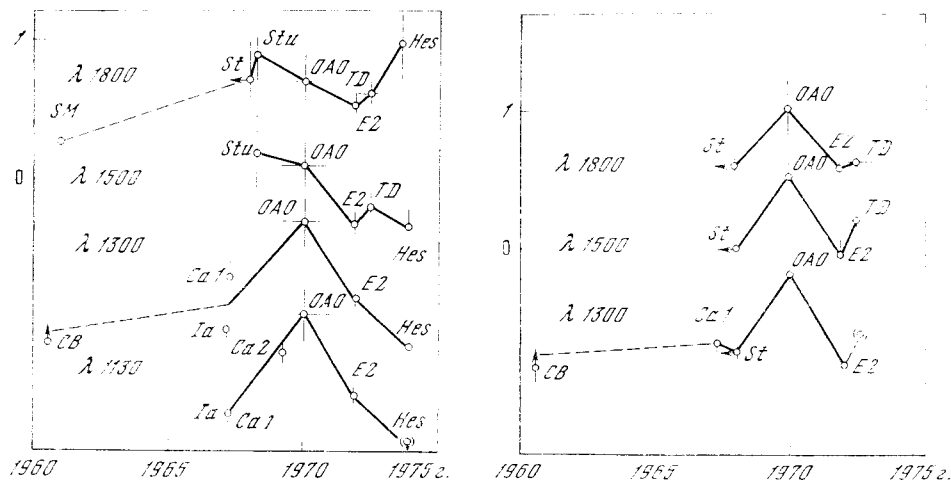


Рис. 5. Результаты измерений  $\gamma$  Ogi в разные моменты времени

SM — Stecher, Milligan [1]; CB — Chubb, Byram [21]; Ia — Iamashita [2]; Ca1 — Carruthers [22]; St — Stecher [18]; Stu — Stuart [24]; Ca2 — Carruthers [23]; OAO — Bless e. a. [7]; E2 — Evans [19]; TD — Monfils, Wilson, цит. [6]; Hes — Hessberg e. a. [6].

Потоки даны в единицах максимального значения для каждой длины волны

Рис. 6. Результаты измерений  $\alpha$  CMa в разные моменты времени

Обозначения см. рис. 5

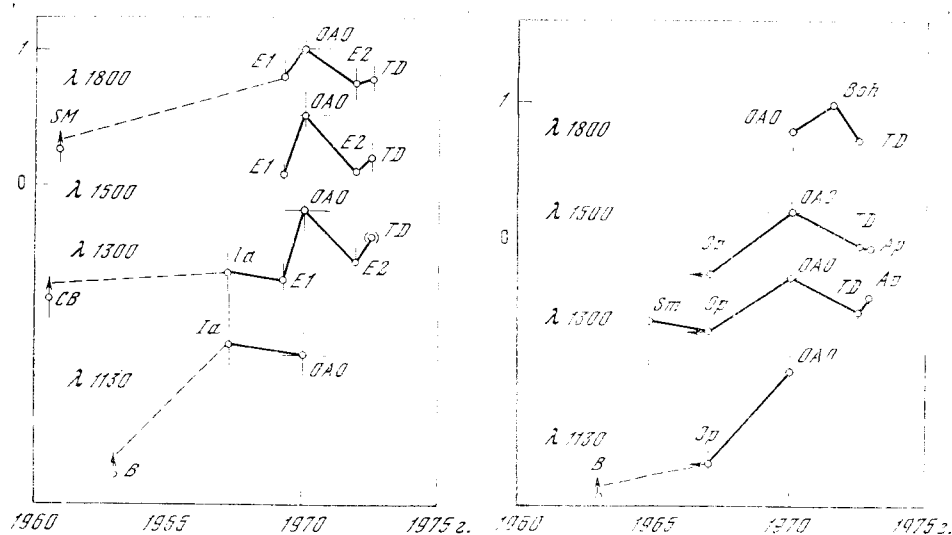


Рис. 7. Результаты измерений  $\alpha$  CMa в разные моменты времени

Обозначения см. рис. 5. B — Byram [28]

Рис. 8. Результаты измерений  $\eta$  UMa в разные моменты времени

Обозначения см. рис. 5. Sm — Smith [3]; Op — Opal e. a. [36]; Boh — Bohlin e. a. [39]; Ap — Henry e. a. [41]

изменения ультрафиолетовых потоков звезд связаны с флуктуациями межзвездного поглощения, тогда изменения в 5 раз в области  $\lambda 1300 \text{ \AA}$  соответствуют изменению в видимой области на  $\geq 0^m,22$ . Такие изменения в V-области для рассматриваемых звезд не наблюдаются. Оценка  $0^m,22$  получена согласно закону межзвездного поглощения  $E(U_\lambda - V) = X_\lambda E(B - V)$ , где коэффициент пропорциональности  $X_\lambda$  в  $\lambda 1300 \text{ \AA}$  может достигать значения  $\sim 8$  по данным OAO-2 [43, 44] и 5,7 — по дан-

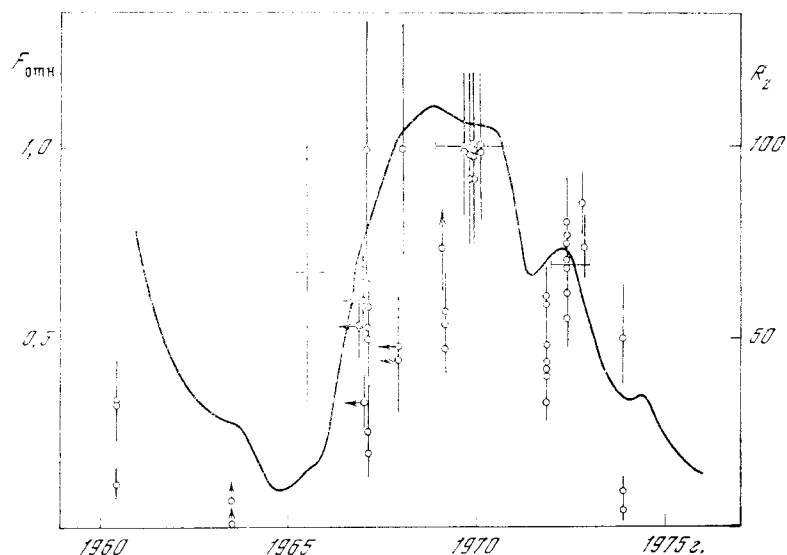


Рис. 9. Наблюдаемые УФ-потoki ( $\lambda \leq 1500 \text{ \AA}$ ) звезд  $\gamma$  Ori,  $\alpha$  CMa,  $\alpha$  Leo и  $\eta$  UMa (в относительных единицах) в разные моменты времени

Сплошная линия — сглаженная кривая солнечной активности в числах Вольфа —  $R_z$

ным TD-1 [45]. Таким образом, возможные объяснения переменности, упомянутые в [6], представляются маловероятными.

Наконец, естественно предположить, что причиной обнаруженных изменений ультрафиолетовых потоков звезд является изменение абсолютной чувствительности аппаратуры в космосе по сравнению с чувствительностью, определенной в лабораторных условиях. Тогда источником таких изменений могут быть радиационные условия в окрестностях Земли, которые в значительной мере зависят от солнечной радиации.

На рис. 9 показано изменение УФ-потоков в области  $\lambda \leq 1500 \text{ \AA}$  для всех звезд (для каждой звезды потоки даны в единицах максимального значения в этой области спектра). Там же нанесена сглаженная кривая солнечной активности в числах Вольфа (по боулдеровским данным). Как видно из рисунка, существует общая зависимость наблюдаемых значений потоков звезд в крайней УФ-области спектра от солнечной активности. Причем эта зависимость выявляется более уверенно в период 1970—1974 гг. Этот факт трудно объяснить с точки зрения нереальной точности измерений: методы калибровки аппаратуры разные, и различия калибровок должны распределяться случайным образом по времени.

Существуют неоднократные доказательства влияния электронов и протонов высоких энергий в районах радиационных поясов Земли на отсчеты темнового тока измерительной аппаратуры [46—48], а также на наблюдаемые УФ-потоки [49]. Кроме этого отмечалось сильное увеличение темнового тока после протонной вспышки на Солнце [46], когда ОАО-2 находилась вне радиационных поясов Земли. В предварительном сообщении о голландском спутнике ANS [49] показана заметная реакция аппаратуры в области  $\lambda 3300 \text{ \AA}$  при прохождении спутника в районе Южной Атлантической аномалии, несмотря на то что принимались специальные меры для защиты ФЭУ от воздействия радиационных поясов. По-видимому, существуют и другие искажающие факторы, действующие на аппаратуру в далеком ультрафиолете, кроме флуоресценции и фосфоресценции входных окон ФЭУ [48]. Необходимы дальнейшие исследования для выяснения этого вопроса.

## Выводы

1. Звезды  $\gamma$  Ori,  $\alpha$  CMa,  $\alpha$  Leo и  $\eta$  UMa можно использовать в качестве абсолютных энергетических стандартов в области спектра  $\lambda > 1500$  Å. Фотометрическая система TD-1, по-видимому, лучше других пригодна для абсолютных энергетических привязок.

2. В области  $\lambda \leq 1500$  Å указанные звезды в настоящее время нельзя использовать в качестве стандартов. Данные в этой области спектра, возможно, искажены влиянием солнечной радиации на чувствительность измерительной аппаратуры в космосе. Существующая неопределенность в УФ-потоках звезд указывает на необходимость новых экспериментов в этой области.

В заключение автор выражает благодарность А. Б. Северному и В. Б. Никонову за полезные советы и обсуждение работы.

Ноябрь 1976 г.

## Л и т е р а т у р а

1. Stecher T. P., Milligan J. E. *Astrophys. J.*, 1962, 136, 1.
2. Yamashita K. *Astrophys. Space Sci.*, 1968, 2, 4.
3. Smith A. M. *Astrophys. J.*, 1967, 147, 158.
4. Code A. D. e. a. *Astrophys. J.*, 1970, 161, 377.
5. Bless R. C. e. a. The scientific results from the OAO-2. A. D. Code (Ed.). NASA SP-310, 1972, p. 361.
6. Hessberg H. e. a. *Astron. and Astrophys.*, 1975, 42, 395.
7. Bless R. C. e. a. *Astrophys. J.*, 1976, 203, 410.
8. Code A. D. IAU Sympos. N 54, Problems of Calibration of Absolute Magnitudes and Temperature of Stars, 1973, p. 131.
9. Oke J. B., Schild R. E. *Astrophys. J.*, 1970, 161, 1015.
10. Hayes D. C., Latham D. W. *Astrophys. J.*, 1975, 197, 593.
11. Харитонов А. В., Терещенко В. М. *Астрон. циркул.* 1972, № 686.
12. Davis R. J. SAO Special Rept, 1968, N 282.
13. Wilson R., Boksenberg A. *Annual Rev. Astron. Astrophys.*, 1969, 7, 421.
14. Bless R. C. IAU Sympos. N 36, 1970, p. 73.
15. Bless R. C. *Astrophys. J.*, 1968, 153, 545.
16. Boldt G. IAU Sympos. N 36, 1970, p. 5.
17. McWhirter R. M. P. IAU Sympos. No 41, 1971, p. 369.
18. Stecher T. P. *Astron. J.*, 1969, 74, 18.
19. Evans D. C. NASA SP-310, 1972, p. 347.
20. Boksenberg A. e. a. *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1973, 163, 291.
21. Chubb T. A., Byram E. T. *Astrophys. J.*, 1963, 138, 617.
22. Carruthers G. R. *Astrophys. J.*, 1968, 151, 269.
23. Carruthers G. R. *Astrophys. Space Sci.*, 1969, 5, 382.
24. Stuart F. E. *Astrophys. J.*, 1969, 157, 1255.
25. Schild R. E., Peterson D. M., Oke J. B. *Astrophys. J.*, 1971, 166, 95.
26. Харитонов А. В., Терещенко В. М. *Труды Астрофиз. ин-та АН КазССР*, 1971, 17, 40.
27. Morgan T. H. *Astrophys. J.*, 1975, 197, 371.
28. Byram E. T. e. a. *Ann. Astrophys.*, 1965, 28, 594.
29. Stecher T. P. *Astrophys. J.*, 1970, 159, 543.
30. Gros M. e. a. *Astron. and Astrophys.*, 1973, 27, 167.
31. Beeckmans F. e. a. *Astron. and Astrophys.*, 1974, 33, 93.
32. Spear G. G. e. a. *Astrophys. J.*, 1974, 192, 615.
33. Chubb T. A., Byram E. T. *Space Res.*, 1963, 3, 1046.
34. Campbell J. W. *Astrophys. and Space Sci.*, 1970, 9, 128.
35. Зеерева А. М., Эрме К. А. *Изв. Крымской астрофиз. общ.*, 1976, 55, 200.
36. Opal C. B. e. a. *Astrophys. J. Letters*, 1968, 153, L. 179.
37. Bless R. C. e. a. *Astrophys. J.*, 1968, 153, 557.
38. Underhill A. B. *Astron. and Astrophys.*, 1973, 25, 175.
39. Bohlin R. C. e. a. *Astron. and Astrophys.*, 1974, 30, 127.
40. Humphries C. M. e. a. *Astrophys. J.*, 1975, 195, 111.
41. Henry R. C. e. a. *Astrophys. J.*, 1975, 201, 613.
42. Никонов В. Б., Терез Э. И. *Изв. Крымской астрофиз. общ.*, 1976, 54, 35.
43. Bless R. C., Savage B. D. NASA SP-310, 1972, p. 175.
44. Savage B. D. *Astrophys. J.*, 1975, 199, 92.
45. Nandy K. e. a. *Astron. and Astrophys.*, 1976, 51, 63.
46. McNall J. F. NASA SP-310, 1972, p. 81.
47. Rogerson B. e. a. *Astrophys. J. Letters*, 1973, 181, L. 97.
48. Viehmann W. e. a. *Appl. Opt.*, 1975, 14, N 9, 2104.
49. Duinen R. J. e. a. *Astron. and Astrophys.*, 1975, 39, 159.

ИЗЛУЧЕНИЕ ЯДРА СЕЙФЕРТОВСКОЙ ГАЛАКТИКИ NGC 4151  
В ЛИНИЯХ  $\lambda 4959$  И  $5007 \text{ \AA}$  [O III]

В. И. Проник

Приводятся результаты детальной фотометрии изображения линии  $\lambda 4959 \text{ \AA}$  [O III] на нерасширенных спектрах ядра NGC 4151. Спектры получены на 2,6-метровом телескопе с угловым разрешением  $\sim 1''$  и спектральным разрешением  $0,8 \text{ \AA}$  при позиционном угле щели  $25^\circ$ . Обнаружено, что главная деталь линии — центральное сгущение (деталь I на рис. 2) — имеет размер около  $3''$  в направлении, перпендикулярном дисперсии, и около  $160 \text{ км/с}$  вдоль дисперсии. Отмечается отсутствие в линиях  $\lambda 4959$  и  $5007$  [O III] четко выраженного ядра размером  $1''$  в противоположность тому, что наблюдается в интегральном свете. Показано, что асимметрия линий  $\lambda 4959$  и  $5007$  [O III] (приподнятость фиолетового крыла) в NGC 4151 обусловлена наличием вблизи ядра газа, имеющего отрицательную лучевую скорость. Максимальные скорости (до  $\pm 300 \text{ км/с}$ ) наблюдаются вне ядра на расстояниях  $2\text{--}3''$  от него. Наклон линии, обусловленный расположением отдельных деталей, соответствует вращению газа в околоядерной области со скоростью  $200 \text{ км/с}$  на расстоянии  $1''$ , или  $50 \text{ пс}$  от ядра.

THE RADIATION OF THE NUCLEUS OF SEYFERT GALAXY NGC 4151 IN THE LINES  $N_1, N_2$  [O III], by V. I. Pronik. — The results of detail photometry of  $\lambda 4959 \text{ \AA}$  [O III] line image on the untrailed spectrograms of nucleus of NGC 4151 are given. The spectra have been taken on 2,6-m telescope with a spectral resolution of  $0.8 \text{ \AA}$  and angular resolution of 1 second of arc. The slit passed across the nucleus in the position angle  $25^\circ$ . It is found, that the main detail of the line image — the central condensation (detail I on the fig. 2) — has dimension about 3 second of arc in the direction perpendicular to the dispersion, and about  $160 \text{ km/s}$  — along the dispersion. The absence of clear nucleus ( $d \sim 1$  second of arc) of galaxy in  $N_1, N_2$  [O III] radiations is noted as opposed to what we observed in the integral light. It is shown that the observed asymmetry of  $N_1, N_2$  [O III] lines (relative higher blue wing) is due to the gas in nuclear region with a negative radial velocity. The maximal velocities — up to  $\pm 300 \text{ km/s}$  — are observed outside the nucleus on the distances of  $2\text{--}3$  second of arc from the nucleus. The slope of the line corresponds to the rotation of gas in the vicinity of the nucleus with the velocity about  $200 \text{ km/s}$  on 1 second of arc distance from the nuclear center.

Оптические наблюдения ядер сейфертовских галактик позволили определить следующую типичную схему ядра [1]. Наименьшую центральную область, размером  $\sim 10^{15} \text{ см}$ , занимает плазма, излучающая переменный континуум; размеры области оцениваются по характерному времени переменности континуума ( $t \sim 10 \div 15$  дней [2]) и скорости распространения возбуждающего агента или расширения плазмы ( $v \sim 10^9 \div 3 \cdot 10^{10} \text{ см/с}$ ). Широкая водородная эмиссия возникает в газе с плотностью  $n_e \sim 10^8 \text{ см}^{-3}$  и размером  $\sim 10^{16} \text{ см}$ . В следующих более паружных областях, условно названных зонами [O III] и [O II], плотность газа меньше, и там возможно излучение запрещенных линий. Плотность газа в этих зонах ( $n_e \sim 10^6 \div 10^3$ ) оценивается по соотношению интенсивностей запрещенных линий, а

размеры ( $d \sim 10^{17} \div 10^{19}$  см) — по наблюдаемым светимостям в этих линиях. Следует отметить, что образование размером  $10^{19}$  см еще очень мало по сравнению с линейным размером элемента разрешения ( $\sim 1''$ ), который для ближайших четырех сейфертовских галактик (NGC 1068, 3227, 4051 и 4151) составляет примерно  $1,5 \cdot 10^{20}$  см. Поэтому структуру таких ядер, центральных областей диаметром 50 пс, можно получить только из анализа интенсивностей и контуров линий различных ионов. Очень важно знать, что используемые для этой цели запрещенные линии образуются именно в ядре ( $d \sim 1''$ ), а не в окружающей его области. Например, в случае NGC 1068 ширины линий, как и их интенсивности, целиком относятся к околоядерной области. Зарисовка формы линий на пераспиренных спектрах, сделанная Уокером [3], свидетельствует о практически полном отсутствии эмиссии в ядре ( $d \sim 1''$ ) NGC 1068.

Гораздо сложнее обстоит дело с интерпретацией спектра и контуров линий в NGC 4151. Наличие газа вблизи ядра NGC 4151 отмечалось Уокером [4] и Ульрих [5]. Известны скорости движений этого газа [5]. Однако поскольку оставалась неизвестной его яркость, то невозможно было оценить по расширенным спектрограммам, какая часть излучения запрещенных линий и их контура принадлежит ядру, а какая — околоядерной области.

С целью выяснения этого вопроса нами проведена фотометрия линий  $N_1$ ,  $N_2$  [O III] на пераспиренных спектрах ядра NGC 4151.

### 1. Наблюдения и обработка спектрограмм

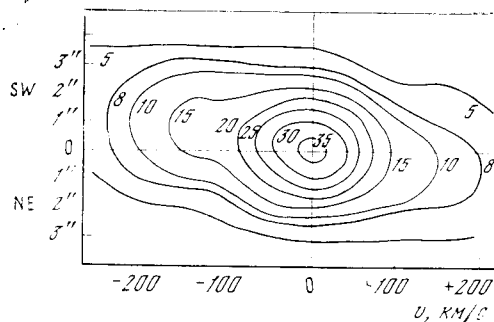
Фотографирование спектров ядра NGC 4151 велось на спектрографе СП-110 в фокусе Нэсмита 2,6-м телескопа Крымской астрофизической обсерватории, на фотопластинках 103aD с дисперсией 38 Å/мм. Масштаб изображения в фокальной плоскости камеры составляет 50''/мм. 2, 8 и 9.V 1976 г. получено три пераспиренных спектра с экспозициями соответственно 2, 5 и 6 ч. Турбулентный диск звезды  $13^m$  в эти ночи имел диаметр  $\lesssim 1''$ . Ошибки гидирования не превышали  $0''.25 - 0''.30$ . Ширина щели спектрографа равнялась 0,1 мм, что соответствовало  $0''.5$  на небе и 10 мкм на фотоэмульсии (при больших экспозициях ширина инструментального контура увеличивалась до 20 мкм). Щель спектрографа проходила строго через ядро галактики и была ориентирована по позиционному углу  $\sim 25^\circ$ .

На спектрограммах наибольшую плотность почернения имеют линии  $N_1$ ,  $N_2$  [O III],  $\lambda 3727$  [O II],  $\lambda 3869$  [Ne II],  $H_\gamma$  и  $\lambda 4363$  Å [O III]. Последние две линии в виде точек с широкими крыльями видны на «нитке» непрерывного спектра. Непрерывный спектр звездообразного ядра заметен только на спектрах, полученных с большой экспозицией, в области длин волн короче 4500 Å. Отсутствие следов непрерывного спектра в области линий  $N_1$ ,  $N_2$  [O III] делает их удобными для фотометрирования.

Фотометрирование проводилось последовательными сканированиями изображения линии с квадратной щелью микрофотометра, выделяющей на фотоэмульсии площадку размером  $20 \times 20$  мкм. Таким образом, элемент разрешения вдоль дисперсии и в перпендикулярном направлении определялся размерами диафрагмы фотометра и равнялся соответственно 33 км/с и  $1''$ .

### 2. Структура линии 4959 [O III] и движение газа вблизи ядра

На рис. 1 приведены изофоты изображения линии  $\lambda 4959$  Å [O III], полученные в результате усреднения измерений двух спектрограмм; основные детали линии показаны схематически на рис. 2. Детали, обозначенные римскими цифрами, мы отождествляем с деталями, которые были выделены Ульрих [5], и поэтому сохраняли за ними их прежние обозначения, введенные в [5]. Упомянутая в [5] деталь III на наших спектрах



**Рис. 1.** Изофоты изображения линии  $\lambda 4959$  [O III] на спектрах, полученных без расширения

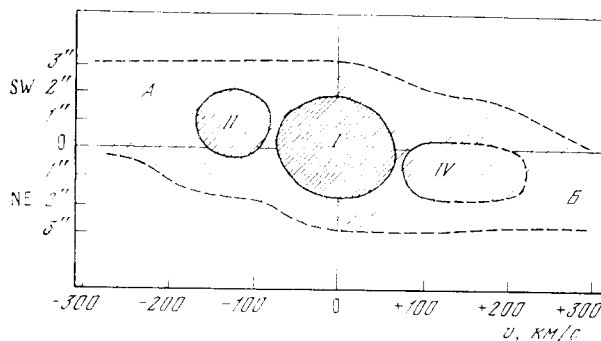
Позиционный угол щели  $\sim 25^\circ$ . Размеры элемента разрешения, даваемого оптикой спектрографа, совпадают с размерами диафрагмы фотометра и равны  $0,75 \text{ \AA}$ , или  $33 \text{ км/с}$ , вдоль дисперсии и  $1''$  в перпендикулярном направлении

не заметна. Вместе с тем выделенная в [5] обширная область как одна деталь II по нашей интерпретации включает в себя две компоненты: четкое яркое ядро, которое на рис. 2 обозначено цифрой II, и широкую протяженную полосу, обозначенную буквой A.

Главной структурной деталью линии является центральное сгущение I размером до  $3''$  в направлении, перпендикулярном дисперсии, и шириной примерно  $160 \text{ км/с}$  (от  $-80$  до  $+80 \text{ км/с}$ ) вдоль дисперсии. Все скорости даются в системе координат, движущейся с галактикой. Следующая по яркости деталь II находится юго-западнее ядра, на расстоянии  $\sim 1''$  от него. Ее максимальная поверхностная яркость примерно в 2 раза слабее яркости центрального сгущения I, а лучевая скорость равна  $-140 \text{ км/с}$ . Симметрично по другую сторону ядра, примерно на таком же расстоянии, имеется аналогичная, только более слабая и вытянутая вдоль дисперсии конденсация IV. Она имеет размер около  $1''.5$  и ограничена скоростями  $\pm 100 - \pm 200 \text{ км/с}$ . Граница со стороны больших положительных скоростей неувверенна.

Наиболее яркие части конденсаций II и IV вместе с центральным сгущением I лежат на одной прямой. Если наклон этой прямой к линии дисперсии вызван вращением, то градиент скорости вращения составляет  $\sim 200 \text{ cosec } i \text{ км/с/1''}$  (для NGC 4151  $i = 50^\circ$ ), где  $i$  — угол наклона оси вращения всей системы к лучу зрения.

Характерной особенностью изображения линии являются широкие полосы — крылья, свидетельствующие о наличии больших скоростей в газе на расстоянии  $2-3''$  по обе стороны от ядра. Они тянутся вдоль дисперсии от нулевой скорости в сторону отрицательных скоростей — на юго-западном краю спектра (деталь A) и в сторону положительных скоростей — на северо-восточном краю спектра (деталь B). Наличие таких полос, как и вытянутой детали IV, в изображении линии трудно объяснить движениями газа, происходящими в тонком диске. Чисто радиальные движения со сферической симметрией (разлет облаков или расширение оболочки) также не в состоянии объяснить наблюдаемую картину: отсутствуют положительные скорости на юго-западном краю спектра и отрицательные на северо-восточном. Только вращение слоя газа большой линейной толщины,



**Рис. 2.** Схематическая зарисовка линии с обозначениями отдельных деталей

Детали I, II, и IV отождествляются с деталями, выделенными Ульрих [5], поэтому за ними сохранились прежние обозначения, введенные в [5]. Деталь IV, возможно, тянется дальше в сторону положительных скоростей

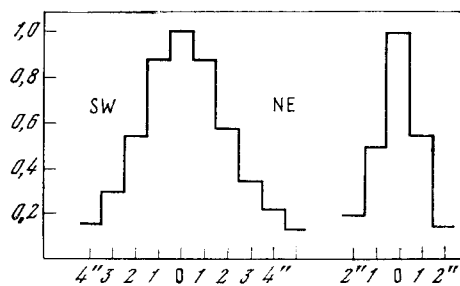
сравнимой или превышающей лишённые размеры околоядерной области в картинной плоскости, может дать наблюдаемое изображение линии<sup>1</sup>. Это обстоятельство служит дополнительным аргументом в пользу вращательного движения газа вблизи ядра NGC 4451 [6].

### 3. Вклад ядра в излучение и контур линий $N_1$ , $N_2$ [O III]

Несмотря на то что все спектры получены в ночи с изображениями  $\leq 1''$  и гидирование велось очень тщательно, центральное сгущение в линиях  $N_1$ ,  $N_2$  [O III] на спектрограммах имеет размер около  $3''$ . На рис. 3 показан фотометрический разрез ядра в линии  $4959 \text{ \AA}$  для позиционного угла  $\sim 25^\circ$ . Он получен в результате интегрирования интенсивности излучения по всем скоростям для каждого участка щели длиной в  $1''$ . Для сравнения на этом же рисунке показан фотометрический разрез полосы непрерывного спектра около линии  $H_\gamma$ . Рис. 3 показывает, что наблюдаемый размер ядра галактики в непрерывном спектре гораздо меньше размера ядра в линии  $4959 \text{ \AA}$ . Нами были просмотрены также репродукции спектрограмм,

**Рис. 3.** Фотометрический разрез ядра NGC 4451 в линии  $\lambda 4959$  [O III] — результат интегрирования интенсивности по всем скоростям внутри каждой секунды дуги

Справа показан фотометрический разрез полосы непрерывного спектра в районе линии  $H_\gamma$



опубликованные Ульрих [5]. Согласно [5], эти спектры фотографировались в ночи с достаточно хорошими изображениями ( $1-1''$ , 5), а элемент разрешения всей системы «оптика спектрографа + ЭОП» составлял  $40 \text{ мкм}$ , или  $0''.5$ . Тем не менее, даже на спектрах с минимальными экспозициями размер центрального сгущения линии  $4959 \text{ \AA}$  составляет не меньше  $2''.5$ . Таким образом, вклад ядра (центральной области диаметром  $\sim 1''$ ) в общее излучение запрещенных линий  $N_1$  и  $N_2$  [O III] невелик.

Коль скоро излучение ядра в линиях  $N_1$ ,  $N_2$  [O III] мало, то ничего определенного нельзя сказать о контуре этих линий в ядре и тем самым о скоростях движения газа в нем; наблюдаемый контур целиком относится к околоядерной области. В свете этого простое объяснение получает асимметрия контура линий [O III], которая хорошо заметна на записях спектра, приведенных в [7]. Усиление фиолетового крыла линий  $\lambda 4959$  и  $5007 \text{ \AA}$  обусловлено большим вкладом в суммарное излучение этих линий яркой конденсации II и полосы A (см. рис. 1 и 2), имеющих отрицательную лучевую скорость.

На рис. 4 приведен интегральный контур линии  $\lambda 4959 \text{ \AA}$  [O III], полученный в результате интегрирования интенсивности излучения в линии по всей высоте спектра для каждого интервала скорости, величиной  $33 \text{ км/с}$ . Основной вывод, касающийся контура запрещенных линий, заключается в том, что крылья этих линий образуются не в ядре, как предполагалось ранее [8], а обусловлены движением газа, находящегося в его окрестности. Совершенно очевидным является то, что наблюдать такие окрестности

<sup>1</sup> Автор выражает признательность А. А. Стеняну, указавшему на возможность такого объяснения.

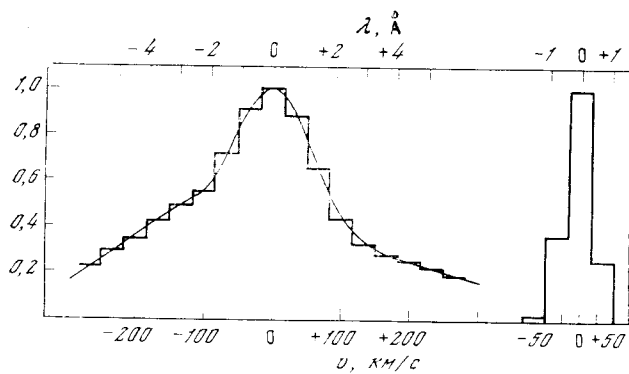


Рис. 4. Интегральный контур линии  $\lambda 4959$  [O III], усредненный по всей высоте щели длиной  $5''$

Такое усреднение равнозначно расширению спектра во время фотографирования движением объекта вдоль щели спектрографа. Справа приведен инструментальный контур, полученный по линиям спектра сравнения

можно только в ближайших сейфертовских галактиках. Второй не менее важный вывод заключается в том, что независимо от характера движения газа вблизи ядра (вращение или радиальный разлет) скорость газа увеличивается с увеличением расстояния от ядра. По-видимому, решение проблемы сложных контуров эмиссионных линий ядер активных галактик следует искать не в привлечении таких механизмов расширения линий, как электронное рассеяние квантов [8] или перезарядка [9], а в сложной кинематической структуре этих образований.

Поябрь 1976 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Проппик В. П. *Астрофизика*, 1977, 13, вып. 1, 51.
2. Лютий В. М. *Астрон. ж.*, 1976, 54, X 6.
3. Walker M. F. *Astrophys. J.*, 1968, 151, 71.
4. Walker M. F. *Astron. J.*, 1968, 73, 854.
5. Ulrich M.-H. *Astrophys. J.*, 1973, 181, 51.
6. Anderson K. S. *Astrophys. J.*, 1974, 187, 445.
7. Boksenberg A., Shortridge K., Allen D. A., Fosbury R. A., Penston M. V., Savage A. *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1975, 173, 381.
8. Kaneko N., Ohtani H. *Astron. J.*, 1968, 73.
9. Ptack R., Storer R. E. *Astrophys. J.*, 1973, 185, 421.

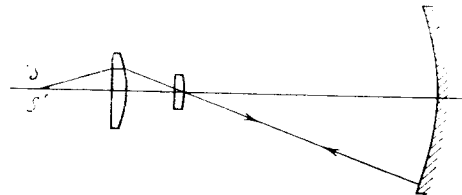
**МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОМПЕНСАТОРА ОФФНЕРА  
ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВОГНУТЫХ АСФЕРИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ****Г. М. Попов, М. Б. Попова**

Рассмотрены некоторые методы контроля вогнутых асферических зеркал компенсационным методом. Описана сравнительно простая, не требующая применения ЭВМ методика расчета компенсатора Оффнера. Рассчитан ряд вариантов компенсатора Оффнера, что обеспечивает контроль вогнутых зеркал системы Ричи — Кретьена, в большинстве случаев, встречающихся на практике.

METHOD OF DESIGNING OF THE OFFNER COMPENSATOR FOR TESTING OF CONCAVE ASPHERIC MIRRORS, by G. M. Popov, M. B. Popova.— Some methods of testing of concave aspheric mirrors by means of compensation method are discussed. Comparatively simple method of designing of the Offner compensator is described, which does not require using a computer. A several Offner compensators are calculated to match concave mirrors for the most wide spread Ritchey — Chretien systems.

Вогнутые асферические зеркала, имеющие форму конических сечений, широко применяются в астрономической оптике и лабораторных приборах. Контроль этих зеркал в процессе изготовления удобно производить компенсационными оптическими методами, основанными на принципе компенсации сферической аберрации испытываемого зеркала аберрацией специально рассчитанной оптической системы. Одним из первых компенсационных методов явился метод Максутова [1], по которому сферическая аберрация испытываемого зеркала исправляется вогнутым сферическим зеркалом, работающим в автоколлимации. Метод использовался в ЛОМО для контроля больших параболических зеркал, включая зеркало телескопа диаметром 2,6 м. Попытка применить этот метод для контроля главного зеркала телескопа БТА диаметром 6 м оказалась малоудачной, так как трудности изготовления, разгрузки и контроля вспомогательного компенсационного зеркала (диаметр его составил 2,6 м) оказались столь значительными, что требуемую точность поверхности компенсационного зеркала получить не удалось. Значительным недостатком метода Максутова является также неудобное положение источника света и изображения — они находятся между зеркалами. Точность поверхности компенсационного зеркала должна быть весьма высокой — по крайней мере вдвое точнее допуска на испытываемое зеркало. От этих недостатков свободны линзовые компенсационные методы. Методы Дадла и Росса [2, 3] используют положительную линзу, расположенную вблизи центра кривизны испытываемого зеркала; однако, как показали наши исследования, эти методы не дают возможности контролировать светосильные зеркала большого диаметра [4]. Целесообразно использовать эти методы при относительных отверстиях зеркал порядка (1 : 5) — (1 : 6) и менее. Росс [3] обошел это затруднение, дополнив линзу асферической пластиной, исправляющей остаточную аберрацию схемы; этот компенсатор использовался для контроля

параболического зеркала диаметром 5 м с относительным отверстием 1 : 3,3, установленного в телескопе на горе Паломар (США). Компенсатор, состоящий из мениска с асферическими поверхностями, предложил Пурьев [5]. Недостаток этого компенсатора — трудности изготовления и контроля поверхностей мениска. Компенсатор Лобачева состоит из трех линз, помещенных вблизи центра кривизны испытуемого зеркала. Он успешно использовался для контроля крупнейшего в мире параболического зеркала телескопа БТА диаметром 6 м с относительным отверстием 1 : 4. Недостатками компенсатора Лобачева являются трудности изготовления и юстировки линз значительного диаметра.



Оптическая схема контроля вогнутого зеркала с помощью компенсатора Оффнера

Наибольшее распространение для контроля зеркал крупных телескопов получил компенсатор Оффнера [6] (см. рисунок), состоящий из двух линз сравнительно небольшого диаметра, но разделенных значительным воздушным промежутком. Линза-коллектив компенсатора Оффнера не влияет практически на aberrацию третьего порядка, но позволяет воздействовать на aberrацию высших порядков и получить весьма хорошее исправление остаточной сферической aberrации системы. Однако методы расчета компенсатора Оффнера мало разработаны, что затрудняет его применение. Опишем сравнительно простую методику расчета компенсатора Оффнера, не требующую применения сложной вычислительной техники (ЭВМ).

Поскольку компенсатор Оффнера имеет только сферические поверхности и достаточно рассчитать схему (см. рисунок) лишь на сферическую aberrацию на оси системы, можно использовать сравнительно простые расчетные формулы, приведенные в [7]. В случае системы из двух линз эти выражения принимают вид

$$P' = K' / \sin u', \quad (1)$$

где  $P'$  — расстояние от центра кривизны последней поверхности системы до точки пересечения луча с осью;  $u'$  — угол луча, вышедшего из системы, с оптической осью;  $K'$  — оптическое расстояние от центра кривизны последней поверхности до луча.

Выражение для  $u'$  будет

$$\begin{aligned} u' = & \arcsin \frac{H_1}{P} + \arcsin \frac{H_1}{n_1 r_1} - \arcsin \frac{H_1}{r_1} + \\ & + \arcsin \frac{H_1 + a_1 n_1 \sin u_2}{r_2} - \arcsin \frac{H_1 + a_1 n_1 \sin u_2}{n_1 r_2} + \\ & + \arcsin \frac{H_2 + a_2 \sin u_3}{n_2 r_3} - \arcsin \frac{H_2 + a_2 \sin u_3}{r_3} + \\ & + \arcsin \frac{H_3 + a_3 n_2 \sin u_4}{r_4} - \arcsin \frac{H_3 + a_3 n_2 \sin u_4}{n_2 r_4}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $P$  — расстояние от центра кривизны первой поверхности до предмета (т. е. точки  $S$ );  $a_1, a_2, a_3, a_4$  — расстояния между центрами кривизн соседних поверхностей системы, они связаны с толщинами  $d$  и радиусами кривизны поверхностей  $r$  формулой

$$a_i = r_{i+1} - r_i + d_i, \quad i = 1, 2, 3. \quad (3)$$

Угол  $u_2$  равен сумме первых трех членов в выражении для  $u'$ , угол  $u_3$  — сумме первых пяти членов, и  $u_4$  — сумме первых семи членов в выражении

для  $u'$ ; величины  $H_2$  и  $H_3$  определяются формулами

$$H_2 = H_1 + a_1 n_1 \sin u_2; \quad H_3 = H_2 + a_2 \sin u_3. \quad (4)$$

Соответствующие параксиальные величины могут быть вычислены по аналогичным формулам, по путем замены тригонометрических функций углами.

Продольная сферическая aberrация, вносимая компенсатором в прямом ходе лучей (точечный источник света находится в точке  $S$ , см. рисунок), равна

$$\Delta s' = P' - \bar{P}', \quad (5)$$

где  $\bar{P}'$  — параксиальный отрезок, соответствующий  $P'$ . Для компенсации сферической aberrации схемы (см. рисунок) сферическая aberrация, вносимая компенсатором, должна быть равна aberrации нормалей испытуемого зеркала; при этом лучи, выходящие из компенсатора, падают перпендикулярно на испытываемое зеркало и после отражения от него вновь проходят через компенсатор, образуя изображение в точке  $S'$ , совпадающей с  $S$ . Aberrация нормалей  $\Delta r$  конического сечения выражается простой формулой [1]

$$\Delta r = x e^2, \quad (6)$$

где  $x$  — абсцисса точки зеркала,  $e^2$  — квадрат эксцентриситета зеркала. Угол нормали  $u'$  с осью испытуемого зеркала выражается очевидной из геометрических соображений формулой

$$u' = \arctg \frac{y}{r_0 + \Delta r - x} = \arctg \frac{y}{r_0 + x(e^2 - 1)}, \quad (7)$$

где  $r_0$  — радиус кривизны испытуемого зеркала при вершине,  $y$  — ордината точки испытуемого зеркала. Связь между  $x$  и  $y$  дается известной формулой

$$y^2 = 2 r_0 x + x^2 (e^2 - 1). \quad (8)$$

В случае параболического зеркала выражение для  $u'$  принимает особенно простой вид

$$u' = \arctg (y/r_0). \quad (9)$$

Зная  $y$  и  $r_0$ , легко найти зависимость  $\Delta r' = f(u')$  для заданного зеркала и нанести ее на график либо аппроксимировать полиномом (при этом удобно использовать формулу Лагранжа).

Следующая задача — найти зависимость  $\Delta s' = \varphi(u')$ , что выполняется по формулам (5)–(9) с использованием радиусов поверхностей линз как свободных параметров, задавая расстояние точки  $S$  от первой поверхности компенсатора из конструктивных соображений. Расстояние между линзами выбирается таким образом, чтобы линза-коллектив располагалась вблизи от плоскости Гаусса, где находится изображение точки  $S$ , создаваемое первой линзой компенсатора. Толщины линз также выбираются из конструктивных соображений.

Следующий этап — изменение масштаба корректора Оффнера таким образом, чтобы выполнялось равенство (на выбранной зоне  $y$ )

$$\Delta s' = \Delta r,$$

необходимое для компенсации сферической aberrации схемы, изображенной на рисунке. При этом очевидно, что кривые  $f(u')$  и  $\varphi(u')$  будут иметь общую точку для  $u'$ , соответствующего заданному значению  $y$ , а несовпадение кривых будет определять остаточную сферическую aberrацию схемы. Выбором свободных параметров можно добиться минимальных остаточных aberrаций схемы. Практика показала, что остаточные aberrации схемы могут быть получены порядка  $\lambda/50$  при диаметре испытуемого зеркала око-

| № п/п | $r_1 = r_0$ , мм | $r_2 = r_k$ , мм | $r_3 = r_s$ , мм | $r_4 = r_0$ , мм | $d_1 = -d_k$ , мм | $d_2 = -d_s$ , мм | $d_3 = -d_0$ , мм | $d_4 = -d_s$ , мм | $e^2$ | $\Delta s'$ , мм |             |             |
|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|------------------|-------------|-------------|
|       |                  |                  |                  |                  |                   |                   |                   |                   |       | $y = 10$ мм      | $y = 20$ мм | $y = 30$ мм |
| 1     | 4385,96          | -122,33          | $\infty$         | -370,0           | 10,5              | 363,55            | 5,0               | 7336,6            | 1,05  | 0,01             | 0,0         | -0,02       |
| 2     | 4464,29          | -122,32          | $\infty$         | -370,0           | 10,5              | 363,55            | 5,0               | 7336,6            | 1,05  | 0,01             | 0,05        | -0,01       |
| 3     | 38461,5          | -119,43          | $\infty$         | -370,0           | 10,5              | 363,55            | 5,0               | 7336,6            | 1,1   | 0,0              | 0,0         | 0,0         |
| 4     | 35987,7          | -119,46          | $\infty$         | -370,0           | 10,5              | 363,55            | 5,0               | 7336,6            | 1,1   | 0,0              | 0,0         | 0,0         |
| 5     | -31250,0         | -118,6           | $\infty$         | -370,0           | 10,5              | 363,55            | 5,0               | 7336,6            | 1,115 | -0,01            | 0,0         | -0,01       |
| 6     | -5970,15         | -116,73          | $\infty$         | -370,0           | 10,5              | 363,55            | 5,0               | 7336,6            | 1,15  | -0,01            | -0,03       | -0,02       |
| 7     | -2816,9          | -114,23          | $\infty$         | -370,0           | 10,5              | 363,55            | 5,0               | 7336,6            | 1,2   | -0,03            | -0,09       | -0,02       |
| 8     | -1862,2          | -111,9           | $\infty$         | -370,0           | 10,5              | 363,55            | 5,0               | 7336,6            | 1,25  | -0,05            | -0,14       | -0,01       |

П р и м е ч а н и е.  $\Delta s'$  — продольная сферическая абберация в точке  $S'$ ,  $r_0 = -7320,6$  мм,  $y$  — высота incidence лучей на первую поверхность,  $s = -560$  мм,  $n = 1,52$  (показатель преломления стекла линз).

до 1 м и относительно отверстий его порядка 1 : 4. Мы рассчитали ряд вариантов компенсатора Оффнера для диаметра испытуемого зеркала порядка 1 м при постоянном радиусе кривизны его  $r_0 = -7320,6$  и нескольких значений  $e^2$  (от 1,05 до 1,3), что обеспечивает контроль вогнутых зеркал системы Ричи — Кретьена в большинстве случаев, встречающихся на практике (таблица). Отметим, что путем интерполяции нетрудно получить и схемы с другими значениями  $e^2$ , а путем изменения масштаба — схемы с другими значениями  $r_0$ .

Изложенная методика не требует использования сложной вычислительной техники (ЭВМ) и может быть применена и для расчета схем с большими значениями  $e^2$  (порядка 1,5—2 и более), что может потребоваться для телескопов системы Шварцшильда и Куде [4].

#### Л и т е р а т у р а

1. Максимов Д. Астрономическая оптика. М., ОНТИ, 1946.
2. Dall H. A null test for paraboloids, Amateur telescope making (Book — three) — Sci-ent. Amer., 1953.
3. Ross F. Astrophys. J., 1943, 98, 341—346.
4. Попов Г. Изв. Крымской астрофиз. обш., 1969, 40, 173.
5. Нареев Д. ОМН, 1975, № 10, 26.
6. Offner A. Appl. Opt., 1963, 2, № 2, 153.
7. Попов Г. М. Изв. Крымской астрофиз. обш., 1974, 51, 133.

ПОЛЕВЫЕ АБЕРРАЦИИ  
КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Г. М. Попов

Рассмотрены полевые aberrации концентрических систем в общем случае, когда предмет расположен на произвольном расстоянии от системы и имеет форму тела вращения. Полученные выражения могут оказаться полезными при расчете укорачивающих систем для больших телескопов типа системы Мейнела, предназначенных для прямого фотографирования с интерференционными светофильтрами, и других приборов.

FIELD ABERRATIONS OF CONCENTRIC OPTICAL SYSTEMS, by G. M. Popov. — Off-axis (field) aberrations of concentric systems are discussed when the object is at any random distance from system and is a body of revolution. Derived expressions may be useful to design focal reducers of Meinel type for great telescopes for photography with multilayer narrow-band filters etc.

Концентрические оптические системы обладают рядом ценных свойств — они позволяют получить большое поле зрения при значительном относительном отверстии. Известен, например, объектив «Сферогон» [1, с. 639], имеющий поле зрения  $120^\circ$  при относительном отверстии  $1 : 2,5$ ; зеркально-линзовая камера спектрографа с относительным отверстием  $1 : 0,8$  и полем  $40^\circ$  [2, с. 113] и др. Столь высокое качество может быть получено в неконцентрических системах только ценой значительного усложнения их. Большой интерес представляют также концентрические системы, работающие при конечном положении предмета; они могут быть применены, например, для переброски спектра с катода электронно-оптического преобразователя на фотопластинку в схеме Мейнела [3, с. 93], используемой для изучения туманностей с помощью интерференционных светофильтров на больших телескопах, а также для прямого фотографирования протяженных объектов. Однако применение концентрических систем ограничивается отсутствием сведений об их полевых aberrациях. Весьма кратко о кривизне поля концентрических систем упоминается в [2, с. 56], где рассмотрен частный случай, когда предмет плоский, перпендикулярный к оси системы. Изучим более общий случай, когда предмет имеет произвольную форму, но является поверхностью вращения относительно оси системы.

1. Кривизна поля концентрической системы  
при отсутствии астигматизма

Известно, что если астигматизм в концентрической системе отсутствует (так же как и в произвольной центрированной системе), то в первом приближении радиус кривизны поля, образованного узкими пучками лучей при малых углах поля зрения, определяется формулой Петцваля

$$\frac{1}{n_m R'} = - \frac{1}{n_1 R} + \bar{\Phi}, \quad (1)$$

где

$$\bar{\varphi} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{r_i} \left( \frac{1}{n_{i+1}} - \frac{1}{n_i} \right).$$

Здесь  $\bar{\varphi}$  — оптическая сила системы,  $m$  — число поверхностей системы,  $n_i, n_{i+1}$  — показатели преломления;  $R$  и  $R'$  — радиусы кривизны предмета и изображения соответственно (как предмет, так и изображение предполагаются сферическими).

Формула (1), однако, является грубо приближенной, и при больших углах поля ее использовать нельзя; кроме того, предмет может иметь произвольную форму, значительно отличающуюся от сферической поверхности. Выведем точную формулу для кривизны поля в концентрической

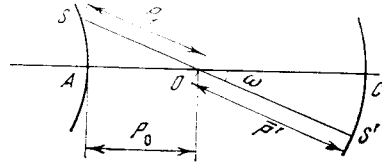


Рис. 1. Расположение предмета и изображения для концентрической системы с центром кривизны в точке  $O$

системе, пригодную для произвольного предмета и справедливую при любых углах поля. Допустим, что в системе нет аберраций широких пучков лучей, а также астигматизма, — этого можно достигнуть, поместив бесконечно малый входной зрачок в центре кривизны системы. Будем использовать полярную систему координат, поместив полюс в центр кривизны  $O$  системы (рис. 1). На рис. 1 изображена оптическая ось системы  $AOC$ , поверхность предмета  $AS$  и поверхность изображения  $CS'$ , которые являются поверхностями вращения относительно оси  $AOC$ . Полярные координаты точки  $S$  суть  $P_1$  и  $\omega$ . Поверхности системы не показаны, чтобы не усложнять рисунок. Пусть уравнение поверхности предмета имеет вид

$$P_1 = \psi(\omega), \quad (2)$$

где  $\psi$  — известная функция  $\omega$ . Из рис. 1 следует, что прямая  $SOS'$  является псевдоосью системы, т. е. одной из оптических осей, проходящих через точку  $O$ . По отношению к  $SOS'$  можно рассчитать параксиальный пучок лучей, исходящих из точки  $S$  предмета, и формирующий изображение в точке  $S'$ . Для этого параксиального пучка положение изображения определяется выражением [2, с. 10]

$$\frac{1}{n_{m+1}\bar{P}'} = \frac{1}{n_1 P_1} + \bar{\varphi}. \quad (3)$$

Подставив сюда значение  $P_1$  из (2), находим выражение в полярных координатах  $\bar{P}'$ ,  $\omega$  для поверхности, на которой находится изображение:

$$\bar{P}' = \frac{n_1 \psi}{n_{m+1} (1 + n_1 \bar{\varphi} \psi)} = \frac{n_1}{n_{m+1} (\psi^{-1} + n_1 \bar{\varphi})}. \quad (4)$$

Очевидно, вид фокальной поверхности существенно зависит от вида функции  $\psi(\omega)$ . Рассмотрим наиболее важные частные случаи.

1. Если  $\psi = P_1 = \text{const}$ , то и  $\bar{P}' = \text{const}$ ; иными словами, если предмет находится на сфере, концентричной с системой, то и изображение также лежит на сфере, концентричной с системой и имеющей радиус кривизны  $\bar{P}'$ ; фокальная поверхность в этом случае — сфера радиуса  $\bar{P}'$ .

2. Предмет плоский, перпендикулярный к оси  $AOC$ ; его сечение меридиональной плоскостью в полярных координатах задано в виде

$$P_1 = P_0 / \cos \omega = \psi(\omega).$$

Подставив это в (4), получим после преобразований

$$\bar{r}' = \frac{(n_{m+1}\bar{\varphi})^{-1}}{1 + (n_1\bar{\varphi}P_0)^{-1} \cos \omega}. \quad (5)$$

Это уравнение конического сечения, параметр которого  $(n_{m+1}\bar{\varphi})^{-1}$ , а эксцентриситет  $e$  равен  $(n_1\bar{\varphi}P_0)^{-1}$ . Очевидно,  $e$  может принимать различные значения; например, примем  $n_1\bar{\varphi} = 1$ , тогда при  $P_0 = \infty$  эксцентриситет равен нулю ( $e = 0$ ), т. е. поле будет сферой; при  $P_0 = 1$   $e = 1$  (параболоид), при  $1 < P_0 < \infty$  имеем  $e < 1$  (эллипсоид) и, наконец, при  $0 < P_0 < 1$  получаем гиперболоид, так как  $e > 1$ . Очевидно зависимость  $e = f(P_0)$  изображается равнобочной гиперболы кривой (рис. 2). На рис. 2 принято  $n_1\bar{\varphi} = 1$ . Рассмотрим теперь более общий случай, когда предмет представляет собой коническое сечение в меридиональной плоскости, определяемое выражением

$$P_1 = \frac{L}{1 + e \cos \omega} = \psi(\omega), \quad (6)$$

где  $L$  — параметр,  $e$  — эксцентриситет кривой. Подставив (6) в (4), найдем после преобразований

$$\bar{r}' = \frac{n_1 L}{n_{m+1}(1 + n_1\bar{\varphi}L)} \frac{1}{1 + e(1 + n_1\bar{\varphi}L)^{-1} \cos \omega}. \quad (7)$$

Очевидно, (7) также описывает коническое сечение, причем в роли параметра выступает  $\frac{n_1 L}{n_{m+1}(1 + n_1\bar{\varphi}L)}$ , а эксцентриситет его  $e/(1 + n_1\bar{\varphi}L)$ . Заметим, что если  $L = \infty$ , то изображение лежит на сфере; при  $L = -(n_1\bar{\varphi})^{-1}$  фокальное поле становится плоским. Если  $e = 0$  (предмет является сферой, concentричной с системой), получаем

$$\bar{r}' = \frac{n_1 L}{n_{m+1}(1 + n_1\bar{\varphi}L)} = \text{const.}$$

Иными словами, изображение в этом случае также лежит на сфере, concentричной с системой. Выведенные выражения дают точное значение кривизны поля в concentрической системе при любых углах поля в отличие от формулы Петцваля, пригодной только при малых углах поля и лишь для сферического или плоского предмета. Заметим, что (4) можно использовать и для вычисления кривизны поля в центрированной системе, составленной из concentрических компонентов с исправленными аберрациями широких пучков и не имеющих астигматизма; при этом (4) применяется последовательно к каждому concentрическому компоненту системы, т. е., вычислив кривизну изображения для первого компонента, принимают ее за поверхность предмета для второго компонента и т. д.

**Пример.** Рассчитаем кривизну поля concentрической зеркально-линзовой системы (рис. 3); центр кривизны системы находится в точке  $O$ . Расстояние  $P_0 = OS_1 = 1000$  мм, предельный угол поля  $\omega = 0,25 \approx 14^\circ$ , оптическая сила  $\bar{\varphi}$  системы в параксиальной области равна  $95,762 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^{-1}$ . Рассмотрим сначала случай плоского предмета ( $n_1 = -n' = 1$ ). По формуле (5) находим для профиля фокальной кривой

$$\bar{r}' = -104,425 \text{ мм} / (1 + 0,104425 \cos \omega).$$

Очевидно, это коническое сечение (эллипс), параметр которого равен  $-104,425$  и эксцентриситет  $0,104425$ . Плоскость апертурной диафрагмы

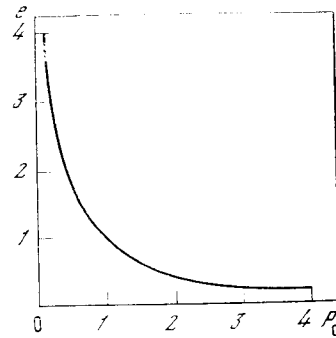


Рис. 2. Зависимость эксцентриситета поверхности изображения от  $P_0$  для плоского предмета;  $n_1\bar{\varphi} = 1$

совместим с точкой  $O$ , что автоматически обеспечит исправление комы и астигматизма. Основной aberrацией системы, ухудшающей разрешающую силу системы, является сферическая aberrация; исправим ее для диаметра отверстия  $D = 70$  мм, не меняя оптической силы системы и выбрав для линзы стекло К8 ( $n_2 = 1,5163$ ). Конструктивные элементы исправленной системы следующие (в мм):

$$\begin{array}{lll} r_1 = -100,0, & d_1 = 55,6, & n_1 = 1,0, \\ r_2 = -155,6, & d_2 = 124,4, & n_2 = 1,5163, \\ r_3 = -280,0, & d_3 = -124,4, & n_3 = 1,0, \\ r_4 = -155,6, & d_4 = -55,6, & n_4 = -1,0, \\ r_5 = -100,0, & & n_5 = -1,5163, \\ D = 70, & s' = -5,42, & n_6 = -1,0. \end{array}$$

Заметим, что сферическая aberrация этой системы меняется с изменением угла поля, но это изменение незначительно (рис. 4). Полученную систему

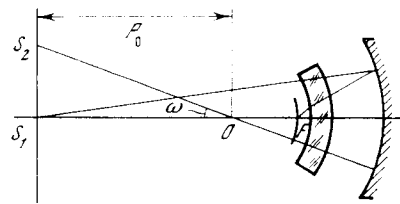


Рис. 3. Зеркально-линзовая концентрическая система, работающая при конечном положении предмета

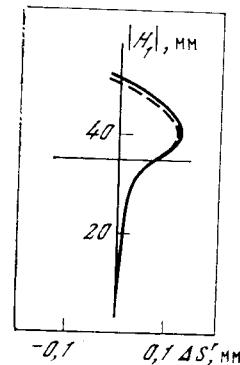


Рис. 4. Кривые продольной сферической aberrации  $\Delta s'$  зеркально-линзовой концентрической системы для центра поля (сплошная линия) и для угла поля  $\omega = 0,17$  (штриховая)

Горизонтальной чертой отмечено положение края входного зрачка

можно использовать и для случая, когда предмет не является плоскостью; например, для предмета параболической формы

$$P_1 = 2000 \text{ мм}/(1 + \cos \omega).$$

Из (7) находим

$$\bar{P}' = -99,244 \text{ мм}/(1 + 0,049621 \cos \omega).$$

Т. е. фокальная кривая является эллипсоидом, но с меньшим эксцентриситетом ( $e = 0,049621$ ), нежели для плоского предмета.

## 2. Сагиттальная кривизна поля в концентрической системе с неисправленным астигматизмом

Выведем выражение для вычисления положения фокуса сагиттального тонкого пучка в концентрической системе. Как известно [4], сагиттальный фокус для одиночной сферической поверхности лежит на прямой, соединяющей точку предмета  $S$  с центром кривизны поверхности (рис. 5). Так как это изображение можно считать предметом для второй поверхности, концентричной с первой поверхностью, то сагиттальный фокус концентрической системы из двух поверхностей также будет лежать на той же прямой, что и предмет, как очевидно из геометрических соображений. Это рассуждение можно распространить и на произвольную концентрическую систему из  $m$  поверхностей.

Рассмотрим произвольную концентрическую систему (см. рис. 5) и найдем положение фокуса сагиттального пучка для луча, заданного величинами  $P_1$ ,  $H_1$ ,  $\omega$ . По отношению к прямой  $SOS'$  (псевдооси) луч можно считать осевым и использовать для вычисления положения точки  $S'$  формулы [2, с. 7]; имеем

$$\begin{aligned} u' &= \arcsin \frac{H_1}{P_1} + \varphi, \\ P' &= \frac{k}{n_{m+1} \sin u'}, \end{aligned} \quad (8)$$

где

$$\varphi = \sum_{v=1}^m \left( \arcsin \frac{k}{n_{v+1} r_v} - \arcsin \frac{k}{n_v r_v} \right); \quad k = n_1 H_1.$$

Эти выражения позволяют найти положение сагиттального фокуса в общем

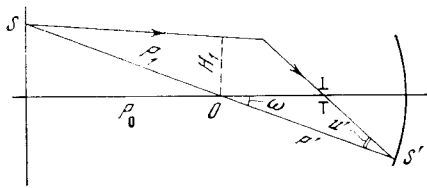


Рис. 5. Сагиттальная кривизна поля концентрической системы

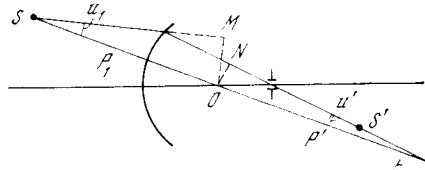


Рис. 6. К определению положения фокуса  $S'$  меридионального бесконечно тонкого пучка концентрической системы

случае. В частном случае, когда предмет плоский, т. е.  $P_1 = P_0 / \cos \omega$ , имеем

$$u' = \arcsin \frac{H_1 \cos \omega}{P_0} + \varphi,$$

где  $P_0$  — расстояние плоскости предмета от центра системы. При  $\varphi = 0$  (телескопическая система), учитывая, что  $u' = \arcsin \frac{n_1 H_1}{n_{m+1} P'}$ , находим

$$P' = \frac{n_1 P_0}{n_{m+1} \cos \omega} = \frac{n_1}{n_{m+1}} P_1. \quad (9)$$

Иными словами, в этом случае фокусы сагиттальных лучей лежат на плоскости. Введя обозначение  $\rho'_s = 1/P'$ , перепишем выражение (8) в виде

$$\rho'_s = \frac{n_{m+1}}{n_1 H_1} \sin \left( \arcsin \frac{H_1}{P_1} + \varphi \right) = \frac{1}{P'}. \quad (10)$$

Разлагая это выражение в степенной ряд по степеням  $k$ , получим

$$\frac{1}{n_{m+1} P'} = \frac{\rho'_s}{n_{m+1}} = \alpha + \frac{k^2}{6} (\beta - \alpha^3) + k^4 \left( \frac{3}{40} \gamma - \frac{\alpha^2 \beta}{12} + \frac{\alpha^5}{120} \right) + \dots, \quad (11)$$

где

$$\alpha = \frac{1}{n_1 P_1} + \varphi; \quad \beta = \frac{1}{(n_1 P_1)^3} + \sum_{v=1}^m \frac{1}{r_v^3} \left( \frac{1}{n_{v+1}^3} - \frac{1}{n_v^3} \right);$$

$$\gamma = \frac{1}{(n_1 P_1)^5} + \sum_{v=1}^m \frac{1}{r_v^5} \left( \frac{1}{n_{v+1}^5} - \frac{1}{n_v^5} \right);$$

.....

Очевидно, при малых  $k$  это выражение совпадает с (3). Заметим, что выра-

жения (10) и (11) можно использовать для вычисления поверхности сагиттального изображения и в том случае, когда  $P_1$  является произвольной функцией  $\omega$ ; в случае плоского предмета следует принять  $P_1 = P_0/\cos \omega$ ; для конического сечения нужно взять выражение вида (6).

Существует связь между положением фокусов сагиттальных лучей и полевой сферической аберрацией. Действительно, из рис. 5 ясно, что пучок лучей можно считать осевым по отношению к прямой  $SOS'$ , а потому, согласно [2], имеем

$$P' = \bar{P}' + \Delta s, \quad (12)$$

где  $P'$  — расстояние точки  $S'$  от центра  $O$ ;  $\bar{P}'$  — соответствующее параксимальное расстояние,  $\Delta s$  — полевая сферическая аберрация. Очевидно, если  $\Delta s = 0$ , то положение сагиттального фокуса совпадает с изображением, которое создает узкий пучок лучей, окружающих главный луч  $SNS'$  (рис. 6). Назовем поверхностью Петцваля поверхность изображения, образованную бесконечно тонкими пучками лучей, проходящими через центр  $O$  системы (эта поверхность выражается (4) или (7)).

### 3. Нахождение фокуса меридионального бесконечно тонкого пучка в концентрической системе

Для нахождения фокуса меридионального бесконечно тонкого пучка в концентрической системе воспользуемся формулами Ланге [4]. Для одной поверхности запишем эту формулу в виде (см. рис. 6)

$$\frac{1}{n_2 NS'} - \frac{1}{n_1 SM} = -\frac{1}{k} (\operatorname{tg} i_1' - \operatorname{tg} i_1), \quad (13)$$

где  $SM$  — расстояние от точки  $S$  предмета до основания перпендикуляра, опущенного из центра  $O$  системы на луч, входящий в систему;  $NS'$  — расстояние меридионального фокуса от основания  $N$  перпендикуляра, опущенного из центра  $O$  на преломленный луч.

Обозначим  $SM = I_1$ ,  $NS' = I_2$ ; применим (13) к первой, второй, третьей и т. д. поверхности системы ( $k = n_1 I_1$  — инвариант луча):

$$\begin{aligned} \frac{1}{n_2 I_2} - \frac{1}{n_1 I_1} &= -\frac{\operatorname{tg} i_1' - \operatorname{tg} i_1}{k}; \\ \frac{1}{n_3 I_3} - \frac{1}{n_2 I_2} &= -\frac{\operatorname{tg} i_2' - \operatorname{tg} i_2}{k}; \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{1}{n_{m+1} I_{m+1}} - \frac{1}{n_m I_m} &= -\frac{\operatorname{tg} i_m' - \operatorname{tg} i_m}{k}. \end{aligned} \quad (14)$$

Из (14) находим

$$\frac{1}{n_{m+1} I_{m+1}} = \frac{1}{n_1 I_1} + \frac{1}{k} \sum_{j=1}^m (\operatorname{tg} i_j' - \operatorname{tg} i_j). \quad (15)$$

Из геометрических соображений (см. рис. 6) следует, что

$$I_1 = P_1 \cos u_1. \quad (16)$$

Подставив (16) в (15), получим

$$\frac{1}{n_{m+1} I_{m+1}} = \frac{1}{n_1 P_1 \cos u_1} + \frac{1}{k} \sum_{j=1}^m (\operatorname{tg} i_j' - \operatorname{tg} i_j). \quad (17)$$

Зная положение сагиттального фокуса, определенного значением  $P'$

(11), можно найти астигматическую разность  $S'F$  вдоль луча из очевидного выражения

$$S'F = P' \cos u' - I_{m+1}, \quad (18)$$

где  $P'$  определяется (10) или (11) предыдущего параграфа,  $I_{m+1}$  — из (17).

Можно также представить (17) в форме степенного ряда (по степеням  $k$ ): при этом следует принять во внимание, что

$$i_v = \arcsin \frac{k}{n_v r_v}; \quad i'_v = \arcsin \frac{k}{n_{v+1} r_v}; \quad u_1 = \arcsin \frac{k}{n_1 P_1}.$$

Разложение (17) в степенной ряд после преобразований принимает вид (обозначим  $n_{m+1} = n'$ ;  $I_{m+1} = I'$ )

$$\frac{1}{n'I'} = \alpha + \frac{k^2}{2} \beta + \frac{3k^4}{8} \gamma + \dots \quad (19)$$

При малых углах  $u'$  (см. рис. 6) условие исправления астигматизма, как следует из (19), можно приближенно записать в виде

$$P' \approx I',$$

где  $P'$  и  $I'$  определяются из (11) и (19).

Очевидно, что при малых  $k$  (главный луч близок к псевдооси) выражение (19) переходит в (1); иными словами, фокус меридионального пучка лежит на поверхности Петцваля, так же как и фокус сагиттального пучка, т. е. астигматизм отсутствует.

Автор благодарен М. Б. Поповой за помощь в работе, а также Н. В. Стешенко и В. П. Пронику за просмотр рукописи и ценные замечания.

17 мая 1976 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Водосов Д. Фотографическая оптика. М., «Искусство», 1971.
2. Попов Г. Концентрические оптические системы и их применение в оптическом приборостроении. М., «Наука», 1969.
3. Мартынов Д. Курс практической астрофизики. М., Физматгиз, 1960.
4. Слюсарев Г. Методы расчета оптических систем. ОНТИ, 1937.

## ХРОНИКА

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 18 февраля 1976 г. Крымская астрофизическая обсерватория АН СССР награждена орденом Трудового Красного Знамени за достигнутые успехи в развитии советской астрофизики и астрономии в девятой пятилетке.

Постановлением Главного комитета ВДНХ от 28 сентября 1976 г. обсерватория награждена Дипломом первой степени за разработку, изготовление и внедрение новой техники.

В апреле в обсерватории проходил Международный симпозиум «Проблемы магнитных полей в космосе», организованный по предложению Европейского физического общества и Международного астрономического союза. В работе симпозиума приняли участие около 100 представителей научных учреждений Советского Союза, Венгрии, ГДР, Польши, Англии, Голландии, Италии, США, ФРГ.

В конце октября состоялось совещание по результатам наблюдений Новой Лебеда 1975 г.

Сотрудники обсерватории участвовали в работе ряда совещаний, конференций, семинаров: совещания по магнитным звездам в Шемахинской обсерватории, совещания смешанной советско-американской комиссии по охране окружающей среды (Киев), VIII Консультативного совещания КАПГ в Иркутске, IX Всесоюзной конференции по галактической и внегалактической радиоастрономии в Харькове, советско-австралийского семинара по солнечной радиоастрономии (Пулково), конференции по вспыхивающим звездам в Бюракане, IX Конференции по физике и динамике комет и астероидов в Киеве, II Всесоюзного семинара по гамма-астрономии в Москве, Пленума Астросовета в Киеве и других совещаний по отдельным научным и научно-организационным вопросам.

В 1976 г. в Крымскую астрофизическую обсерваторию на различные сроки приезжали ученые и инженеры из многих стран для участия в симпозиуме, для обсуждения и выполнения совместных работ, получения материала наблюдений, на стажировку, для консультаций по различным вопросам.

В обсерватории были: Р. Брей, Р. Грошард, Д. Джонси, К. Коул, П. Мак-Каллох, Д. Мак-Лин, Д. Мелроуз, С. Смерд, Р. Стюарт, К. Шеридан (Австралия), П. Хеджкок (Англия), Т. Спелстра (Голландия), Г. Годоли (Италия), Э. Ричардсон (Канада), Дж. Вилкокс, Р. Олсон, Х. Сарджент, Л. Сваалгаард, Дж. Уиттелс, Г. Хекман (США), О. Вилху (Финляндия), М. Ардюни, Р. Боннэ, М. Дюбон, Ж. Крифо, А. Маньян, Нгуен-Тронг (Франция), Б. Альтенхоф, К. Бойерманн, И. Випк, Ф. Майер, В. Папкони, И. Науливи-Тот, Д. Смит, Ю. Трюмпер, П. Циммерман, Р. Шварц, Г. Шульц (ФРГ), А. Бьёркман, Г. Гам, Д. Дравинс, П. Лингхейм, Я. Стенфло (Швеция), Д. Сугимото (Япония), П. Аврамов, И. Йочков, Б. Ковачев, И. Лазаров, А. Томов, Ц. Цветков, Л. Юруков (Болгария), Г. Гомбоши, Б. Калман, И. Кота (Венгрия), Ф. Краузе, Д. Мельман, К. Пфлюг, К. Шмидт, Г. Шольц, Ю. Штауде, Л. Эткен (ГДР),

О. Альварес (Куба), Т. Яражебовский (Польша), С. Клошка, Я. Сворень (Чехословакия).

На заседаниях Ученого совета обсерватории были заслушаны доклады зарубежных ученых: *Л. Свалгаард*. Крупномасштабные магнитные поля на Солнце и в межпланетном пространстве; *Э. Ричардсон*. Канадско-французско-гавайский 3,6-метровый телескоп и его спектрографы; Многоэлементный оптический телескоп; *Ю. Штауде*. О работах, проводимых в солнечной обсерватории ЦИСЗФ (Потсдам) по переносу энергии и структуре магнитного поля в активных областях на Солнце; *К. Коул*. Воздействие корпускулярной радиации Солнца на процессы в верхней и нижней атмосфере Земли.

В 1976 г. ряд сотрудников Крымской астрофизической обсерватории выезжали в зарубежные страны. В феврале А. А. Боярчук выезжал в Припстон (США) для изучения информации по ультрафиолетовым спектрам звезд, полученной с американским спутником «Коперник» по программе КАО. Л. В. Границкий, В. К. Прокофьев в феврале — марте были во Франции в связи с подготовкой совместного эксперимента по изучению ультрафиолетовых спектров звезд (эксперимент «Галактика»). В июне А. В. Брунс выезжал в Швецию для завершения подготовки к проведению советско-шведского эксперимента по коротковолновой (в УФ-области) поляриметрии солнечного излучения на спутнике «Интеркосмос». Н. В. Стещенко в июне принимал участие в работе Пленума КОСПАР в США: сделал доклад о результатах, полученных на «Салюте-4». Л. И. Цветков два месяца (июль — август) работал на станции наблюдения ИСЗ в Сомали. В конце июля Н. С. Нестеров выезжал в Польшу на конференцию молодых радиоастрономов.

На XVI Генеральную Ассамблею МАС (Гренобль, Франция) выезжали: А. Б. Северный, А. А. Боярчук, Р. Е. Гершберг, С. И. Гопасюк, В. А. Котов и А. А. Степанян. А. Б. Северный принял участие в работе коллоквиума № 36 МАС «Энергетический баланс и гидродинамика хромосферы и короны Солнца» (Пицца). А. А. Боярчук участвовал в конференции по новым звездам, проходившей в Париже. А. В. Брунс принимал участие в работе очередного Конгресса Международной астрономической федерации, проходившего в США. Н. С. Чуваева в октябре выезжала на четыре недели в ГДР для совместной работы по спектроскопии магнитных звезд. Л. В. Границкий и Н. В. Стещенко в октябре выезжали во Францию для работы по эксперименту «Галактика».

Продолжались совместные с австралийскими и американскими радиоастрономами наблюдения по радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой.

На Пленуме Астросовета в Киеве сотруднику обсерватории Н. С. Черных вручена медаль «За обнаружение новых астрономических объектов». Такой же медалью награжден В. Б. Никонов.

В обсерватории начат монтаж фотоэлектрического автоматизированного телескопа-рефлектора АЗТ-11. Из Симеиза в Научный перенесен рефлектор АЗТ-8. Завершено строительство большого коронографа (с диаметром объектива 50 см).

Подготовили к защите кандидатские диссертации В. М. Кувишинов и Л. С. Любимков.

Вышли из печати 54-й и 55-й тома «Известий Крымской астрофизической обсерватории». В мае дан в печать 57-й том «Известий», в декабре — настоящий, 58-й том.

---

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

К Т. 1—52

1. Абражевский Б. П. Функциональный преобразователь к микрофотометру МФ-4 для записи в интенсивностях света сфотографированного источника. 1965, 34, 331—337.
2. Абраменко А. Н. Установка для регистрации напряженности поля атмосферных помех. 1958, 18, 182—186. Спектрограф для наблюдения радиоизлучения Солнца. 1958, 19, 140—152.  
Устройство для автоматической работы ионосферной станции Крымской астрофизической обсерватории. 1960, 23, 138—147.  
Электронный затвор с длительностями экспозиций от 0,005 до 0,1 сек. 1965, 34, 338—341.
3. Абраменко А. Н., Нешпор Ю. И. Измерение поглощения космического радиоизлучения. 1961, 26, 149—155.
4. Абраменко А. Н., Прокофьева В. В. Высокочувствительная электронная аппаратура для фотографирования с короткими экспозициями. 1966, 35, 289—294.  
Об измерении блеска звезд по телевизионным снимкам. 1967, 36, 289—293.  
О применении телевидения для поиска сверхновых. 1968, 38, 252—256.
5. Абраменко А. Н., Голландский О. П., Прокофьева В. В. Телевизионные исследования ультракороткопериодических источников оптического излучения. 1974, 49, 89—97.
6. Абраменко А. Н., Истомин Л. Ф., Прокофьева В. В. Телевизионная установка Крымской астрофизической обсерватории и опыт ее применения для наблюдения слабых переменных. 1970, 41—42, 372—383.
7. Абраменко А. Н., Прокофьева В. В., Ушакова Н. А. Методика получения и точность фотометрирования телевизионных снимков планет. 1974, 49, 98—104.
8. Абраменко А. Н., Агапов Е. С., Анисимов В. Ф., Ефимов Ю. С., Прокофьева В. В., Силенок С. М. О наблюдении слабых звезд с телескопом среднего размера. 1965, 33, 313—318.  
— Абраменко А. Н. см. № 303, 316.
9. Абраменко С. И., Дубов Э. Е., Огирь М. Б., Степенко Н. Е., Шапошникова Е. Ф., Цап Т. Т. Фотометрия солнечных вспышек. 1960, 23, 341—361.
10. Агапов Е. С., Анисимов В. Ф., Никонов В. Б., Прокофьева В. В., Силенок С. М. Опыт применения телевизионной техники для наблюдения звезд. 1963, 30, 3—18.  
— Агапов Е. С. см. № 8.  
— Алиев С. см. № 351.
11. Альбицкий В. А. Радиальные скорости 107 В8—А0 звезд. 1947, 1, ч. 1, 20—43.  
Радиальные скорости 114 звезд. 1948, 2, 103—122.  
Радиальные скорости 53 звезд спектральных типов G0—K5. 1948, 3, 31—45.  
Орбита спектрально-двойной звезды Н.Д. 218154. 1949, 4, 78—79.  
Орбита спектрально-двойной звезды Н.Д. 211433. 1949, 4, 144—147.  
Наблюдения малых планет в 1948 г. 1949, 4, 197—201.  
Наблюдения малых планет. 1950, 5, 135—139.  
Наблюдения малых планет. 1951, 7, 139—140.
12. Альбицкий В. А., Шайн П. Ф. Наблюдения малых планет. 1948, 2, 134—135.
13. Андриевский А. Е., Спангенберг Е. Е., Вальц Н. Е., Горшков А. Г., Иванов В. Н., Конникова В. К., Курильчик В. Н., Ларионов М. Г., Моисеев И. Г., Никитин В. В., Нортман В. И., Согласнов В. А. Спектральные плотности потоков радиоизлучения дискретных радиоисточников на волне 3,5 см (8550 Мгц). 1971, 43, 30—36.
14. Анисимов В. Ф., Браунфельд С. Г., Галкина Т. С., Доброзравич П. П., Можжерин В. М., Прокофьев В. К., Черных Н. С. О наблюдениях далеких искусственных космических объектов. 1970, 41—42, 388—399.  
— Анисимов В. Ф. см. № 8, 10.
15. Артамонов Б. П. Исследование флуктуаций яркости в диффузной ту-

- манности NGC 2237—9. 1964, 31, 110—111.
16. Артамонов Б. П., Гершберг Р. Е. Исследование флуктуаций яркости в диффузной туманности NGC 6618. 1962, 28, 156—158.
  17. Артамонов Б. П., Назарова Л. С. Исследование центральной области галактики NGC 3077. 1974, 50, 115—121.
  18. Артемьев В. В., Розникова И. П. Счет фотонов в слабых световых потоках. 1963, 30, 297—307.
  19. Астафьев Е. Р., Голландский О. П., Кобылов И. М. Физические условия в атмосфере  $\rho$  Лебедя. 1969, 40, 46—64.
  20. Бабин А. Н. О развитии вспышки на краю диска Солнца 11 июля 1966 г. 1970, 41—42, 45—52.  
Развитие и тонкая структура вспышки 14 июня 1970 г. 1974, 50, 152—158.  
Монохроматические наблюдения Солнца с высоким угловым разрешением. 1974, 52, 79—87.  
О фотометрии усев. 1974, 52, 88—91.
  21. Бабин А. Н., Степенко Н. В. Физические условия в двух областях короны 7.III 1970 года. 1973, 47, 36—48.
  22. Бабин А. Н., Пасека А. М., Сидоров Г. Г., Степенко Н. В. Распределение атомов водорода по возбужденным уровням в мощном импульсном разряде. 1964, 31, 259—270.
  23. Бабин А. Н., Карташова Л. Г., Коваль А. Н., Огирь М. Б., Степанян Н. Н. Изменения магнитных полей на двух уровнях и наблюдения в свете  $H_\alpha$  группы пятен 18—30 августа 1971 года. 1974, 52, 92—99.
  24. Бабин А. Н., Лукьянов С. Ю., Северный А. Б., Сидоров Г. Г., Синицын В. И., Степенко Н. В. Исследование расширения линий водорода в мощном импульсном разряде. 1962, 27, 52—70.  
— Бабин А. Н. см. № 384.
  25. Балковой А. Е. Поведение протуберанца 5 августа 1951 г. 1956, 16, 100—103.  
Эруптивный протуберанец 24 сентября 1956 года. 1958, 18, 157—161.
  26. Банин В. Г. О свечении металлов во вспышках. 1964, 32, 38—45.  
Развитие спектров хромосферных вспышек во взрывной фазе на примере вспышки 26.IX 1963 г. 1965, 33, 118—137.  
О физических условиях в сильных хромосферных вспышках. 1965, 34, 252—271.  
О строении сильных хромосферных вспышек по высоте. 1966, 35, 190—203.
  27. Барановский Э. А. К вопросу об изменении с глубиной отношения коэффициентов селективного и непрерывного поглощения в солнечном пятне. 1960, 23, 304—310.  
Эффект Вильсона в линиях поглощения. 1969, 40, 105—110.  
О градиенте давления и прозрачности в пятне. 1970, 41—42, 174—179.  
Определение физических параметров солнечного пятна. 1972, 44, 87—93.  
К вопросу об определении температуры и плотности в пятне и в хромосфере над пятном. 1974, 49, 25—30.  
Модель пятна и хромосфера над пятном с учетом отклонений от ЛТР. 1974, 51, 56—59.
  28. Барановский Э. А., Степанов В. Е. Контуры линии D<sub>1</sub> натрия и градиент магнитного поля в солнечном пятне. 1959, 21, 180—189.
  29. Барановский Э. А., Степанян Н. Н. Влияние выбора модели пятна на определение турбулентной скорости. 1972, 46, 106—114.
  30. Барташ Т. М. Спектрофотометрические наблюдения звезд NU Ori и AE Aur. 1964, 31, 37—43.  
Спектрофотометрические наблюдения звезд RX Ori, V359 Ori и V372 Ori. 1965, 34, 128—135.
  31. Барташ Т. М., Боярчук А. А. Спектрофотометрические наблюдения Новой Геркулеса 1963 г. I. Небулярная стадия. 1965, 33, 173—185.  
— Барташ Т. М. см. № 249, 252.
  32. Бачурин А. Ф. Быстродействующий переключатель на волну 30 см. 1964, 32, 187—191.  
Новышнее надежности широкополосного симметрирующего трансформатора. 1967, 37, 171—175.
  33. Бачурин А. Ф., Ерюшев Н. Н., Цветков Л. И. Оценка потоков радионизлучения локальных источников на Солнце на волнах 1,9; 2,5 и 3,5 см. 1974, 50, 175—179.  
О яркостной температуре «спокойного» Солнца в диапазоне 1,9—3,5 см. 1974, 50, 180—182.  
О плотности потоков радионизлучения трех локальных источников на Солнце на волнах 1,9; 2,5 и 3,5 см. 1974, 52, 171—179.  
О поярчении на краю диска Солнца в коротковолновой части сантиметрового диапазона. 1974, 52, 180—182.  
— Беляев Е. П. см. № 314.
  34. Белякина Т. С. Трехцветные электрофотометрические наблюдения симбиотических звезд AG Peg, Z And и AG Dra. 1965, 33, 226—237.  
К вопросу о цветах симбиотических звезд. 1965, 34, 100—105.  
Цвета симбиотических звезд. 1968, 38, 171—176.  
Фотоэлектрические наблюдения AG Dra в 1962—1967 гг. 1969, 40, 39—45.  
Трехцветные фотоэлектрические наблюдения Z And в 1962—1967 гг. 1970, 41—42, 275—282.  
Некоторые фотометрические особенности симбиотических звезд. 1974, 50, 103—105.
  35. Белякина Т. С., Бродская Э. С. Фотоэлектрические наблюдения SN Sgr в 1969 году. 1974, 49, 58—64.

36. Белякина Т. С., Чугайнов П. Ф. О точности определения спектральных классов и избытков цвета звезд О—А2 с помощью метода двухцветных диаграмм. 1960, 22, 257—274.
37. Белякина Т. С., Боярчук А. А., Гершберг Р. Е. Распределение энергии в непрерывном спектре новоподобной и симбиотических звезд. 1963, 30, 25—41.  
— Белякина Т. С. см. № 198, 300.
38. Богудлов А. М. Определение сил осцилляторов Fe II по спектру Проциона. 1967, 37, 267—272.
39. Болдырев В. А., Ильин В. В., Никопов В. Б., Терез Э. И. Абсолютная калибровка фотоэлектрической аппаратуры с применением диффузор-рассеивающего экрана. 1974, 51, 80—91.
40. Боярчук А. А. Спектрофотометрические наблюдения  $\gamma$  Кассиопеи в 1955 году. 1956, 16, 143—147.  
Сравнение химического состава В- и Ве-звезд. 1957, 17, 89—116.  
Изучение Дзета Тельца. 1957, 17, 117—128.  
О светимостях В- и Ве-звезд. 1958, 18, 38—40.  
Спектрофотометрические наблюдения  $\gamma$  Кассиопеи в 1956 году. 1958, 18, 55—60.  
Гамма Кассиопеи в 1940 г. 1958, 19, 165—186.  
Гамма Кассиопеи в 1941 г. 1958, 20, 118—122.  
Количественный анализ атмосферы сверхгиганта  $\kappa$  Кассиопеи. 1959, 21, 54—70.  
Количественный анализ атмосферы Сириуса. I. Эквивалентные ширины линий и их отождествление в области 3400—4800 Å. 1962, 28, 123—134.  
Количественный анализ атмосферы Сириуса. II. Детальный анализ химического состава атмосферы. 1963, 29, 219—238.  
Замечания о химическом составе Z And. 1965, 33, 186—194.  
Спектрофотометрическое изучение AX Per. 1966, 35, 8—10.  
Бальмеровский декремент в движущихся средах. 1966, 35, 45—80.  
Спектрофотометрическое исследование Z And в 1960—1965 гг. 1968, 38, 155—170.  
Спектроскопическое изучение симбиотических звезд AX Per, CI Cyg и BF Cyg. 1969, 39, 124—139.  
О химическом составе симбиотических звезд. 1970, 41—42, 264—274.
41. Боярчук А. А., Гершберг Р. Е. Спектроскопические наблюдения симбиотических звезд Z And, AG Per и AG Dra в 1963 г. 1966, 35, 3—7.
42. Боярчук А. А., Коньков Н. М. Сводный каталог скоростей вращения 2558 звезд. 1964, 31, 44—99.
43. Боярчук А. А., Маматказина А. X. Спектрофотометрическое исследование 45 Vul. 1973, 47, 125—138.
44. Боярчук А. А., Проник Н. Н. Спектрофотометрическое изучение Ве-звезд с мощными оболочками. 1963, 29, 268—277.  
Изучение контура линии H $\alpha$  в спектрах Ве-звезд. 1964, 31, 3—11.  
О бальмеровском декременте в спектрах некоторых Ве-звезд. 1965, 33, 195—205.  
Спектрофотометрическое изучение  $\epsilon$  Tau в 1964 году. 1965, 34, 118—127.  
Спектрофотометрическое изучение  $\epsilon$  Tau в 1965 году. 1967, 36, 203—209.  
Изучение двойной системы с оболочкой AX Mon. 1967, 37, 236—243.
45. Боярчук А. А., Гершберг Р. Е., Годовников Н. В. Формулы, графики и таблицы для количественного анализа излучения водорода в эмиссионных объектах. 1968, 38, 208—218.
46. Боярчук А. А., Гершберг Р. Е., Проник В. И. Формулы, графики и номограммы для количественного анализа спектров эмиссионных объектов. 1963, 29, 291—314.
47. Боярчук А. А., Ефимов Ю. С., Степанов В. Е. Магнитное усиление линий поглощения. 1960, 24, 52—77.
48. Боярчук А. А., Гершберг Р. Е., Годовников Н. В., Проник В. И. Формулы и графики для количественного анализа излучения запрещенных линий в эмиссионных объектах. 1969, 39, 147—162.
49. Боярчук А. А., Гершберг Р. Е., Анисимов К. Я., Монин Г. А., Чуваев К. К. Спектрограф для изучения нестационарных объектов. 1967, 36, 277—280.  
— Боярчук А. А. см. № 31, 37, 51, 195, 249.
50. Боярчук М. Е. Изучение атмосфер звезд типа F.I. Сравнение химического содержания атмосфер звезд с большими и малыми скоростями. 1960, 24, 115—147.  
Изучение атмосфер звезд класса F. II. Спектрофотометрическое изучение атмосфер звезд типа  $\delta$  Шита. 1961, 26, 287—302.  
Изучение атмосфер звезд типа F. III. Связь некоторых характеристик атмосфер звезд со светимостью. 1962, 28, 94—122.  
Изучение атмосфер звезд класса F. IV. Водородные линии. 1963, 29, 239—250.  
О дифференциальных сдвигах линий в спектрах сверхгигантов F5. 1964, 31, 12—22.  
Спектрофотометрическое изучение  $\rho$  Cas. 1965, 34, 136—150.  
Полосы поглощения окиси титана  $\alpha$ -системы в спектрах звезд класса M. 1969, 39, 114—123.  
Аномальное содержание лития в атмосфере звезды 105 Per. 1972, 44, 18—32.  
Содержание лития в атмосферах переменных M-звезд типа SR. 1972, 46, 47—53.

- Содержание лития в атмосферах двух dM5-звезд. 1972, 46, 54—58.
51. Боярчук М. Е., Боярчук А. А. Силы осцилляторов, определенные на основании изучения спектров звезд. 1960, 22, 234—256.
  52. Боярчук М. Е., Войханская Н. Ф. Спектрофотометрическое изучение четырех К-звезд. 1970, 41—42, 342—356.
  - Боярчук М. Е. см. № 243, 251.
  - Браунфельд С. Г. см. № 14.
  53. Бродская Э. С. Электрофотометрические наблюдения четырех звезд сверхгигантов и двух звезд Вольф-Райе. 1954, 6, 84—104.  
Новая переменная звезда типа Т Тауги, обнаруженная по спектру. 1954, 7, 133.  
Спектры и величины 400 звезд спектральных классов О—В5 в площадке Млечного Пути с центром  $\alpha = 23^{\text{h}}27^{\text{m}}$ ,  $\delta = +61^{\circ}$ . 1953, 10, 104—119.  
Каталог спектральных классов, величин и показателей цвета 5752 звезд в площадке Млечного Пути с центром  $\alpha = 23^{\text{h}}25^{\text{m}}$ ,  $\delta = 61^{\circ}30'$ . 1955, 14, 3—139.  
Исследование межзвездного поглощения в Кассиопее. 1956, 16, 162—170.  
Исследование спектров и показателей цвета звезд в некоторых участках Млечного Пути. 1956, 16, 219—221.  
Спектры, фотографические величины и показатели цвета 3206 звезд в созвездии Кассиопея. 1960, 24, 160—202.  
Распределение поглощающей материи вблизи галактического экватора в области долгот 91—107°. 1961, 26, 375—381.  
Пространственное распределение звезд А0 в направлении созвездий Персей—Кассиопея. 1961, 26, 382—385.  
Межзвездное поглощение в направлении Крабовидной туманности. 1963, 30, 126—130.  
Фотоэлектрические наблюдения  $\gamma$  Орн в трех цветах. 1965, 33, 238—241.
  54. Бродская Э. С., Шайн П. Ф. Спектры и фотографические величины 3340 звезд в созвездии Персей. 1958, 20, 299—337.
  - Бродская Э. С. см. № 35.
  55. Брунс А. В. Избирательный RC-фильтр. 1961, 26, 445—448.  
Измерение частоты следования импульсов в широком динамическом диапазоне. 1962, 28, 334—340.  
Автоматическая стабилизация нуля в усилителях постоянного тока. 1967, 36, 298—303.  
Об одном методе повышения коэффициента полезного действия в транзисторных стабилизаторах постоянного напряжения. 1967, 37, 281—287.
  56. Брунс А. В., Бумба В. Фотоэлектрический спектрокомпаратор. 1960, 22, 134—143.
  57. Брунс А. В., Смирнов А. И. Измеритель скорости счета с линейной выходной характеристикой. 1963, 30, 312—319.
  58. Брунс А. В., Никулин Н. С., Северный А. Б. Новый метод одновременной регистрации параметров поперечного магнитного поля. 1965, 33, 80—85.
  59. Бумба В. Связь хромосферных вспышек с магнитными полями группы солнечных пятен. 1958, 19, 105—114.  
Результаты исследования магнитного поля одиночных солнечных пятен. 1960, 23, 212—252.  
Результаты исследования эффекта Эвершеда в одиночных солнечных пятнах. 1960, 23, 253—276.  
Связь между магнитным полем и движением в одиночных солнечных пятнах. 1960, 23, 277—290.
  - Бумба В. см. № 56.
  60. Бурнашев В. И., Петров П. П. Звездный электрофотометр СФ-68. III. Результаты испытаний. 1973, 47, 176—181.
  61. Буров А. Ф., Кутева З. Н., Николаев П. В., Макарова Р. К., Сабинин Ю. А. Фотоэлектрическая следящая система с накоплением сигнала рассогласования. 1970, 41—42, 412—419.
  62. Буславский В. Г. К теории «покровного эффекта». 1965, 33, 279—285.  
К теории центральных интенсивностей линий поглощения в спектрах звезд. 1965, 34, 182—192.  
К теории переноса излучения в фотосферах звезд. 1966, 35, 81—86.  
О распределении температур в солнечном пятне. 1966, 35, 179—185.  
К теории  $H$ -функции при изотропном рассеянии. 1967, 36, 274—276.  
О глубинах образования некоторых линий поглощения в атмосфере Солнца. 1969, 39, 317—324.
  - Вальц И. А. см. № 13.
  63. Вавысек В. Дисперсия скоростей ярких звезд В и межзвездного газа. 1956, 16, 189—191.
  64. Виноградов Ю. И. Воздействие протонных и непротонных вспышек на ионосферу по наблюдениям на ионосферной станции Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. 1964, 32, 67—75.  
К вопросу о связи спорадического слоя  $E$  ионосферы с солнечными вспышками. 1965, 34, 319—327.  
О влиянии уровня солнечной активности на вероятность появления спорадического слоя  $E$  ионосферы (по наблюдениям в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР). 1966, 35, 243—247.  
К вопросу о пространственном распределении спорадического слоя  $E$  ионосферы. 1967, 37, 421—427.
  65. Виноградов Ю. И., Ерюшев Н. Н. Рентгеновское излучение вспышек,

- возникающих за лимбом солнечного диска. 1963, 29, 141—145.
66. Виноградов Ю. Н., Савич Н. А. Со-  
поставление развития отдельных уз-  
лов вспышек в  $H_{\alpha}$  с временным ходом  
ионизирующего излучения. 1960, 24,  
48—51.
  67. Витриченко Э. А. Исследование за-  
висимости свечения источников по-  
стоянного действия от температуры.  
1966, 35, 274—278.  
Исследование аномально быстрых  
звезд ранних спектральных классов.  
II. 1969, 39, 63—95.  
Двойная система HD 175514. I.  
1969, 40, 82—95.  
Улучшение спектроскопических эле-  
ментов Y Cyg. 1974, 43, 71—75.  
Двойная система HD 175514. III.  
Анализ наблюдений 1968 года. 1974,  
43, 76.
  68. Витриченко Э. А., Ефимов Ю. С.  
Электрооляриметрия  $\chi^2$  Ori. 1965,  
34, 114—117.
  69. Витриченко Э. А., Копылов И. М.  
Количественный анализ атмосфер  
горячих сверхгигантов. I. Сверхги-  
ганты B8—A0. 1962, 27, 241—266.
  70. Витриченко Э. А., Полосухина Н. С.  
Атлас спектра лампы с железным  
полым катодом и неоновым напол-  
нением. 1973, 47, 159—161.
  71. Витриченко Э. А., Семенов И. Элек-  
трофотометрия сверхгигантов. 1965,  
34, 106—113.
  72. Витриченко Э. А., Гершберг Р. Е.,  
Метик Л. П. Исследование аномаль-  
но быстрых звезд ранних спектраль-  
ных классов. 1965, 34, 193—226.
  73. Витриченко Э. А., Марсаков В. А.,  
Холопов Н. Н., Царевский Г. С.  
Спектральная двойственность  $\delta$  Ser  
C. 1974, 49, 80—85.
  - Витриченко Э. А. см. № 198, 199.
  74. Владимирский Б. М. Исследование  
эффектов магнитных бурь в космиче-  
ских лучах. III. 1962, 27, 194—199.  
О возможности обнаружения гамма-  
излучения космических объектов.  
1962, 27, 200—204.  
К вопросу об энергетическом спектре  
солнечной компоненты космических  
лучей. 1962, 28, 320—323.  
Малые эффекты вспышек в космиче-  
ских лучах на фоне Форбуш-спада.  
1963, 30, 250—261.  
Эффект хромосферных вспышек в ко-  
смических лучах в зависимости от  
предшествующей активности данной  
области на Солнце. 1963, 30, 262—  
266.  
К вопросу о химическом составе сол-  
нечных космических лучей. 1964, 31,  
271—275.  
Малые эффекты вспышек в космиче-  
ских лучах и «протонные вспышки».  
1965, 33, 151—155.  
О природе кратковременных возра-  
станий интенсивности тяжелых ядер,  
обнаруженных на космических ра-  
кетах и кораблях-спутниках. 1965,  
34, 305—312.
  - Малые эффекты вспышек в космиче-  
ских лучах по измерениям в страто-  
сфере. 1968, 38, 132—140.  
Атмосферный инфразвук как воз-  
можный фактор, передающий влия-  
ние солнечной активности на био-  
сферу. 1974, 52, 190—194.
  75. Владимирский Б. М., Левинский  
Л. С. Об особенностях межпланет-  
ной плазмы и магнитного поля в пло-  
скости солнечного экватора. 1970,  
41—42, 240—247.  
Северо-южная асимметрия солнеч-  
ной активности и меридиональная  
структура солнечного ветра. 1974,  
49, 31—35.  
О распределении вспышечной ак-  
тивности относительно границ сек-  
торной структуры межпланетного  
магнитного поля, экстраполирован-  
ных на Солнце. 1974, 51, 74—79.  
Декаметровое радиоизлучение Юпи-  
тера, солнечные космические лучи и  
меридиональная структура солнеч-  
ного ветра. 1974, 52, 158—162.
  76. Владимирский Б. М., Панкратов  
А. К. О связи рентгеновского излу-  
чения солнечных вспышек с их эф-  
фектами в космических лучах. 1964,  
32, 46—55.
  77. Владимирский Б. М., Северный  
А. Б. Ядерные процессы в хромо-  
сферных вспышках. 1963, 29, 80—85.
  78. Владимирский Б. М., Степанян  
А. А. Оценка потоков  $\gamma$ -квантов  
с энергией  $5 \cdot 10^{12}$  эв от некоторых  
небесных объектов. 1970, 41—42,  
198—202.
  79. Владимирский Б. М., Панкратов  
А. К., Степанян А. А. Суточная  
вариация космических лучей и ее  
связь с солнечной активностью.  
1966, 35, 222—242.
  80. Владимирский Б. М., Степанян А. А.  
и Фомин В. П. Всплеск  $\gamma$ -излучения  
сверхвысокой энергии от рентге-  
новского источника Cyg X-3. 1974,  
51, 3—7.
  81. Владимирский Б. М., Дворя-  
нин А. С., Ерюшев Н. И., Моисеев  
И. Г., Нешпор Ю. И., Огирь М. Б.,  
Однцова И. Н. Хромосферная  
вспышка 22 августа 1958 года и  
связанные с ней радио- и геофизиче-  
ские эффекты. 1961, 26, 74—89.  
— Владимирский Б. М. см. № 217,  
334, 336.  
Войхалская И. Ф. см. № 52.
  82. Выставкин А. Н., Ефимов В. А.,  
Листвин В. Н., Моисеев И. Г., По-  
пов Е. И., Потапов В. Т. Радиоаст-  
рономические наблюдения в полосе  
0,9—1,5 мм на 22-метровом радиоте-  
лескопе с приемником на  $n - \text{InSb}$ .  
1971, 43, 26—29.
  83. Газе В. Ф. Спектр  $\gamma$  Cassiopeae  
в 1940 и 1941 гг. 1947, 1, ч. 1, 59—73.  
Выбор места для Крымской астро-  
физической обсерватории. 1948, 3,  
99—108.  
О структуре туманности IC 405  
в лучах  $H_2$  и в интегральном свете.  
1953, 10, 213—214.

- Фотографии пяти туманностей с интересной структурой, 1954, 11, 42—43.  
Исследование строения Галактики по эмиссионным туманностям. 1954, 12, 88—92.
84. Газе В. Ф., Шайн Г. А. Исследование спектра углеродных звезд. 1948, 2, 51—97.  
Второй список диффузных туманностей. 1951, 7, 93—98.  
Две новые волокнистые туманности около  $\alpha^2$  и  $\alpha^1$  Cygni. 1952, 8, 17—18.  
Третий список диффузных эмиссионных туманностей. 1952, 9, 52—68.  
Новая туманность около новоподобной звезды FU Orionis. 1953, 10, 207.  
О новой туманности около  $\sigma$  Scorpii. 1953, 10, 208—209.  
Четвертый список диффузных эмиссионных туманностей. 1954, 11, 39—41.  
Каталог эмиссионных туманностей. 1955, 15, 11—30.  
Газе В. Ф. см. № 363, 365.
85. Галкин Л. С. Двухмерная классификация спектров звезд, полученных с очень малой дисперсией. 1952, 9, 82—115.  
Исследование звезд спектральных классов А и F с аномальными интенсивностями линий металлов. 1958, 19, 187—188.  
Спектрофотометрическое изучение пекулярной звезды 73 Дракона. 1964, 31, 23—36.  
О некоторых свойствах атмосферы Юпитера. I. 1964, 32, 11—13.  
О некоторых свойствах атмосферы Юпитера. II. 1966, 35, 248—252.  
О некоторых свойствах атмосферы Юпитера. III. 1969, 39, 232—235.
- Галкин Л. С., см. № 244, 250—252.
86. Галкина Т. С. Исследование физических условий в атмосферах тесных двойных систем ранних спектральных классов. I. Звезда Пласскетта HD 47129. 1967, 36, 175—202.  
Исследование физических условий в атмосферах тесных двойных систем ранних спектральных классов. II. AO Cas. 1967, 37, 205—235.  
Спектрофотометрическое изучение тесной двойной системы HD 190918. 1969, 39, 44—62.  
Спектрофотометрические наблюдения звезды типа WC6 + O6 HD 193793. 1970, 41—42, 283—297.  
Спектрофотометрическое исследование спектрально-двойной звезды  $\alpha$  Девы. 1973, 47, 83—110.
87. Галкина Т. С., Копылов И. М. Количественный анализ атмосфер горячих сверхгигантов. III. Сверхгиганты A2—F2. 1962, 28, 35—93.  
— Галкина Т. С. см. № 14, 199.
88. Гарунов А. А. Номограммы для числений магнитного поля по записям магнитографа от продольной и поперечной составляющих поля. 1962, 28, 224—229.  
— Герасимов В. П. см. № 385.
89. Гершберг Р. Е. О тонковолокнистой структуре и поляризации отражательных туманностей. 1960, 23, 21—30.  
Расширение областей Н II и образование периферийных структур в диффузных туманностях. 1961, 25, 76—87.  
О температуре в переходной области между зонами Н II и Н I межзвездной среды. 1961, 26, 324—341.  
Радиополучение планетарных туманностей и определение расстояний до этих объектов. 1962, 28, 159—165.  
Исследование эмиссионной туманности NGC 6618. Вспышки сверхновых и диффузные туманности. 1963, 30, 90—103.  
О характере внутренних движений межзвездного газа. 1964, 31, 100—109.  
О фотометрических и колориметрических характеристиках эруптивных звезд. I. 1964, 32, 133—154.  
О фотометрических и колориметрических характеристиках эруптивных звезд. II. 1965, 33, 206—214.  
О фотометрических и колориметрических характеристиках эруптивных звезд. III. Теоретические кривые блеска расширяющегося и высвечивающегося газа с учетом эффектов охлаждения. 1967, 36, 216—239.  
Анализ одновременных фотометрических наблюдений вспышек AD Leo и UV Cet. 1968, 38, 177—199.  
Об оптической толщине в радиодиапазоне высвечивающегося, охлаждающегося и расширяющегося водородного облака. 1968, 38, 205—207.  
О вращении звезд типа UV Cet. 1971, 43, 66—70.  
Спектрографическое исследование вспыхивающей звезды YZ CMi в январе 1969 года. 1972, 45, 118—123.  
Некоторые вопросы высвечивания ионизованного водорода, оптически толстого в частотах линий. 1972, 46, 59—82.  
Эмиссионный балмеровский декремент и электронная плотность во вспышках звезд типа UV Кита. 1974, 51, 117—125.
90. Гершберг Р. Е., Каплан С. А. Балмеровский декремент в спектре вспышек звезд типа UV Cet. 1972, 44, 11—17.
91. Гершберг Р. Е., Метик Л. П. Плотности и массы диффузных туманностей. 1960, 24, 148—159.
92. Гершберг Р. Е., Проник В. И. Абсолютная спектрометрия туманности NGC 7000 с помощью светофильтров. 1959, 21, 215—228.  
Абсолютная фотометрия эмиссионной туманности NGC 6618. 1961, 26, 303—312.
93. Гершберг Р. Е., Темненко В. А. Оптимальная схема для контроля качества вогнутого несферического

- зеркала компенсационным методом Максутава. 1974, 52, 212—216.
94. Гершберг Р. Е., Чугайнов П. Ф. Статистические характеристики вспышек звезд типа UV Cet. 1969, 40, 7—25.
  95. Гершберг Р. Е., Шаховская Н. И. О природе переменности звезды BY Dra. 1974, 49, 73—79.
  96. Гершберг Р. Е., Шноль Э. Э. Бальмеровский декремент в спектрах движущихся сред. Случай ударной ионизации и ударного возбуждения. 1974, 50, 122—151.
  97. Гершберг Р. Е., Коровяковская А. А., Коровяковский Ю. П. Коэффициенты ударного возбуждения и ударной ионизации водорода. 1971, 43, 49—51.
  98. Гершберг Р. Е., Лиморенко К. Я., Проник В. И. Практический метод юстировки оптических систем рефлектора им. академика Шайна. 1973, 47, 153—158.
  99. Гершберг Р. Е., Нешпор Ю. И., Чугайнов П. Ф. Оценка верхнего предела потока жесткого излучения от вспышек звезд типа UV Cet по геофизическому эффекту поглощения космических радиосуммов. 1969, 39, 140—146.
  100. Гершберг Р. Е., Проник В. И., Коркин С. И. Осциллографическая приставка к микрофотометру МФ-4 для записи в интенсивностях. 1960, 22, 166—175.
  101. Гершберг Р. Е., Проник В. И., Щеглов П. В. Фотографирование диффузных туманностей в инфракрасных лучах. 1960, 22, 150—151.
  102. Гершберг Р. Е., Есипов В. Ф., Проник В. И., Щеглов П. В. Исследование эмиссионной туманности NGC 6618. 1961, 26, 313—323.  
— Гершберг Р. Е. *см.* № 16, 37, 41, 45, 46, 48, 49, 72, 229.
  103. Гильварг А. Б., Северный А. Б. Усовершенствования интерференционно-поляризационных фильтров для наблюдений Солнца и опыт кинематографирования протуберанцев. 1951, 6, 45—53.  
— Гильварг А. Б. *см.* № 318.
  104. Глуховский Б. М., Терез Э. И. Характеристики некоторых пороговых фотоумножителей. 1967, 36, 204—297.
  105. Гневышев М. И. и Гневышева Р. С. Новые данные о солнечной короне. 1956, 16, 242—245.  
— Гневышева Р. С. *см.* № 105.
  106. Годовников Н. В., Смирнова Е. И. Расчет магнитного поля солнечных пятен. 1965, 33, 86—91.
  107. Годовников Н. В., Степанин Н. Н. Построение кривых роста с помощью ЭВМ «Минск-4». 1967, 37, 82—88.
  108. Годовников Н. В., Огирь М. Б., Шапошникова Е. Ф. Изменение конфигураций и напряженностей магнитного поля в группах пятен со слабыми вспышками. 1964, 31, 216—246.  
— Годовников Н. В. *см.* № 45, 48.
  109. Голландский О. П. О скоростях звука в атмосферах горячих сверхгигантов. 1964, 32, 127—132.  
О сверхзвуковой турбулентности в атмосферах сверхгигантов. 1965, 33, 266—272.  
Влияние высвечивания на спектр турбулентности в звездной атмосфере. 1972, 46, 83—89.
  110. Голландский О. П., Копылов И. М. Количественный анализ атмосфер горячих сверхгигантов. II. Определение температур и турбулентных скоростей в атмосферах десяти сверхгигантов O9,5 — B5. 1962, 28, 3—34.
  111. Голландский О. П., Чуб А. Т. Исследование спектра турбулентности в применении к звездным атмосферам. 1966, 35, 34—44.  
Исследование спектра турбулентности в применении к звездным атмосферам. 1968, 38, 229—244.  
— Голландский О. П. *см.* № 5, 199.
  112. Головатый В. В., Проник В. И. Синхротронный спектр Крабовидной туманности за лаймановским пределом. 1972, 44, 33—39.  
Ионизация и относительное обилие атомов водорода и гелия в волокнах Крабовидной туманности. 1972, 45, 152—161.  
Расчет и интерпретация наблюдаемых спектров волокон Крабовидной туманности. 1973, 48, 46—57.
  113. Гонасюк С. И. О движениях во вспышке на Солнце 31 августа 1956 г. 1958, 19, 100—104.  
Исследование хромосферных вспышек по начальной стадии их развития. 1960, 23, 331—340.  
О влиянии магнитного поля на движения в хромосферных вспышках. 1961, 25, 114—121.  
Движение пятен, связанное со вспышками на Солнце, и возможный характер вывода энергии из области вспышек. 1962, 27, 110—119.  
О движении вещества на различных уровнях солнечной атмосферы в активных областях во время вспышек. 1964, 32, 14—25.  
Временные изменения структуры поперечного магнитного поля в группах пятен и оптические явления. 1965, 33, 100—110.  
О характере магнитного поля пятен в короне. 1965, 34, 288—295.  
О некоторых особенностях движений в одиночных солнечных пятнах. I. 1966, 35, 139—149.  
Временные изменения магнитного поля в активных областях на Солнце. 1967, 36, 56—68.  
Поле скоростей в активной области на стадии появления пятен. 1967, 37, 29—43.  
О некоторых особенностях поля ско-

- ростей в развитой активной области. 1968, 38, 65—77.  
Поле скоростей на двух уровнях в июльской группе 1966 года. 1969, 40, 111—126.  
Пространственная неоднородность проводимости и бессильные магнитные поля. I. 1970, 41—42, 168—173.
114. Гопасюк С. И., Кальман Б. О крупномасштабном поле скоростей в фотосфере Солнца. 1972, 44, 52—63.
  115. Гопасюк С. И., Карташова Л. Г. Изменение со временем поля фотосферных скоростей в активной области. 1970, 41—42, 59—66.
  116. Гопасюк С. И., Огирь М. Б. О связи вспышек с выбросами на Солнце. 1963, 30, 185—199.
  117. Гопасюк С. И., Цап Т. Т. Поле скоростей на разных уровнях в активных областях на Солнце. 1970, 41—42, 15—24.  
Поля скоростей и яркостей в атмосфере Солнца. 1971, 43, 174—189.  
Поле скоростей на разных глубинах в невозмущенной атмосфере Солнца. 1972, 44, 45—51.  
Крупномасштабное поле скоростей, магнитные поля и яркости в атмосфере Солнца. 1972, 45, 3—13.  
Поле скоростей в активных областях на Солнце. 1972, 45, 14—19.  
Яркости на разных высотах в активных областях Солнца. 1972, 46, 90—100.  
О нагреве активных областей на Солнце. 1972, 46, 101—105.  
О характере крупномасштабного поля скоростей в невозмущенной атмосфере Солнца. 1973, 47, 26—35.  
Особенности эволюции магнитного поля в невозмущенной атмосфере Солнца. 1974, 49, 3—14.
  118. Гопасюк С. И., Ерюшев Н. Н., Нешпор Ю. И. К вопросу о радио- и жестком рентгеновском излучении солнечных вспышек. 1967, 37, 109—117.  
О роли сжатия и расширения области генерации в синхротронном радиоизлучении. 1969, 39, 299—316.  
О жестком рентгеновском излучении солнечной вспышки 28 сентября 1961 г. 1969, 40, 138—146.
  119. Гопасюк С. И., Огирь М. Б., Цап Т. Т. Некоторые особенности активных областей на Солнце во время вспышек. 1963, 30, 148—160.
  120. Гопасюк С. И., Огирь М. Б., Северный А. Б., Шапошникова Е. Ф. Структура магнитных полей и ее изменения в районе солнечных вспышек. 1963, 29, 15—67.  
— Гопасюк С. И. см. № 235, 329.
  121. Горшков А. Г., Моисеев И. Г., Согласнов В. А. Спектральные плотности потоков радиоизлучения дискретных радиоисточников на волне 3,5 см. II. 1972, 45, 176—181.  
— Горшков А. Г. см. № 13.
  122. Григорьева Н. Б. Исследование межзвездного поглощения в Кассиопее (галактические долготы 117—124°). 1965, 34, 238—242.  
Пространственное распределение ранних В-звезд и звезд А0 в направлении галактических долгот 117—124° (Кассиопея). 1967, 36, 260—263.
  123. Гринин В. П. Эффект отражения в эруптивных звездах. 1971, 43, 52—65.  
Эффект отражения в эруптивных звездах. Кривые блеска и цвета вспышек звезд типа UV Cet. 1973, 48, 58—72.  
Образование линии в медленно движущихся средах. 1974, 51, 65—73.  
— Груздев П. Ф. см. № 298.
  124. Гусейнов М. Дж. Линии поглощения, пригодные для учета влияния рассеянного света, при спектрофотометрии солнечных пятен. 1966, 35, 177—178.  
Определение напряженности магнитного поля по разным линиям поглощения. 1969, 39, 253—264.  
Вертикальное распределение напряженности магнитного поля в ядре солнечного пятна. 1970, 41—42, 89—96.  
Вертикальное распределение напряженности магнитного поля яркой области в полутени пятна. I. 1972, 44, 70—76.  
Вертикальное распределение напряженности магнитного поля яркой области в полутени пятна. II. 1973, 47, 7—13.  
О неоднородности магнитного поля в тени солнечных пятен. 1974, 49, 15—24.  
Изучение магнитных полей в тени солнечных пятен по фраунгоферовым линиям с различной чувствительностью к температуре. 1974, 50, 168—174.
  125. Дабахов А. К. Об одном методе получения составных снимков. 1972, 44, 134—136.  
— Дабахов А. К. см. № 303.
  126. Двадцать второй съезд Коммунистической партии Советского Союза. 1962, 27, 3—4.
  127. Дворяшин А. С. О короткопериодических пульсациях магнитного поля Земли. 1959, 21, 198—208.  
Протонные вспышки 1957—1961 гг. и геометрия межпланетного магнитного поля. 1962, 28, 293—304.  
Радиоизлучение протонных вспышек. II. 1962, 28, 305—319.  
Слабые протонные вспышки и поглощение в полярной шапке. 1963, 30, 224—249.  
Солнечный ветер и ударная волна, распространяющаяся от вспышек через межпланетное пространство. 1967, 36, 126—133.
  128. Дворяшин А. С., Левицкий Л. С. Корпускулярное излучение Солнца на нисходящей ветви цикла солнечной активности. 1962, 27, 167—177.
  129. Дворяшин А. С., Одинцова И. Н. Образование дополнительной иони-

- зации в области  $E$  ионосферы во время сильных магнитных бурь. 1960, 23, 113—128.  
О связи геомагнитных пульсаций  $P_c$  с поведением ионосферы. 1960, 24, 16—25.
130. Дворяшин А. С., Пикельнер С. Б. О тонкой структуре внезапного начала магнитной бури. 1960, 22, 144—149.
131. Дворяшин А. С., Левицкий Л. С., Панкратов А. К. Хромосферные вспышки и корпускулярное излучение Солнца в областях малых и высоких энергий. 1961, 26, 90—135.  
— Дворяшин А. С. *см.* № 81.
132. Дежё Л. Краткая заметка о солнечных пятнах. 1956, 16, 208—209.
133. Дибай Э. А., Проник В. И. Физические условия в ядре галактики NGC 1275. 1966, 35, 87—96.
134. Димов Н. А. Применение модуляции коэффициента усиления фотомножителя для измерения слабых световых потоков. 1960, 22, 9—11.  
Сравнение методов счета фотонов и усиление постоянного тока для слабых световых потоков. 1963, 30, 308—311.  
Фотоэлектрический трехканальный спекроколориметр. 1966, 35, 279—288.  
Фотоэлектрический спектрофотометр с высоким разрешением в фокусе кудэ 2,6-м телескопа. 1972, 45, 182—187.
135. Димов Н. А., Никонов В. Б. Фотоэлектрическое определение эквивалентных ширин  $H_\gamma$  в спектрах звезд ранних классов. 1960, 22, 176—188.
136. Димов Н. А., Северный А. Б. Внеатмосферные наблюдения светимости неба со спутников «Космос-51» и «Космос-213». I. Метод и калибровка измерений. 1972, 45, 53—66.
137. Димов Н. А., Зверева А. М., Северный А. Б. Внеатмосферные наблюдения светимости неба со спутников «Космос-51» и «Космос-213». II. Результаты измерений и их интерпретация. 1972, 45, 67—89.  
— Димов Н. А. *см.* № 374.
138. Доброправин П. П. Об одном простом методе установки полярной оси экваториала. 1948, 3, 69—72.  
О распределении энергии в спектрах некоторых низкотемпературных звезд. 1950, 5, 59—85.  
Некоторые вопросы практики звездной спектрофотометрии. 1952, 9, 68—81.  
О применении избирательных  $RC$ -фильтров «двойное Т». 1960, 24, 229—234.
139. Доброправин П. П., Никонов В. Б. Компенсационный звездный электроспектрофотометр. 1955, 13, 32—45.
140. Доброправин П. П., Можжерин В. М., Прокофьев В. К. и Черных Н. С. Телевизионные наблюдения малой планеты 1566 Икар с 2,6-метровым рефлектором. 1970, 41—42, 400—405.  
— Доброправин П. П. *см.* № 14.
141. Дубов Э. Е. О турбулентности в спокойных протуберанцах. 1954, 12, 46—55.  
Автоматический гид коронографа Крымской астрофизической обсерватории. 1955, 13, 155—165.  
Изотропная турбулентность и диссипация энергии в спокойных протуберанцах. 1955, 15, 121—129.  
Инструментальные эффекты при фотоэлектрической спектрофотометрии Солнца. 1956, 16, 45—53.  
Распределение скоростей в турбулентной среде и контуры спектральных линий, излучаемых узлами спокойных протуберанцев. 1957, 17, 199—210.  
О балансе энергии и структуре хромосферы. 1960, 22, 101—117.  
Распространение и диссипация волн в хромосфере. 1960, 23, 362—368.  
Возможная интерпретация спектрогелиограмм в свете гипотезы о неоднородной структуре хромосферы. 1960, 24, 301—312.  
О возможном механизме свечения хромосферных вспышек. 1963, 29, 86—96.  
Определение содержания некоторых элементов на Солнце по спектрам солнечных пятен. II. Проверка метода. Определение содержания лития в солнечном пятне. 1964, 32, 26—31.  
Определение содержания некоторых элементов на Солнце по спектрам солнечных пятен. IV. Определение содержания лития по резонансной линии 6707,9 Å. 1967, 36, 87—89.  
К вопросу о соотношениях подобия в магнитной гидродинамике и возможности моделирования солнечных явлений в лаборатории. 1967, 37, 105—108.  
Изучение спектрогелиограмм в линиях металлов и структура хромосферы. 1969, 39, 279—294.  
Турбулентность в спокойных протуберанцах и ударные волны в верхней атмосфере. 1969, 39, 295—298.  
В вопросе о вычислении функции вклада. 1970, 41—42, 180—193.  
Модель хромосферы и переходного слоя от хромосферы к солнечной короне. 1972, 45, 20—39.
142. Дубов Э. Е., Карташова Л. Г. Распределение яркости на спектрогелиограммах, полученных в ряде ультрафиолетовых линий спектра Солнца. 1973, 47, 49—57.  
Распределение яркости на спектрогелиограммах, полученных в ультрафиолетовых линиях, и изменение структуры при переходе от невозмущенного Солнца к активным областям. 1974, 52, 113—130.
143. Дубов Э. Е., Моисеев И. Г. Сопоставление скорости нарастания яркости

- во вспышках и радиоизлучения на волне 1,5 м. 1960, 24, 277—280.
144. Дубов Э. Е., Фесенко Д. А. Структура столба газа за фронтом отраженной ударной волны в ударной трубе. 1966, 35, 204—221.
  145. Дубов Э. Е., Хромова Т. П. Определение содержания некоторых элементов на Солнце по спектрам солнечных пятен. I. Разработка методики. Определение эквивалентной ширины линии лития 6103,6 Å. 1964, 31, 247—258.  
Определение содержания некоторых элементов на Солнце по спектрам солнечных пятен. III. Определение содержания индия. 1966, 35, 186—189.  
— Дубов Э. Е. см. № 9.  
— Егоров В. П. см. № 312.
  146. Елисеев Г. Ф. Об увеличении яркости к краю солнечного диска на волне 8 мм. 1972, 45, 49—52.
  147. Елисеев Г. Ф., Моисеев И. Г. Некоторые свойства активных областей с протонными и непротонными вспышками. 1965, 34, 3—8.
  148. Елисеев Г. Ф., Юровская Л. И. О некоторых особенностях всплесков II типа, сопровождающихся всплесками IV типа. 1967, 36, 112—120.
  149. Елисеева Л. А. Связь радиовсплесков III типа с рентгеновским излучением солнечных вспышек. 1966, 35, 262—264.  
Ионосферные возмущения от областей с протонными и непротонными вспышками. 1967, 37, 153—167.
  150. Елисеева Л. А., Юровская Л. И. Связь источников шумовых бурь с магнитным потоком пятен. 1974, 49, 42—45.  
— Елисеева Л. А. см. № 152.
  151. Ерюшев Н. Н. Некоторые вопросы распространения радиоатмосфериков. 1958, 18, 187—195.  
Ионосферные эффекты большой солнечной вспышки 23 февраля 1956 года. 1958, 20, 3—11.  
Об изменении параметра  $(N/v)_{\text{эфф}}$  в нижней ионосфере во время солнечных вспышек. 1960, 23, 129—137.  
Об определении относительного изменения эффективной проводимости нижней ионосферы для частоты 22 кГц во время солнечных вспышек. 1961, 26, 144—148.  
К анализу ионосферных эффектов солнечных вспышек, регистрируемых на длинных радиоволнах и  $f_{\text{мин}}$ . 1965, 33, 160—163.  
Воздействие солнечных вспышек на состояние нижней ионосферы. 1965, 33, 164—172.  
О радиоизлучении заимбовых всплесков. 1967, 36, 121—125.
  152. Ерюшев Н. Н., Елисеева Л. А. О связи между всплесками радиоизлучения на 3,2 см и ионосферными эффектами, обусловленными рентгеновским излучением солнечных вспышек. 1965, 34, 42—52.
  153. Ерюшев Н. Н. и Нешпор Ю. И. О связи между солнечными вспышками и явлениями в нижней ионосфере. 1958, 20, 12—21.
  154. Ерюшев Н. Н., Смирнов А. И. Регистрация интенсивности атмосфериков на частоте 27 кГц с направленной антенной системой. 1960, 24, 32—40.
  155. Ерюшев Н. Н., Цветков Л. И. Наблюдения радиоизлучения Солнца на волне 3,15 см на 22-метровом радиотелескопе Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. 1970, 41—42, 253—259.  
О геометрии локальных радиоисточников на Солнце по наблюдениям затмения 22 сентября 1968 года. 1972, 44, 112—121.  
О временном ходе поляризации радиовсплесков на Солнце по наблюдениям 29. X 1968 года на волне 3,15 см. 1973, 47, 64—70.  
О квазипериодических флуктуациях интенсивности солнечных радиовсплесков на волне 3,15 см. 1973, 48, 85—92.
  156. Ерюшев Н. Н., Тивин М. В., Цветков Л. И. Поляризационные наблюдения радиоизлучения Солнца на волне 3,15 см. 1971, 43, 3—16.  
— Ерюшев Н. Н. см. № 33, 65, 81, 118.
  157. Есаулов Н. П., Никулин Н. С., Сидоров В. И., Степанян Н. Н., Цугулиев А. И. Наблюдения теплового излучения Луны. 1963, 30, 273—283.  
— Есипов В. Ф. см. № 102.
  158. Ефанов В. А. Радиометр 8-мм диапазона волн. 1974, 50, 183—188.  
Система автоматической регистрации результатов радиоастрономических наблюдений и ввод их в ЭЦВМ. 1974, 51, 154—159.
  159. Ефанов В. А., Моисеев И. Г. К методике наблюдений радиоизлучения Солнца на волне 8 мм. 1965, 34, 53—59.  
Метод наблюдения всплесков радиоизлучения Солнца остро направленными антеннами. 1968, 38, 149—154.  
Наблюдения радиоизлучения источников 3С 273 и 3С 279 на волне 8 мм. 1969, 40, 3—6.  
Наблюдения радиоизлучения Солнца на волнах 8, 13 и 16 мм. 1971, 43, 21—25.  
О поляризованном по кругу излучении над биполярной группой пятен на волне 8 мм. 1973, 47, 58—63.
  160. Ефанов В. А., Моисеев И. Г., Рябов М. И. Исследование некоторых свойств локальных источников радиоизлучения на Солнце в диапазоне 0,8—1,7 см. 1974, 52, 183—189.
  161. Ефанов В. А., Куликов Ю. Ю., Моисеев И. Г., Федосеев Л. И. Наблюдения солнечных активных областей на волнах 1,35; 1,76 и 8 мм. 1973, 48, 93—97.

162. Ефанов В. А., Загатин В. И., Моисеев И. Г., Мисежников Г. С., Штейншлегер В. Б. Наблюдения радиосточника 3С 273 на волне 8,2 мм с применением мазера. 1970, 41—42, 248—252.
163. Ефанов В. А., Загатин В. И., Моисеев И. Г., Товмасын Г. М., Штейншлегер В. Б. Наблюдения переменных радиосточников на волне 8,2 м. 1972, 45, 172—175.
164. Ефанов В. А., Кисляков А. Г., Лебский Ю. В., Моисеев И. Г. и Наумов А. И. Распределение радиояркости на Солнце на волнах 2, 4, 6 и 8 мм. 1972, 44, 137—173.  
— Ефанов В. А. *см.* № 82, 236.
165. Ефимов Ю. С. Поляризационные наблюдения некоторых переменных звезд. 1967, 37, 251—261.  
О наблюдениях поляризации света AD Leo. 1969, 39, 42—43.  
Об измерении поляризации излучения вспышек звезд типа UV Ceti. 1970, 41—42, 357—366.
166. Ефимов Ю. С., Прокофьева В. В. О наблюдении слабых быстропеременных звезд с помощью высокочувствительной телевизионной аппаратуры. 1969, 39, 163—169.
167. Ефимов Ю. С., Шаховской Н. М. Поляризационные наблюдения нестационарных звезд и внегалактических объектов. II. Поляризационные вспышки EV Lac. 1972, 45, 111—117.  
Поляризационные наблюдения нестационарных звезд и внегалактических объектов. III. Поляризация излучения квазаров и ядер галактик. 1972, 46, 3—13.  
Наблюдения линейной поляризации излучения белых карликов. 1974, 50, 68—83.
168. Ефимов Ю. С., Полосухина Н. С., Шаховской Н. М. К методике многоцветных наблюдений поляризации излучения звезд. 1969, 39, 3—10.  
— Ефимов Ю. С. *см.* № 8, 47, 68, 375.
169. Ефремов Ю. Н., Копылов И. М. Об эволюции классических цефеид. 1967, 36, 240—259.
170. Е Ши-хуэй. Спектрофотометрическое исследование солнечных протуберанцев. 1961, 25, 180—233.  
Исследования возбуждения и ионизации водорода в солнечных протуберанцах. 1961, 25, 234—248.  
— Загатин В. И. *см.* № 162, 163.
171. Зверева А. М., Северный А. Б. Магнитные поля и протонные вспышки 7 июля и 2 сентября 1966 года. 1970, 41—42, 97—157.  
— Зверева А. М. *см.* № 137.
172. Зейналов С. К. Изучение атмосфер сверхгигантов. I. Количественный анализ  $\eta$  Leo. 1967, 37, 191—204.  
Изучение атмосферы сверхгигантов. II. Количественный анализ  $\gamma$  Sgr и  $\epsilon$  Peg. 1970, 41—42, 298—341.
173. Зейналов С. К., Копылов И. М. О поле скоростей в атмосфере сверхгиганта  $\eta$  Leo (A0 Ib). 1967, 36, 155—174.
174. Иванов В. Н., Моисеев И. Г., Мопин Ю. Г. Новый радиотелескоп Крымской астрофизической обсерватории АН СССР с 22-метровым параболическим рефлектором. 1968, 38, 141—148.  
— Иванов В. Н. *см.* № 13.
175. Иванов-Холодный Г. С. Опыт фотографирования протуберанцев в инфракрасной линии гелия  $\lambda 10830$ . 1952, 8, 115—118.  
Спектрофотометрическое исследование водорода и гелия в протуберанцах. I. (Экспериментальная часть). 1955, 13, 112—154.  
Спектрофотометрическое исследование водорода и гелия в протуберанцах. II. 1955, 15, 69—94.  
Об отклонении контуров спектральных линий излучения протуберанцев от доплеровского контура. 1958, 18, 109—135.
176. Иванов-Холодный Г. С., Назарова И. И., Пикельнер С. Б., Суханова В. В., Хохлова В. Л. Наблюдения на спектрогелиоскопе в 1950 г. 1952, 8, 142—145.  
— Ильин В. В. *см.* № 39.
177. Иргашев Д. И. О разбалансе потоков вещества в развитых активных областях. 1974, 52, 141—147.
178. Исправления ошибок и опечаток в статье В. Ф. Газе и Г. А. Шайна «Каталог эмиссионных туманностей». 1956, 16, 172.  
— Истомин Л. Ф. *см.* № 6.
179. Ихсанов Р. Н. Спектры, величины и цвета O—A-звезд в площадке Млечного Пути с центром  $\alpha = 20^h 16^m$ ,  $\delta = 42^\circ 30'$ . 1959, 21, 229—256.  
Исследование поглощения в площадке Млечного Пути с центром  $\alpha = 20^h 16^m$ ,  $\delta = 42^\circ 30'$ . 1959, 21, 257—268.  
Эмиссионные туманности в области  $\gamma$  Лебеда. 1960, 23, 31—45.  
К вопросу об определении лучевых скоростей на магнитографе. 1966, 35, 150—160.  
Исследование магнитного поля и скорости газа в солнечных пятнах на разных глубинах с помощью магнитографа. I. Исследование эффекта Эвершеда в сложной группе пятен. 1967, 37, 44—55.
180. Казачевская Т. В. Контурные линий H и K Ca II в спектре вспышки. 1958, 20, 80—85.
181. Казачевская Т. В., Северный А. Б. Исследование водородного спектра хромосферных вспышек. 1958, 19, 46—71.
182. Калиляк А. А., Красовский В. И., Пиконов В. Б. Наблюдение области галактического центра в излучении около 10000 Å. 1951, 6, 119—129.  
— Калман Б. *см.* № 114.
183. Каминко Л. А., Корепанов В. С., Новопашенный В. Б., Чистяков

- Ю. Н., Шипулин Ю. А. Звездный электроспектрофотометр СФ-68. I. Оптическая система спектрофотометра. 1973, 47, 162—169.
- Каплан С. А. *см.* № 90.
- Капусткин А. А. *см.* № 215.
- Карташова Л. Г. *см.* № 23, 115, 142.
184. Качалов В. П., Яковлева А. В. Ультрафиолетовый спектр Солнца в области 2470—3100 Å. 1962, 27, 5—43.
185. Качалов В. П., Хохлов М. З., Хохлова В. Л., Яковлева А. В. Ультрафиолетовые линии Be I в спектре Солнца. 1962, 27, 44—51.
186. Кинле Г. Шкала звездных температур. 1956, 16, 223—227.
- Кисляков А. Г. *см.* № 164.
- Клякотко М. А. *см.* № 330.
187. Коваль А. Н. Спектроскопическое исследование линии D<sub>α</sub> во вспышках. 1960, 22, 81—83.
- Сдвиги линий поглощения, связанные с явлением «усов». 1962, 28, 241—245.
- О движениях, связанных с «усами». 1964, 32, 32—37.
- Изучение «усов» и выбросов в связи с развитием групп пятен. 1965, 33, 138—150.
- Положение «усов» в группе пятен относительно магнитного поля. 1965, 34, 278—287.
- Изучение эмиссии линий металлов в «усах» на диске. 1967, 37, 62—81.
- Количественный анализ контуров линий водорода в «усах». 1972, 44, 94—102.
- Зависимость вспышечной активности групп пятен от направления линии раздела полярностей. 1974, 51, 13—18.
- О некоторых особенностях эмиссии линий металлов во вспышках и «усах». 1974, 52, 100—112.
188. Коваль А. Н., Степанян Н. Н. Описание и исследование горизонтального солнечного телескопа Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. 1970, 41—42, 194—197.
189. Коваль А. Н., Степенко Н. В. Сравнение некоторых спектральных характеристик протонных и нейтронных вспышек. 1963, 30, 200—210.
- Коваль А. Н. *см.* № 23, 319.
190. Козырев Н. А. Источники звездной энергии и теория внутреннего строения звезд. 1948, 2, 3—43.
- Теория внутреннего строения звезд и источники звездной энергии. II. 1951, 6, 54—83.
- О свечении ночного неба Венеры. 1954, 12, 169—176.
- Молекулярное поглощение в фиолетовой части спектра Венеры. 1954, 12, 177—181.
- Объяснение цвета Марса спектральными свойствами его атмосферы. 1955, 15, 147—152.
- О присутствии в атмосфере Земли и других планет неотожествленной молекулы атмосферы Венеры. 1955, 15, 160—168.
- Люминесценция лунной поверхности и интенсивность корпускулярного излучения Солнца. 1956, 16, 148—158.
- Спектральное исследование планет земной группы на 50-дюймовом рефлекторе Крымской обсерватории. 1956, 16, 215—216.
- О некоторых свойствах атмосферы Марса по спектрофотометрическим наблюдениям 1956 года. 1958, 18, 61—65.
191. Колпаков П. Е. К вопросу об изменении магнитных полей солнечных пятен со временем. 1968, 38, 59—64.
192. Комаров Н. С. Электронные плотности в атмосферах «металлических звезд». 1965, 33, 273—278.
- Ковникова В. К. *см.* № 13.
193. Конференция по вопросам астрофизики в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. 1956, 16, 173—175.
194. Копылов И. М. Абсолютные величины галактических скоплений. 1952, 8, 122—131.
- Расстояния и светимости некоторых новых звезд. 1952, 9, 116—122.
- Спектры и величины 731 слабых звезд спектральных классов O — B5 в площадке Млечного Пути с центром  $\alpha = 1^{\text{h}}25^{\text{m}}$ ,  $\delta = +61^{\circ}50'$  (1950). 1953, 10, 120—142.
- Массы оболочек новых звезд. 1953, 10, 200—206.
- 1200-миллиметровый рефлектор Крымской астрофизической обсерватории. 1954, 11, 44—58.
- К вопросу об ассоциации в Скорпионе. 1954, 11, 81—90.
- Спектр  $\gamma$  Кассиопеи в октябре 1953 года. 1954, 12, 162—168.
- Пространственное распределение новых звезд. 1955, 13, 23—31.
- Изучение структуры бело-голубой последовательности на диаграмме спектр—светимость. 1955, 13, 46—75.
- Определение расстояний до внегалактических туманностей по новым звездам. 1955, 13, 76—81.
- Сравнение морфологических признаков и пространственного распределения новых и сверхновых звезд. 1955, 15, 140—146.
- Диаграммы спектр—абсолютная величина для O-ассоциаций и абсолютные величины звезд классов O и B. 1955, 15, 153—159.
- Эффект Штарка в атмосферах звезд O5 — O8. I. 1956, 16, 129—142.
- Нормальные показатели цвета звезд спектральных классов O, B и A. 1958, 18, 41—54.
- Эквивалентные ширины линий поглощения в спектрах 109 звезд O5 — B7. 1958, 20, 123—155.
- Двумерная количественная спектральная классификация 238 звезд O5 — B7 и построение диаграммы

- спектр — абсолютная величина. 1958, 20, 156—207.
- Последовательность звезд типа  $\beta$  Большого Пса. 1959, 21, 71—83.
- Эквивалентные ширины линий поглощения в спектрах 62 звезд В8 — F2. 1960, 22, 189—206.
- Двумерная количественная спектральная классификация звезд спектральных классов В8 — F2. 1960, 23, 148—173.
- Электронные плотности в атмосферах горячих звезд. 1961, 26, 232—286.
- О шкале эффективных температур звезд. 1963, 30, 69—89.
- Эволюционная интерпретация диаграммы спектр—светимость для горячих звезд. I. Параметры «исходной главной последовательности». 1964, 32, 88—99.
- Эволюционная интерпретация диаграммы спектр—светимость для горячих звезд. II. Зависимость период—светимость и массы долгопериодических цефеид. 1965, 33, 286—300.
- Микротурбулентные движения в атмосферах горячих звезд. I. 1965, 34, 163—176.
- Электронные плотности в атмосферах горячих звезд. II. 1966, 35, 11—33.
- Физические характеристики горячих звезд. 1967, 36, 134—154.
195. Копылов И. М., Боярчук А. А. Спектр  $\gamma$  Кассиопеи в августе — сентябре 1954 года. 1955, 15, 190—194.
- Связь скорости вращения звезд со спектральным классом и светимостью. 1959, 21, 40—53.
196. Копылов И. М., Кумайгородская Р. Н. Параметры подсистем и абсолютные величины долгопериодических цефеид. 1955, 15, 169—189.
- Спектрофотометрическое исследование  $\epsilon$  Возничего во время затмения 1955—1957 гг. 1963, 29, 251—267.
197. Копылов И. М., Степенко Н. В. Звездный спектрограф с эшелле. 1965, 33, 308—312.
198. Копылов И. М., Белякина Т. С., Витриченко Э. А. Количественная спектральная классификация «металлических» звезд. 1963, 29, 181—218.
199. Копылов И. М., Витриченко Э. А., Галкина Т. С., Голландский О. П. Количественный анализ атмосфер горячих сверхгигантов. IV. О физических условиях в атмосферах сверхгигантов О — F. 1963, 30, 42—68.
- Копылов И. М. *см.* № 19, 42, 69, 87, 110, 169, 173, 250, 252.
- Корепанов В. С. *см.* № 183.
- Коркин С. И. *см.* № 100.
- Коровяковская А. А. *см.* № 97.
- Коровяковский Ю. П. *см.* № 97.
200. Костякова Е. Б. Спектрофотометрия шести ярких облаков Млечного Пути. 1954, 12, 118—133.
201. Котов В. А. Магнитное поле солнечного протуберанца. 1969, 39, 276—278.
- Магнитное поле и электрические токи униполярного солнечного пятна. 1970, 41—42, 67—88.
- Систематическая погрешность измерений вектора  $H$  магнитографом Крымской астрофизической обсерватории. 1972, 44, 77—86.
- Об интерпретации измерений полного магнитного вектора в солнечных пятнах. 1972, 46, 115—127.
- О калибровке фотоэлектрических измерений магнитного поля. 1973, 47, 14—25.
- Инструментальная поляризация и измерения магнитного поля. 1973, 48, 78—84.
- Исследование поперечного магнитного поля в солнечных пятнах. 1974, 51, 39—55.
- Крамынин А. П. *см.* № 355.
202. Красовский В. И. Новые излучения ночного неба на участке 8000—11000 Å. 1950, 5, 100—104.
- Красовский В. И. *см.* № 182.
203. Крат В. А. Физическая неоднородность солнечной атмосферы. 1956, 16, 200—205.
204. Кривский Л., Нешпор Ю. И. К вопросу о механизме образования декаметрового излучения во время вспышки 12 июля 1961 г. 1967, 36, 98—102.
205. Ксанфомалити Л. В., Шаховской Н. М. Спектр мерцания звезд в области инфранизких частот на 122-см телескопе. 1968, 38, 264—267.
206. Кувшинов В. М. О влиянии инструментальной поляризации на измерения продольных магнитных полей звезд с магнитографом. 1974, 50, 52—56.
- Кувшинов В. М. *см.* № 325.
207. Кудрявченко В. И. Приемные конусы кубического телескопа и нейтронного монитора. 1962, 27, 205—227.
208. Кулапова А. Н., Шаховская Н. И. Спектры вспышек AD Leo 18. II 1971 года. 1973, 48, 31—36.
- Спектральные и электрофотометрические наблюдения вспыхивающей звезды EQ Peg. 1974, 49, 65—72.
- Куликов Ю. Ю. *см.* № 161.
209. Кульчицкий А. П. Простейший фотоэлектрический экспонометр для астрофотометрии. 1972, 46, 155—158.
- Звездный электроспектрофотометр СФ-68. II. Электрическая система. 1973, 47, 170—175.
210. Кумайгородская Р. Н. Спектрофотометрическое изучение Of-звезд. 1960, 24, 91—114.
- Изучение некоторых эмиссионных линий в спектрах звезд Of. 1962, 28, 135—140.
- Некоторые свойства эмиссионного спектра Of-звезд. 1964, 32, 108—126.
- Исследование физических условий

- в атмосферах О-звезд. 1965, 33, 242—265.
- Определение эффективных глубин образования линий поглощения  $\text{HeI}$  и  $\text{He II}$  для звезд спектральных классов О5 и О9. 1965, 34, 177—181.
- Анализ спектров О-звезд, расположенных на высоких галактических широтах. 1967, 37, 182—190.
- Кумайгородская Р. Н. *см.* № 196, 245, 251, 252.
- Курильчик В. Н. *см.* № 13.
211. Курочка Л. Н. Контуры линий водорода, обусловленные суммарным действием уширяющих факторов. 1968, 38, 96—119.
212. Кутева З. Н., Сабинин Ю. А. Дискретные фотоэлектрические следящие системы с накоплением сигнала расогласования. 1972, 45, 196—202.
- Кутева З. Н. *см.* № 61.
- Лаба И. С. *см.* № 356.
213. Лагутин А. Ф. Оптическая система с управляющим зеркалом. 1972, 44, 122—133.
214. Ларионов М. Г., Никаноров А. С., Попов М. В. Ввод радиоастрономической информации с накопителя на широкой магнитной ленте в ЭЦВМ «Наири-2». 1973, 47, 213—217.
215. Ларионов М. Г., Капусткин А. А., Мойсеев И. Г., Николаев Н. Я., Стежка П. Н. Цифровая регистрирующая система для накопления радиоастрономической информации на широкой магнитной ленте. 1973, 47, 206—212.
- Ларионов М. Г. *см.* № 13.
- Лебский Ю. В. *см.* № 164.
216. Левицкий Л. С. О жесткости рентгеновского излучения солнечных вспышек. 1963, 29, 146—151.
- К вопросу о связи повышенного радиоизлучения Солнца на метровых волнах с поглощением в полярной шапке. 1964, 32, 84—87.
- Протонные вспышки в 1961—1962 гг. и связанное с ними радиоизлучение. 1965, 34, 16—41.
- Протонные вспышки в 1963 году. 1966, 35, 253—261.
- Распределение центров активности по гелиографической долготе. 1967, 37, 137—145.
- Изменение относительного числа протонных вспышек разных баллов с ходом цикла солнечной активности. 1967, 37, 158—161.
- Каталог вспышек с космическими лучами, поглощение в полярной шапке и всплески солнечного радиоизлучения в сантиметровом диапазоне. 1970, 41—42, 203—229.
- О связи солнечных космических лучей с энергией  $\geq 10$  Мэв с хромосферными вспышками. 1974, 49, 36—41.
217. Левицкий Л. С., Владимирский Б. М. Об экваториальной зоне излучения приходов космических лучей от Солнца. 1969, 40, 161—172.
- Левицкий Л. С. *см.* № 75, 128, 131.
218. Леушин В. В. Количественный анализ атмосферы в UMa. 1965, 34, 151—162.
- О некоторых особенностях атмосферы  $\gamma$  UMi. 1969, 39, 108—113.
- Спектрофотометрическое исследование Ар-звезд. I. Двумерная количественная спектральная классификация. 1971, 43, 113—129.
219. Леушин В. В., Якомо А. А., Русак Н. П. Об автоматизации относительной спектрофотометрии линий. 1970, 41—42, 384—387.
220. Лиморенко К. Я. Электронный термостат для интерференционно-поляризационного фильтра. 1966, 35, 303—305.
- Лиморенко К. Я. *см.* № 49, 98.
- Листвин В. Н. *см.* № 82.
- Лукьянов С. Ю. *см.* № 24.
221. Любимков Л. С. Об оценке содержания гелия в атмосферах горячих звезд. 1974, 52, 49—64.
- О вычислении функций источников в звездных атмосферах. 1974, 52, 148—157.
- Макарова Р. К. *см.* № 61.
- Маматказина А. Х. *см.* № 43.
222. Мамедова З. Н. Счетно-решающие приборы автоматического управления телескопом. 1960, 24, 220—228.
223. Марков М. Н., Хохлова В. Л., Цугулиев А. И. Исследование теплового излучения отдельных участков лунной поверхности в инфракрасной области спектра. 1963, 30, 284—296.
- Марсаков В. А. *см.* № 73.
224. Мартыничук Н. А., Монин Г. А. Прибор для печатания карт магнитного поля Солнца. 1962, 28, 271—276.
225. Мартыничук Н. А., Прокофьева В. В. Опыт инфракрасного фотографирования внешней короны Солнца. 1962, 28, 288—292.
226. Мельников О. А. О шкале спектрофотометрических градиентов и температур звезд. 1956, 16, 238.
227. Мергенталер Я. Е. Фотометрия солнечных пятен. 1956, 16, 207—208.
228. Метик Л. П. Спектральные классы, фотографические величины и показатели цвета 3404 звезд в созвездии Лебедя (центр  $\alpha_{1950} = 20^{\text{h}}44^{\text{m}}$ ,  $\delta_{1950} = +45^{\circ}0'$ ). 1960, 23, 60—112.
- О пространственном распределении О—В2-звезд и поглощающей материи в созвездии Лебедя (центр  $\alpha = 20^{\text{h}}44^{\text{m}}$ ,  $\delta = +45^{\circ}$ , 1950,0). 1961, 26, 386—394.
- Исследование пространственного распределения звезд в области Лебедя и SA 40 (центр  $l = 52^{\circ}$ ,  $b = +0^{\circ}.5$ ). 1962, 27, 283—290.
- О плотности пыли и газа в направлении  $l = 52^{\circ}$ ,  $b = 0$  (созвездие Лебедь). 1963, 29, 315—317.
- Трехцветные электрофотометрические наблюдения  $\alpha^2$  CVn и  $\beta$  CrV. 1974, 50, 63—67.
- Трехцветные электрофотометриче-

- ские наблюдения 15 Vul и  $\gamma$  Cyg. 1974, 52, 32—34.
229. Метик Л. П., Гершберг Р. Е. Абсолютная фотометрия некоторых планетарных туманностей в области  $H_\alpha$ . 1964, 31, 112—117.
230. Метик Л. П., Проник И. И. Определение расстояния до планетарных туманностей по межзвездному поглощению. 1963, 30, 113—117.
231. Метик Л. П., Проник И. И. Эффект покраснения центральных областей нормальных галактик. 1974, 49, 86—88.
- Многоцветная фотометрия компактных галактик Маркаряна 34, 42, 69, 205. 1974, 52, 65—70.
- Метик Л. П. *см.* № 72, 91, 282.
- Мисежников Г. С. *см.* № 162.
232. Митропольская О. Н. Построение кривой роста и исследование физических условий в солнечных факелах. 1952, 8, 93—114.
- Исследование физических условий в солнечных факелах. 1954, 11, 152—164.
- Контуры линий  $H_\alpha$  и  $H_\delta$  водорода в факеле и фотосфере. 1955, 15, 130—135.
- Митропольская О. Н. *см.* № 246.
233. Можжерин В. М. К учету дифференциальных эффектов при определении координат далеких искусственных космических объектов. 1974, 51, 126—132.
- Можжерин В. М. *см.* № 14, 140.
234. Моисеев И. Г. Помехоустойчивая установка для регистрации радиоизлучения Солнца. 1955, 15, 104—110.
- Наблюдения радиоизлучения Солнца во время солнечного затмения 30 июня 1954 года. 1958, 18, 196—197.
- О скорости потоков частиц в солнечной короне по наблюдениям радиоизлучения Солнца. 1960, 24, 3—15.
- О размерах агента, возбуждающего радиовсплески II типа. 1963, 30, 141—147.
235. Моисеев И. Г., Гопасюк С. И. О сопоставлении спорадического радиоизлучения Солнца на волне 1,5 м с оптическими процессами на Солнце. 1957, 17, 211—218.
236. Моисеев И. Г., Ефанов В. А. О всплесках радиоизлучения Солнца на волне 8 мм. 1967, 37, 128—136.
237. Моисеев И. Г., Юровский Ю. Ф. Некоторые способы регистрации быстропротекающих процессов на Солнце с помощью многоэлементного радиointерферометра. 1960, 24, 26—31.
238. Моисеев И. Г., Юровская Л. И., Юровский Ю. Ф. Каталог необычных явлений в радиоизлучении Солнца на частоте 208 МГц за период МГГ и МГСС. 1969, 39, 325—537.
- Моисеев И. Г. *см.* № 13, 81, 82, 121, 143, 147, 159—164, 174, 215.
239. Монин Г. А. Спектрорегистратор лучевых скоростей. 1952, 8, 119—121.
240. Монин Г. А., Северный А. Б. Спектрогелиограф Крымской астрофизической обсерватории. 1951, 7, 113—117.
- Монин Г. А. *см.* № 49, 224.
241. Монин Ю. Г. Определение упругих деформаций рефлектора радиотелескопа РТ-22 Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. 1970, 41—42, 260—263.
- Монин Ю. Г. *см.* № 174.
242. Мустель Э. Р. Исследование вопроса о выбрасывании материи новыми звездами после максимума блеска. 1948, 1, ч. II, 91—171.
- О равновесии солнечной хромосферы. 1948, 2, 98—102.
- Об основных физических принципах теории лучевого равновесия звездных атмосфер. 1948, 2, 123—130.
- О выбрасывании ионов кальция с поверхности Солнца. 1948, 3, 3—30.
- Об интерпретации явлений, сопровождающих замену предмаксимального спектра новых звезд главным спектром. 1949, 4, 23—48.
- О механизме расширения новых звезд перед максимумом блеска и массы новых звезд. 1949, 4, 152—190.
- О происхождении вспышек новых звезд. 1951, 6, 144—173.
- Декремент бальмеровской серии в спектре флоккулов. 1951, 7, 3—33.
- Распределение энергии в непрерывном спектре новых звезд. 1951, 7, 118—123.
- О физической природе кальциевых флоккулов. 1952, 9, 25—40.
- Проблема истечения вещества из стационарных звезд. 1953, 10, 143—151.
- О механизме свечения водородных флоккулов. 1954, 11, 102—128.
- К вопросу о механизме свечения флоккулов в линиях  $H_2$  и  $K_2$ . 1954, 11, 165—169.
- О хромосфере над солнечными пятнами. 1955, 13, 96—102.
- О происхождении непрерывного спектра хромосферных вспышек. 1955, 15, 54—68.
- О выбрасывании вещества из хромосферных вспышек. 1955, 15, 95—103.
- Физика флоккулов и корпускулярная эмиссия Солнца. 1956, 16, 206—207.
- Некоторые результаты в области спектроскопии звезд. 1956, 16, 221—222.
- Проблема истечения вещества из стационарных звезд. 1958, 19, 153—164.
- Проблема истечения вещества из стационарных звезд. Часть III. Изучение оболочки, создаваемой корпус-

- кулярным излучением от звезды. 1959, 21, 24—39.
243. Мустель Э. Р., Боярчук М. Е. Изучение спектра поглощения N Her 1934 в момент максимума блеска. 1958, 20, 86—100.  
О химическом составе атмосферы N Her 1934. 1959, 21, 3—23.
244. Мустель Э. Р., Галкин Л. С. Исследование звезд спектральных классов A и F с аномальными интенсивностями линий металлов. 1954, 12, 148—161.  
Исследование звезд спектральных классов A и F с аномальными интенсивностями линий металлов. 1955, 13, 9—22.  
Исследование звезд спектральных классов A и F с аномальными интенсивностями линий металлов. Часть III. Спектрофотометрия Кастора В. 1955, 15, 136—139.  
Спектрофотометрическое изучение водородных линий в спектрах пекулярных звезд класса A0. 1960, 22, 225—233.  
Спектрофотометрическое изучение водородных линий в спектрах пекулярных звезд класса A. Часть II. 1960, 24, 78—90.
245. Мустель Э. Р., Кумайгородская Р. Н. Спектрофотометрия звезд спектральных классов G0 и K0 со слабыми и сильными линиями. 1956, 16, 122—128.  
Изучение эмиссионных полос в спектре N Her 1934. 1958, 20, 101—117.  
О механизме образования эмиссионных полос в спектре Новой Геркулеса 1934 и физические условия в ее оболочке. 1960, 22, 207—224.
246. Мустель Э. Р., Митропольская О. Н. Сопоставление кальциевых флоккулов с геомагнитными и ионосферными возмущениями. 1958, 18, 162—181.
247. Мустель Э. Р., Северный А. Б. Спектрофотометрия хромосферных вспышек. 1950, 5, 3—23.  
Исследование спектров большой хромосферной вспышки на Солнце 5 августа 1949 года. 1952, 8, 19—50.
248. Мустель Э. Р., Цап Т. Т. Спектрофотометрия линий инфракрасного триплета ионизованного кальция  $\lambda\lambda$  8498, 8542 и 8662 во флоккулах. 1956, 16, 67—72.  
Сравнение водородных и кальциевых спектрогелиограмм и возбуждение атомов водорода во флоккулах. 1957, 17, 162—176.  
Спектрофотометрия линий инфракрасного триплета ионизованного кальция  $\lambda\lambda$  8498, 8542 и 8662 во флоккулах. Часть II. Общие характерные свойства линий инфракрасного триплета в спектре флоккулов и пятен. 1958, 20, 74—79.  
Спектрофотометрия ярких обращений в H- и K-линиях Ca II спектра ядер солнечных пятен. 1960, 22, 75—80.  
О поведении яркого обращения в центре H и K Ca II в области солнечного пятна. 1960, 23, 299—303.
249. Мустель Э. Р., Боярчук А. А., Барташ Т. М. О распределении энергии в непрерывном спектре звезд N Aql 1918 и RS Oph. 1963, 30, 19—24.
250. Мустель Э. Р., Галкин Л. С., Копылов И. М. Спектрофотометрия  $\gamma$  Кассиопеи. 1954, 11, 59—73.
251. Мустель Э. Р., Галкин Л. С., Кумайгородская Р. Н., Боярчук М. Е. Количественная спектральная классификация звезд классов F0 — K5 с хорошо определенными расстояниями. 1958, 18, 3—37.
252. Мустель Э. Р., Копылов И. М., Галкин Л. С., Кумайгородская Р. Н., Барташ Т. М. Спектрофотометрическое изучение Новой Геркулеса 1960 года. I. 1961, 26, 181—216.  
— Мустель Э. Р. см. № 320.  
— Мясников В. А. см. № 314.
253. Назарова И. И. Спектрофотометрия линий Ca и  $\text{Ca}^+$  в хромосферной вспышке. 1951, 7, 130—132.  
— Назарова И. И. см. № 176, 350.
254. Назарова Л. С. Горячие пятна в центральных областях галактик. I. NGC 3351. 1974, 52, 71—78.
255. Назарова Л. С., Щербаков А. Г. Исследование ядра галактики NGC 4303. 1973, 48, 37—46.  
— Назарова Л. С. см. № 17.  
— Наумов А. И. см. № 164.
356. Нгуен-Нган. Наблюдение линий гелия D<sub>3</sub> и  $\lambda$  10830 Å в активных областях. 1972, 44, 107—111.
257. Некрасова С. В. Элементы орбиты затменной переменной SU Aquarii. 1948, 3, 73—80.  
Затменная переменная XZ Canis Minoris. 1948, 3, 93—98.  
Элементы орбиты затменной переменной V451 Ophiuchi. 1951, 6, 130—137.  
Фотоэлектрические наблюдения DD Lacertae. 1952, 9, 126—134.  
Фотоэлектрические наблюдения  $\delta$  Щита. 1954, 11, 91—101.
258. Некрасова С. В., Никонов В. Б., Полосухина Н. С., Рыбка Е. Фотоэлектрические величины и цвета опорных фотометрических звезд в площадках Каптейна. I. Некоторые вопросы методики построения фундаментальных фотометрических каталогов. 1962, 27, 228—240.
259. Некрасова С. В., Никонов В. Б., Рыбка Е. Фотоэлектрические величины и цвета опорных фотометрических звезд в площадках Каптейна. II. Величины и цвета 278 звезд вблизи площадок Каптейна 1—139, 1965, 34, 69—85.  
— Некрасова С. В. см. № 266, 302.
260. Нешпор Ю. И. О глубине проникновения ионизирующего излучения

- хромосферных вспышек. 1961, 26, 156—160.  
Исследование рентгеновского излучения солнечных вспышек радиоастрономическим методом. 1963, 29, 152—159.  
К вопросу об изменении со временем спектра рентгеновского излучения солнечных вспышек. 1965, 34, 313—318.  
Временной ход рентгеновского излучения солнечной вспышки 7 августа 1960 г. 1967, 37, 118—120.
261. Нешпор Ю. И., Савич Н. А. О возможной структуре  $D$ -области во время внезапных ионосферных возмущений. 1960, 24, 41—47.  
— Нешпор Ю. И. *см.* № 3, 81, 99, 118, 153, 204.  
— Никаноров А. С. *см.* № 244.  
— Никитин В. В. *см.* № 13.
262. Николаев Н. Я., Юровский Ю. Ф. Распределение радиояркости на краю солнечного диска по наблюдениям затмений 22 сентября 1968 года и 7 марта 1970 года. 1972, 46, 128—135.  
— Николаев Н. Я. *см.* № 245.
263. Николаев П. В., Рожнова И. П., Сабитин Ю. А. Перспективы применения счета фотонов в фотоэлектрических следящих системах, используемых в астрономии. 1964, 32, 173—186.  
Учет флуктуаций звездных изображений при проектировании фотоэлектрических следящих систем. 1966, 35, 295—302.  
— Николаев П. В. *см.* № 61, 313.
264. Никонов В. Б. О применении многоцветной электроколориметрии к изучению избирательного поглощения в межзвездной среде, 1954, 12, 134—147.  
Некоторые работы Крымской астрофизической обсерватории по звездной астрономии. 1956, 16, 216—249.
265. Никонов В. Б., Николова Е. К. Абсолютная электрофотометрия солнечной короны во время полного солнечного затмения 9 июля 1945 года. 1947, 1, ч. 4, 83—101.  
Опыт фотоэлектрического сравнения яркости ночного неба в Симензе и Партизановке. 1948, 3, 109—111.  
Звездный электрофотометр Крымской астрофизической обсерватории и методы учета ослабления света в земной атмосфере при фотоэлектрических наблюдениях переменных звезд. 1952, 9, 41—51.  
Фотоэлектрические наблюдения переменной звезды типа  $\beta$  Цефея BW Vulpeculae. 1952, 9, 135—141.
266. Никонов В. Б., Некрасова С. В., Полосухина Н. С., Рачковский Д. Н., Чуваев К. К. Диаграмма цвет — светимость для звезд, расположенных в окрестностях Солнца. 1957, 17, 42—88.  
— Никонов В. Б. *см.* № 10, 39, 135, 139, 182, 258, 259.
267. Никонова Е. К. Фотоэлектрическое определение звездных величин Солнца и Луны. 1949, 4, 114—143.  
Фотоэлектрические величины ярких опорных звезд для фотометрии планет. 1954, 11, 74—80.  
Фотоэлектрическое определение цвета Солнца. 1954, 12, 56—64.  
— Никонова Е. К. *см.* № 265.
268. Никулин Н. С. Некоторые усовершенствования магнитографа Крымской астрофизической обсерватории. 1960, 22, 3—8.  
Новое в схеме магнитографа Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. 1964, 31, 209—245.  
Одновременная регистрация всех основных параметров магнитного поля с помощью солнечного магнитографа. 1967, 36, 76—86.
269. Никулин Н. С., Северный А. Б., Степанов В. Е. Солнечный магнитограф Крымской астрофизической обсерватории. 1958, 19, 3—49.  
— Никулин Н. С. *см.* № 58, 157, 325.
270. Новиков С. Б., Цап Т. Т. Временные изменения хромосферной сетки. 1968, 38, 92—95.  
— Новопащенко В. Б. *см.* № 183.
271. Нумерова А. Б. Пространственное распределение ранних звезд в созвездии Лебеда. 1958, 19, 189—229.  
Каталог спектров, фотографических звездных величин и показателей цвета 5000 звезд в созвездии Лебеда на площади  $6^\circ \times 6^\circ$  с центром  $\alpha_{1950} = 20^h 05^m$ ,  $\delta_{1950} = +36^\circ$ . 1958, 19, 230—340.  
Исследование межзвездного поглощения в созвездии Лебеда на площадке с центром  $\alpha = 20^h 04^m$ ,  $\delta = +36^\circ$ . 1961, 25, 46—60.
272. Обашев С. О. Распределение высот солнечных протуберанцев. 1963, 29, 118—125.  
О контурах линий излучения выбросов. 1963, 30, 214—220.
273. Огирь М. Б. Сравнение некоторых типов фотоплёнок, применяемых при фотографировании Солнца с помощью интерференционно-поляризационных фильтров. 1966, 35, 270—273.  
Исследование движений во вспышках относительно поперечной составляющей магнитного поля. 1967, 36, 69—75.  
О некоторых особенностях возникновения и движения вспышек, сопровождающихся всплеском радиоизлучения IV типа. 1967, 37, 94—104.  
О двух типах хромосферных вспышек. 1968, 38, 78—91.  
Некоторые виды движений в хромосферных вспышках. 1970, 41—42, 25—44.  
О движениях двух деталей в узлах хромосферных вспышек. 1971, 43, 157—164.

- Связь движения хромосферных вспышек и выбросов с магнитным полем. 1971, 43, 165—173.  
О некоторых условиях возникновения двухленточных хромосферных вспышек. 1974, 51, 19—31.
274. Огирь М. Б., Стещенко Н. Е. Фотометрия солнечных вспышек. 1961, 25, 134—147.
275. Огирь М. Б., Шапошникова Е. Ф. О связи возникновения мощных вспышек с появлением и усилением пятен. 1965, 34, 272—277.
- Огирь М. Б. *см.* № 9, 23, 81, 108, 116, 119, 120, 277, 371.
276. Одинцова И. Н. Об определении «спокойной» ионосферы. 1957, 17, 232—241.  
О некоторых особенностях поносферных возмущений в средних широтах. 1961, 26, 161—170.
277. Одинцова И. Н., Огирь М. Б. Ионосферные эффекты в Крыму во время полного солнечного затмения 15 февраля 1961 года. 1963, 29, 175—180.
- Одинцова И. Н. *см.* № 81, 129.
- Павлов И. В. *см.* № 335, 336.
278. Панкратов А. К. О радиоизлучении и рентгеновском излучении солнечных вспышек. 1963, 29, 160—174.  
О связи возрастных интенсивности солнечных космических лучей с параметрами соответствующего корпускулярного потока. 1965, 33, 156—159.  
Суточная вариация космических лучей в 1962 и 1964—1965 годах. 1970, 41—42, 230—239.
279. Панкратов А. К., Степанян А. А. Некоторые результаты исследований суточной вариации в нуклонной и жесткой компонентах космических лучей, 1968, 38, 120—131.
- Панкратов А. К. *см.* № 76, 79, 131.
- Пасека А. М. *см.* № 22.
280. Петров П. П. Пятицветная телевизионная фотометрия DI Сер. 1972, 46, 25—34.
- Петров П. П. *см.* № 60.
- Петрова Н. Н. *см.* № 294, 331.
281. Пикельнер С. Б. Сопротивление движению атомов в звездных атмосферах в применении к звездам Вольф — Райе и к Солнцу. 1948, 3, 51—63.  
К теории солнечной короны. 1950, 5, 34—58.  
Индукционные явления в солнечной атмосфере. 1951, 7, 99—112.  
Межзвездный газ и магнитные поля, 1953, 10, 74—96.  
Ионизация гелия в туманностях и температуры O-звезд. 1953, 10, 183—199.  
Спектрофотометрическое исследование диффузной туманности NGC 7000. 1954, 11, 8—17.  
Метод исследования турбулентности по флуктуациям яркости в туманностях. 1954, 11, 34—38.  
Электронный удар как один из возможных механизмов возбуждения свечения красной линии ночного неба. 1954, 11, 185—188.  
Спектрофотометрическое исследование механизма возбуждения волокнистых туманностей. 1954, 12, 93—117.  
Отчет о наблюдении спектра короны 30 июня 1954 года. 1955, 13, 111.  
К теории магнитных бурь и полярных сияний. 1956, 16, 104—121.  
Динамика диффузной материи. 1956, 16, 184—187.  
К вопросу о генетической связи звезд разных подсистем. 1959, 21, 209—214.
282. Пикельнер С. Б., Метик Л. П. О возможной анизотропии скоростей облаков межзвездного газа. 1958, 18, 198—201.
283. Пикельнер С. Б., Чуваев К. К. О вероятном механизме свечения ночного неба в непрерывном спектре. 1954, 11, 178—184.
284. Пикельнер С. Б., Шайн Г. А. Характер турбулентности в межзвездной среде. 1953, 10, 97—103.  
Флуктуации яркости в туманности Ориона как возможное следствие турбулентности. 1954, 11, 22—33.
285. Пикельнер С. Б., Суханова В. В., Чуваев К. К., Шапошникова Е. Ф. Спектрогелиоскопические наблюдения в 1949 году. 1951, 6, 179—186.
- Пикельнер С. Б. *см.* № 130, 176, 365, 378.
286. Полосухина Н. С. Наблюдения поляризации излучения некоторых магнитно-переменных звезд. 1964, 31, 118—125.  
О поляризации излучения магнитно-переменных звезд. 1969, 39, 34—41.  
Наблюдения линии Li  $\lambda 6708$  Å в спектрах некоторых магнитно-переменных звезд. 1973, 47, 118—124.  
О смещении линии Li I  $\lambda 6708$  в спектрах магнитных звезд. 1974, 50, 57—62.
- Полосухина Н. С. *см.* № 70, 168, 258, 266.
287. Попов Г. М. Новая светосильная камера со сферической оптикой. 1962, 27, 309—317.  
О некоторых светосильных катадиоптрических системах. 1962, 28, 341—353.  
Двухзеркальная концентрическая система. 1963, 29, 318—326.  
Светосильная зеркально-линзовая система. 1963, 30, 320.  
Катадиоптрический изохроматический телескоп. 1967, 36, 281—288.  
Зеркально-линзовые изохроматические системы кассегреновского типа. 1967, 37, 273—280.  
Двухзеркальные оптические системы типа Кассегрена. 1968, 38, 268—273.  
Линзовые объективы, свободные от вторичного спектра для широкой спектральной области. 1969, 39, 236—244.

- Контроль асферических зеркал с помощью компенсационных линз. 1969, 40, 173—180.  
Методы расчета и контроля систем Ричи — Кретьена. 1972, 45, 188—195.  
Изготовление больших ситалловых зеркал для телескопов типа Кассегрена и Ричи — Кретьена. 1972, 46, 159—166.  
Двухлинзовые астрономические объективы. 1973, 47, 192—202.  
Системы из двух зеркал, используемые в астрономии. 1974, 50, 200—211.  
Методы расчета светосильных оптических систем. 1974, 51, 133—145.  
Анастигматы из двух зеркал. 1974, 51, 146—153.
288. Попов Г. М., Попова М. Б. Применение ситалла в астрономической оптике. 1970, 41—42, 406—411.
289. Попов Г. М., Проник В. И. Светосильные изопланатические системы для спектрографов. 1965, 34, 328—330.  
Простая светосильная зеркально-линзовая камера со сферическими поверхностями. 1974, 49, 105—116.  
— Попов Е. И. см. № 82.
290. Попова М. Б. Внеосевые системы типа Кассегрена со сферическими зеркалами. 1973, 47, 203—205.  
— Попов М. В. см. № 214.  
— Попова М. Б. см. № 288.
291. Поннер Д., Даниэль и Шайн Г. А. Орбиты компонентов спектрально-двойной звезды HD 85217. 1948, 2, 44—50.  
— Портман В. И. см. № 13.  
— Потанов В. Г. см. № 82.
292. Предисловие. 1947, 1, часть I, 3—4.
293. Прокофьев В. К. О наличии кислорода в атмосфере Венеры. II. 1964, 31, 276—280.  
О наличии кислорода в атмосфере Венеры. III. 1965, 34, 243—251.  
О наличии кислорода в атмосфере Венеры. IV. 1967, 37, 3—9.  
Стигматические установки с вогнутыми дифракционными решетками. 1974, 52, 195—211.
294. Прокофьев В. К., Петрова Н. Н. О наличии кислорода в атмосфере Венеры. 1963, 29, 3—14.
295. Прокофьев В. К., Ратобильская Т. А. Силы осцилляторов для спектра Ti I. 1969, 39, 186—231.
296. Прокофьев В. К., Северный А. Б. Об определении линий лития 6103, 64 Å в спектре солнечных пятен. 1967, 36, 90—97.
297. Прокофьев В. К., Терез Г. А. Дифференциальные сдвиги термов в спектрах Fe I, Ti I, Ni I. 1969, 39, 170—185.
298. Прокофьев В. К., Никопова Е. И., Груздев П. Ф., Фриш М. С. Силы осцилляторов для спектра Fe I. 1964, 31, 281—324.  
— Прокофьев В. К. см. № 345.  
— Прокофьев В. К. см. № 14, 140.
299. Прокофьева В. В. Фотоэлектрические наблюдения цефеид в видимой и инфракрасной областях спектра. 1961, 25, 3—36.  
Наблюдения сверхновых SN 1966 NGC 3198 и SN 1967 NGC 3389 с помощью телевизионной системы. 1970, 41—42, 367—371.
300. Прокофьева В. В., Белякина Т. С. Фотоэлектрические наблюдения Новой Геркулеса 1960 года в красной и инфракрасной областях спектра. 1961, 26, 220—231.  
Спектрофотометрическое изучение Новой Геркулеса 1960 г. II. 1963, 29, 278—290.
301. Прокофьева В. В., Услибер С. И. Опыт наблюдений Венеры с помощью телевизионной системы. 1971, 43, 201—205.
302. Прокофьева В. В., Некрасова С. В., Чугайнов П. Ф. Колебания блеска Новой Геркулеса 1960 года. 1962, 27, 277—282.
303. Прокофьева В. В., Ушакова Н. А., Абраменко А. Н., Дабахов А. К. Телевизионные наблюдения Марса во время противостояния в 1969 году. 1973, 47, 139—152.  
— Прокофьева В. В. см. № 4 — 8, 10, 166, 225.
304. Проник В. И. К определению электронных температур диффузных газовых туманностей. 1957, 17, 14—41.  
Электронная температура, плотность и масса туманности NGC 6523. 1960, 23, 3—20.  
Корпускулярное излучение ядра и электронная температура планетарной туманности IC 418. 1961, 25, 61—70.  
К определению температур ядер планетарных туманностей и возбуждающих ОВ-звезд. 1961, 25, 71—75.  
Электронная температура и ее изменение в планетарной туманности IC 4997. 1961, 26, 342—350.  
О механизме возбуждения свечения волокон в Крабовидной туманности. 1963, 30, 104—112.  
Температура ядер планетарных туманностей и распределение энергий в их спектрах за лаймановским пределом. 1964, 32, 155—164.  
— Проник В. И. см. № 46, 48, 92, 98, 100—102, 112, 133, 230, 289.
305. Проник И. И. Спектральные классы, звездные величины и показатели цвета 3915 слабых звезд в площадке с центром  $18^{\text{h}}10^{\text{m}}$ ,  $-45^{\circ}00'$  (1950). 1958, 20, 208—298.  
Исследование звездного поля в области Млечного Пути с центром  $l = 343^{\circ}$ ,  $b = 0^{\circ}$ . 1959, 21, 268—275.  
Исследование межзвездного поглощения света в области с центром  $l = 343^{\circ}$ ,  $b = 0^{\circ}$ . 1960, 22, 152—165.  
Изучение пространственного распределения звезд различных спектральных классов в области с цен-

- тром  $l = 343^\circ$ ,  $b = 0^\circ$  ( $\alpha = 18^h 10^m$ ,  $\delta = -15^\circ$ ). 1960, 23, 46—59.  
 Фотографические величины и показатели цвета 79 ранних звезд O—B2 в площадке с центром  $\alpha = 18^h 45^m$ ,  $\delta = +5^\circ 0'$ . 1961, 25, 37—45.  
 Спектральные классы и звездные величины 1492 звезд в площадке с центром  $\alpha = 18^h 54^m$ ,  $\delta = +5^\circ 00'$  (1950, 0). 1961, 26, 351—374.  
 К вопросу о соотношении плотности газа и пыли в направлении диффузной туманности NGC 6618. 1963, 30, 118—125.  
 Многоцветная фотометрия пяти SBc-галактик: NGC 925, NGC 1073, NGC 3359, NGC 4088 и NGC 7741. 1972, 45, 162—171.
306. Проник И. И., Чуваев К. К. Фотографическая фотометрия в Галактике NGC 628. 1968, 38, 219—228.  
 Многоцветная фотографическая фотометрия галактики NGC 4254 с помощью электронно-оптического преобразователя. 1969, 40, 96—104.  
 Многоцветная фотометрия двойной системы NGC 5194/5195. 1971, 43, 101—112.  
 Размеры, абсолютные величины и цветовые характеристики деталей спиральной структуры галактик NGC 628, NGC 4254, NGC 5194. 1972, 44, 40—44.  
 — Проник И. И. см. № 44, 230, 231.
307. Разник Р. М. Спектры, звездные величины и показатели цвета звезд в площадке с центром  $\alpha = 0^h 00^m$ ,  $\delta = +66^\circ 5'$ . 1963, 30, 131—140.  
 Исследование распределения пылевого вещества и горячих звезд в окрестностях O-ассоциаций с центром  $\alpha = 23^h 59^m$ ,  $\delta = +67^\circ$ . I. 1964, 32, 165—172.  
 Аномальное покраснение ранних B-звезд в рассеянных скоплениях. 1965, 33, 301—307.  
 Аномальное покраснение O- и ранних B-звезд в рассеянных скоплениях. 1965, 34, 227—237.  
 Количественные оценки величины аномального покраснения ранних звезд в молодых рассеянных скоплениях и O-ассоциациях. 1967, 36, 264—273.  
 К объяснению эффекта аномального покраснения горячих звезд в скоплениях и O-ассоциациях. 1967, 37, 262—266.  
 — Ратобильская Т. А. см. № 295.
308. Рачковская Т. М. Спектрофотометрические наблюдения AB Aur в 1963 и 1964 годах. 1967, 36, 210—215.  
 Спектроскопические исследования звезд V568 Cyg и o Her. 1967, 37, 244—250.  
 О звездах типа PW Aur и неправильных переменных (Ia) ранних спектральных классов. 1969, 39, 96—107.  
 Спектрофотометрическое изучение компонент затменно-переменных систем. I. 1971, 43, 87—100.  
 Спектрофотометрическое изучение затменно-переменных систем. II. 1972, 46, 35—46.  
 Изучение атмосферы EE Peg. 1973, 48, 23—30.  
 Спектрофотометрическое исследование затменно-переменных систем SS Cas и RZ Cas. 1974, 50, 106—114.  
 Спектрофотометрическое изучение затменно-переменной системы RR Lyr. 1974, 52, 35—48.
309. Рачковский Д. Н. К вопросу об образовании линий поглощения в магнитном поле. Замечание к работам В. Унно и В. Е. Степанова. 1961, 25, 277—280.  
 Система уравнений переноса излучения при наличии магнитного поля. 1961, 26, 63—73.  
 Магнито-оптический эффект в спектральных линиях солнечных пятен. 1962, 27, 148—161.  
 Эффекты магнитного вращения в спектральной линии. 1962, 28, 259—270.  
 Образование линий поглощения в солнечных пятнах с учетом рассеивания и поглощения. 1963, 29, 97—117.  
 Теория образования линий поглощения в магнитном поле. Случай полного перераспределения квантов по частотам внутри линий. 1963, 30, 267—272.  
 К теории образования линий поглощения в магнитном поле. 1965, 33, 111—117.  
 Матрица рассеяния при произвольном расщеплении уровней атомов в магнитном поле. 1967, 36, 3—8.  
 Образование линий поглощения в магнитном поле. 1967, 36, 9—21.  
 К вопросу о калибровке измерений магнитографа. 1967, 36, 51—56.  
 Учет аномальной дисперсии в теории образования линий поглощения в магнитном поле. 1967, 37, 56—61.  
 Образование линий поглощения в неоднородном магнитном поле. 1969, 40, 127—137.  
 К теории переноса излучения в магнитном поле. 1971, 43, 190—200.  
 К вопросам теории переноса излучения в неоднородном магнитном поле. 1972, 44, 64—69.  
 К теории переноса излучения при наличии магнитного поля. 1973, 47, 3—6.  
 Уравнения переноса излучения в сильном магнитном поле. 1974, 49, 51—57.  
 Коэффициент поглощения осциллятора в сильном магнитном поле. 1974, 51, 60—64.  
 — Рачковский Д. Н. см. № 266.  
 — Рожнова И. П. см. № 18, 263.  
 — Руденко В. И. см. № 351.
310. Русак А. А., Терез Э. И. Зонные характеристики фотоумножителей, 1971, 43, 206—211.

- Русак Н. П. *см.* № 219, 387.  
 — Рыбка Е. *см.* № 258, 259,  
 — Рябов М. И. *см.* № 160.
311. Рябчикова Т. А. Изменения линий Бальмеровской серии водорода в спектре кремниевой спектрально-переменной Ар-звезды CU Vir. 1972, 45, 146—151.
312. Сабинин Ю. А., Егоров В. П. Система автоматического согласования вращения купола с движением телескопа на экваториальной монтировке. 1960, 22, 275—297.  
 Системы автоматического управления куполом телескопа с преобразователем сферических координат на вращающихся трансформаторах. 1961, 26, 395—414.
313. Сабинин Ю. А., Николаев П. В. Система автоматического гидирования телескопов с полудисковым модулятором светового потока. 1960, 24, 203—219.
314. Сабинин Ю. А., Беляев Е. И., Мясников В. А. Фотогиды переменного тока с анализаторной оптикой для инструментов малых диаметров. 1960, 23, 174—183.  
 — Сабинин Ю. А. *см.* № 61, 212, 263.
315. Савич Н. А. Поведение ионосферы во время солнечных вспышек. 1958, 19, 126—139.
316. Савич Н. А., Абраменко А. П. Панорамная ионосферная станция Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. 1957, 17, 219—231.  
 — Савич Н. А. *см.* № 66, 261.
317. Северный А. Б. Об устойчивости и колебаниях газовых шаров и звезд. 1948, 1, ч. II, 3—90.  
 Спектрогелиоскоп в комбинации со спектрографом. 1949, 4, 191—196.  
 О полной энергии, излучаемой хромосферными вспышками. 1952, 9, 3—12.  
 О магнитогидродинамических явлениях у поверхности Солнца. 1954, 11, 129—151.  
 Исследование физических условий в солнечных протуберанцах по эмиссионным линиям с самопоглощением. 1954, 12, 33—45.  
 Опыт спектрофотометрии фраунгоферовых линий при помощи спектрографа и эталона Фабри. 1951, 7, 59—66.  
 Вспышка на лимбе 16 августа 1952 года и вопрос о прозрачности и механизме излучения хромосферных вспышек. 1955, 13, 103—110.  
 Башенный солнечный телескоп Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. 1955, 15, 31—53.  
 О сопоставлении отдельных явлений в радионизлучении Солнца на волне  $\lambda = 1,5$  м с оптическими процессами на Солнце. 1955, 15, 111—120.
- Исследование дейтерия на Солнце. 1956, 16, 12—44.  
 Причины расширения водородных линий в спектре Солнца. 1956, 16, 54—66.  
 Крымская астрофизическая обсерватория АН СССР. 1956, 16, 176—181.  
 Некоторые проблемы исследования Солнца. 1956, 16, 194—196.  
 Исследование тонкой структуры эмиссии активных образований и нестационарных процессов на Солнце. 1957, 17, 129—161.  
 О содержании тория на Солнце. 1958, 18, 96—104.  
 О попытке Кипмана обнаружить дейтерий на Солнце. 1958, 18, 105—108.  
 Исследование возбуждения и ионизации водорода в хромосферных вспышках. 1958, 19, 72—99.  
 Появление вспышек в нейтральных точках магнитного поля Солнца и пинч-эффект. 1958, 20, 22—51.  
 Исследование спектров сильных хромосферных вспышек. 1959, 21, 131—151.  
 Исследование магнитных полей, связанных со вспышками на Солнце. 1960, 22, 12—41.  
 О нестационарной непрерывной эмиссии вспышек. 1960, 22, 67—74.  
 Оценка ультрафиолетового излучения солнечных вспышек в резонансных линиях водорода  $H_{\alpha}$ , He I, He II. 1960, 23, 311—321.  
 Некоторые особенности движения плазмы в солнечных магнитных полях. 1960, 24, 281—292.  
 Нестационарные процессы в солнечных магнитных полях (генерация вспышек, нагрев факелов). 1962, 27, 71—109.  
 Расположение сильных вспышек в магнитных полях группы пятен. 1963, 30, 161—184.  
 Экспериментальное исследование эффектов вращения плоскости поляризации и немагнитной поляризации на Солнце. 1964, 31, 126—158.  
 Наблюдения поперечных и продольных магнитных полей, связанных с солнечными вспышками. 1964, 31, 159—199.  
 Исследование вращения магнитного поля с глубиной в атмосфере Солнца. 1965, 33, 3—33.  
 Исследование магнитного поля и электрических токов униполярных солнечных пятен. 1965, 33, 34—79.  
 Исследование общего магнитного поля Солнца. 1966, 35, 97—138.  
 Калибровка сигнала магнитного поля солнечного магнитографа. 1967, 36, 22—50.  
 Магнитная асимметрия и колебания общего магнитного поля Солнца. 1968, 38, 3—51.
318. Северный А. Б., Гильварг А. Б. Интерференционно-поляризационный фильтр для исследования Солн-

- ца и опыт его применения. 1949, 4, 3—22.
319. Северный А. Б., Коваль А. Н. Исследование расширения эмиссии сильных линий вспышек и усов. I. 1961, 26, 3—40.
  320. Северный А. Б., Мустель Э. Р. Исследование хромосферной вспышки 13 июня 1950 года. 1955, 13, 82—95.
  321. Северный А. Б., Степанов В. Е. Первый опыт наблюдения магнитных полей солнечных пятен в Крымской астрофизической обсерватории. 1956, 16, 3—11.
  322. Северный А. Б., Хохлова В. Л. Исследование движений и свечения солнечных протуберанцев. 1953, 10, 9—53.  
О поляризации непрерывной эмиссии в активных областях на Солнце. 1958, 20, 67—73.  
Спектрофотометрия линий в ядрах непрерывной эмиссии. 1959, 21, 190—197.
  323. Северный А. Б., Шабанский В. П. Механизм солнечных вспышек и генерация космических лучей во вспышках. 1961, 25, 88—113.
  324. Северный А. Б., Шапошникова Е. Ф. Исследования развития хромосферных вспышек на Солнце. 1954, 12, 3—32.  
Динамика лимбовых вспышек на Солнце и пинч-эффект. 1960, 24, 235—257.
  325. Северный А. Б., Кувшинов В. М., Пикулин Н. С. Фотоэлектрические исследования слабых магнитных полей звезд. 1974, 50, 3—51.  
— Северный А. Б. *см.* № 24, 58, 77, 103, 120, 136, 137, 171, 181, 240, 247, 269, 296, 332.  
— Семенов И. *см.* № 71.  
— Сидоров В. И. *см.* № 157.  
— Сидоров Г. Г. *см.* № 22, 24.  
— Синев С. М. *см.* № 8, 10.  
— Спицын В. М. *см.* № 24.
  326. Скульский М. Ю. Количественный анализ спектра  $\beta$  Луг. I. Изменение некоторых эмиссионных линий водорода и гелия. 1972, 45, 135—145.
  327. Слудская Т. Л., Степанян Н. Н. Прогноз развития активных областей с помощью метода потенциальных функций. 1974, 52, 131—140.  
— Смирнов А. И. *см.* № 57, 154.  
— Смирнова Е. П. *см.* № 106.  
— Согласнов В. А. *см.* № 13, 121.  
— Спангенберг Е. Е. *см.* № 13.  
— Стежка П. Н. *см.* № 215.
  328. Степанов В. Е. Коэффициент поглощения атомов в обратном эффекте Зеемана при произвольном направлении магнитного поля. 1958, 18, 136—150.  
К теории образования линий поглощения в магнитном поле и контур линии Fe  $\lambda 6173 \text{ \AA}$  в спектре солнечного пятна. 1958, 19, 20—45.  
Локальные магнитные поля, тонкая хромосферная структура и волокна в линии H $_{\alpha}$ . 1958, 20, 52—66.
  - Определение градиента магнитного поля в фотосфере Солнца. 1960, 22, 42—48.  
Движение Ca<sup>+</sup> в хромосфере и связь движения с магнитными полями. 1960, 23, 184—211.  
Зависимость показаний солнечного магнитографа от величины напряженности и направления поля. 1960, 23, 291—298.  
Коэффициент поглощения атомов в обратном эффекте Зеемана при произвольной мультиплетности. 1960, 24, 293—300.  
К вопросу о движении на различных уровнях атмосферы Солнца. 1961, 25, 154—173.  
Определение среднего градиента магнитного поля в хромосфере. 1961, 25, 174—179.  
Уравнение лучистого равновесия в атмосферах магнитных звезд. 1962, 27, 140—147.  
Коэффициент поглощения атомов в свете со взаимной ортогональной поляризацией с учетом аномальной дисперсии при наличии магнитного поля. 1962, 28, 252—258.
  329. Степанов В. Е., Гопасюк С. И. К структуре магнитных полей в активной области Солнца. 1962, 28, 194—223.
  330. Степанов В. Е., Клякотко М. А. О крупномасштабных движениях в подфотосферных слоях Солнца. 1956, 16, 80—99.
  331. Степанов В. Е., Петрова Н. Н. Полярности и максимальные напряженности магнитных полей солнечных пятен в 1956 году. 1958, 18, 66—95.  
Яркость флоккулов, магнитные поля и механизм нагрева. 1959, 21, 152—179.
  332. Степанов В. Е., Северный А. Б. Фотоэлектрический метод измерения величины и направления магнитного поля на поверхности Солнца. 1962, 28, 166—193.  
— Степанов В. Е. *см.* № 28, 47, 269, 321.
  333. Степанян А. А. Мезонный кубический телескоп Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. 1960, 24, 313—319.  
Некоторые вопросы теории эффекта магнитных бурь в космических лучах (эффект Форбуша). 1961, 25, 268—276.  
Исследование эффекта Форбуша. II. Энергетический спектр вариаций. Связь спектра с характером спада и длительностью эффекта. 1961, 26, 136—143.  
Полное число частиц высокой энергии, испущенных во время вспышки 4 мая 1960 года. 1962, 27, 178—181.  
К вопросу о спектре вариаций во время эффекта Форбуша. 1962, 27, 182—193.  
О связи между характеристиками

- эффекта Форбуша и хромосферных вспышек. 1962, 28, 324—330.  
О ширине корпускулярных потоков, ответственных за суточный эффект в космических лучах. 1963, 29, 126—130.  
О механизме суточной вариации в космических лучах. 1964, 32, 56—66.
334. Степанян А. А., Владимирский Б. М. Исследование эффектов магнитных бурь в космических лучах. I. 1960, 24, 320—341.
335. Степанян А. А., Павлов И. В. Некоторые вопросы методики поисков точечных источников  $\gamma$ -излучения с помощью регистрации черенковского излучения широких атмосферных ливней. 1971, 43, 37—41.
336. Степанян А. А., Владимирский Б. М., Павлов И. В., Фомин В. П. Предварительные результаты наблюдений пульсара CP 1133 с помощью установки для регистрации черенковских вспышек широких атмосферных ливней. 1971, 43, 42—48.
- Степанян А. А. *см.* № 78 — 80, 279.
337. Степанян Н. Н. Линии редких земель в спокойных и активных областях на Солнце. 1960, 22, 56—66.  
Последовательность возгорания линий различных элементов во вспышке. 1961, 26, 41—44.  
Свечение металлических линий во вспышках. 1963, 29, 68—79.  
Об определении кинетической температуры вспышек. 1963, 30, 211—213.  
Об изменении физического состояния пятна с его развитием. 1966, 35, 166—176.  
О характере распространения возбуждения от вспышек. 1972, 44, 103—106.  
Количественные определения яркости флоккулов в линиях  $H_\alpha$  и K как критерий при прогнозах развития активной области. 1974, 51, 8—12.
338. Степанян Н. Н., Хохлова В. Л. Возбуждение Na I и Ca II в хромосферных вспышках. 1962, 28, 230—240.
- Степанян Н. Н. *см.* № 23, 29, 107, 157, 188, 327.
339. Стефанович Н. Н. О поведении некоторых линий редких земель на диске Солнца. 1957, 17, 191—198.
340. Степенко Н. В. Об определении магнитных полей солнечной грануляции. 1960, 22, 49—55.  
Магнитные поля мелких солнечных пятен и пор. 1967, 37, 21—28.  
Магнитные поля солнечных факелов. 1968, 38, 52—58.  
Структура и развитие групп солнечных пятен 4—8 июля 1966 года. 1969, 39, 245—252.  
Локализация ядер непрерывной эмиссии солнечных вспышек. 1971, 43, 130—151.
- Сравнение физических условий в протонных и непротонных вспышках. 1971, 43, 152—156.
341. Степенко Н. В., Хохлова В. Л. Гелиевая эмиссия хромосферной вспышки 14 сентября 1958 года. 1960, 23, 322—330.  
Свечение ионизованного гелия в хромосферных вспышках. 1960, 24, 258—276.  
Возбуждение He I в хромосферных вспышках. 1962, 27, 120—139.
342. Степенко Н. В., Щербakov А. Г. Движение деталей тонкой структуры в полутени солнечных пятен. 1970, 41—42, 3—14.
- Степенко Н. В. *см.* № 24, 22, 24, 189, 197.
- Степенко Н. Е. *см.* № 9, 274.
343. Суханова В. В. Спектрофотометрия двух протуберанцев с интерференционно-поляризационным фильтром. 1951, 6, 138—143.
- Суханова В. В. *см.* № 176, 285.
- Темченко В. А. *см.* № 93.
- Терез Г. А. *см.* № 297.
344. Терез Э. И. Линейность световых характеристик фотоэлектронных умножителей при использовании счета фотонов. 1968, 38, 257—263.  
Абсолютные спектральные характеристики фотоумножителей. 1972, 46, 144—154.  
О возможности использования фотоэлектронного умножителя в качестве стандартного приемника света. 1973, 47, 185—191.
- Терез Э. И. *см.* № 39, 104, 310.
345. Тибилов А. С., Прокофьев В. К. Кривая роста для атмосферных полос поглощения молекулярного кислорода. 1964, 32, 3—10.
- Тинин М. В. *см.* № 156.
346. Тихов Г. А. По поводу статьи Н. А. Козырева «Объяснение цвета Марса спектральными свойствами его атмосферы». 1956, 16, 159—161.
- Товмасын Г. М. *см.* № 163.
- Услибер С. И. *см.* № 301.
- Ушакова Н. А. *см.* № 7, 303.
- Федосеев Л. И. *см.* № 161.
- Фесенко Д. А. *см.* № 144.
347. Фесенков В. Г. Метеориты и их роль в космогонии солнечной системы. 1956, 16, 228—238.
- Фомин В. П. *см.* № 80, 336.
- Фриш М. С. *см.* № 298.
- Холопов П. Н. *см.* № 73.
348. Хохлов М. З. Силы осцилляторов набора переходов  $p^2 - ps$  в спектрах свинца, олова, германия, кремния и углерода. I. Свинец, олово. 1961, 25, 249—267.  
Экспериментальное определение сил осцилляторов для линий Pb I  $\lambda\lambda 4057$  и  $3683 \text{ \AA}$  и содержание свинца в атмосфере Солнца. I. Определение значений  $f$  по линиям излучения в полом катоде. 1959, 21, 84—102.  
Экспериментальное определение сил осцилляторов для линий Pb I

- λλ4057 и 3683 и содержание свинца в атмосфере Солнца. II. Определение обилия свинца на Солнце. 1959, 21, 103—111.
- Экспериментальное определение сил осцилляторов линий свинца методом поглощения. 1960, 22, 118—127.
- Оценка верхней границы содержания свинца в атмосфере Солнца по инфракрасной линии свинца  $\lambda 7229$ . 1960, 22, 128—133.
- Силы осцилляторов набора переходов  $p^2 - ps$  в спектрах C I, Si I, Ge I, Sn I, Pb I. II. Квантово-механический расчет сил линий в предположении промежуточного типа связи. 1961, 26, 52—62.
- Установка с печью Кинга для измерения сил осцилляторов методом поглощения. Силы осцилляторов некоторых линий Be I, Sn I, Ge I. 1962, 28, 277—287.
- Силы осцилляторов набора переходов  $p^2 - ps$  в спектрах свинца, олова, германия, кремния и углерода. Германий, кремний. Сравнение теории и эксперимента (Pb I, Sn I, Ge I, Si I). 1963, 29, 131—140.
- Хохлов М. З. *см.* № 185.
349. Хохлова В. Л. О поведении линий ионизованного кальция в солнечных факелах. 1956, 16, 73—79.
- Исследование движений в хромосфере и флоккулах по доплеровскому смещению линий  $K_2$  и  $K_3$ , Ca<sup>+</sup>. 1957, 17, 177—190.
- Определение глубины залегания ядер непрерывной эмиссии в солнечных факелах. 1958, 19, 115—125.
350. Хохлова В. Л., Назарова И. И. Спектрофотометрическое исследование нескольких протуберанцев и волокон. 1954, 11, 170—177.
351. Хохлова В. Л., Алиев С., Руденко В. М. Исследование спектров пекулярных А-звезд марганцевой группы. 1969, 40, 65—81.
- Хохлова В. Л., *см.* № 176, 185, 223, 322, 338, 341.
352. Хромова Т. П. Определение содержания некоторых элементов на Солнце по спектрам солнечных пятен. V. Определение содержания галлия. 1967, 37, 89—93.
- Хромова Т. П. *см.* № 145.
353. Хроника. 1961, 26, 419—420; 1962, 28, 354—355; 30, 323—324; 1964, 32, 192—193; 1965, 34, 342—343; 1967, 36, 304—305; 1968, 38, 274—275; 1969, 40, 181—182; 1970, 41—42, 420—421; 1972, 44, 174—175; 1972, 46, 167—168; 48, 98—99; 52, 217.
354. Цап Т. Т. Характерные особенности тонкой структуры флоккулов в линии  $K_{232}$  Ca<sup>+</sup>. 1961, 25, 148—153.
- Характерные особенности тонкой структуры хромосферы в линии  $K_{232}$  Ca II. 1961, 26, 45—51.
- Распределение яркости хромосферы по диску Солнца в линии  $K_{232}$  Ca II. 1962, 27, 162—166.
- Размеры и движение элементов тонкой структуры хромосферы в линии  $H_\alpha$  в активной области. 1962, 28, 246—251.
- Магнитные поля и тонкая структура хромосферы в активной области. 1964, 31, 200—208.
- Магнитные поля и тонкая структура в активной области. 1965, 33, 92—99.
- Фотосферные магнитные поля и яркость флоккулов. 1965, 34, 296—304.
- Фотосферные магнитные поля и структура невозмущенной хромосферы. 1966, 35, 161—165.
- Фотосферные и хромосферные магнитные поля и яркость факелов и флоккулов. 1969, 39, 265—275.
- Магнитные поля на различных уровнях в активных областях на Солнце. 1970, 41—42, 158—167.
- Магнитные поля и яркости на разных глубинах в невозмущенных областях на Солнце. 1974, 50, 159—167.
355. Цап Т. Т., Крамынин А. П. Сравнение свечения в линиях  $H_\alpha$  и K Ca II в солнечных вспышках. 1974, 51, 32—38.
356. Цап Т. Т., Лаба И. С. Изменение хромосферной сетки со временем. 1973, 48, 73—77.
- Цап Т. Т. *см.* № 9, 117, 119, 248, 270.
- Царевский Г. С. *см.* № 73.
357. Цветков Л. И. Поляриметр для исследования радиоизлучения Солнца на волнах 3,5; 2,5; 1,9 см. 1974, 50, 189—199.
- Цветков Л. И. *см.* № 33, 155, 156.
- Цугулиев А. И. *см.* № 157, 223.
358. Ченцов Е. Л. О двумерной функции светимости — цвет для сверхгигантов. 1964, 32, 100—107.
- О точности фотометрирования звездных спектров. 1966, 35, 265—269.
359. Черных Н. С. О типе хвоста кометы Икейа-Секи. 1967, 37, 10—20.
- «Синхронные» образования в хвосте кометы Икейа-Секи. 1968, 38, 245—251.
- Черных Н. С. *см.* № 14, 140.
- Чистяков Ю. Н. *см.* № 183.
- Чуб А. Т. *см.* № 111.
360. Чуваев К. К. Электрофотометрические исследования свечения ночного неба в нескольких областях спектра. 1953, 10, 54—73.
- Фотоэлектрические наблюдения SS Cyg. 1962, 28, 141—149.
- Чуваев К. К. *см.* № 49, 266, 283, 285, 306.
361. Чугайнов П. Ф. Фотоэлектрические наблюдения вспыхивающих звезд. I. 1961, 26, 171—180.
- Трехцветные фотоэлектрические наблюдения Новой Геркулеса 1960 года. 1961, 26, 217—219.
- Эффект ярких полос в спектре Новой Геркулеса 1960 года и закон

- изменения ее блеска. 1962, 27, 267—276.
- Фотоэлектрические наблюдения вспыхивающих звезд. II. 1962, 28, 150—155.
- Фотоэлектрические наблюдения вспыхивающих звезд. III. 1965, 33, 215—225.
- Сводная кривая блеска и колориметрические наблюдения RW Aur в 1962 г. 1965, 34, 86—99.
- Фотоэлектрические наблюдения вспыхивающих звезд. IV. Фотометрия в линии  $H_{\beta}$  вспышек UV Ceti. 1968, 38, 200—204.
- Фотоэлектрические наблюдения вспыхивающих звезд. V. Результаты участия в кооперативных программах 1963—1967 годов. 1969, 40, 26—32.
- Фотоэлектрические наблюдения вспыхивающих звезд. VI. Фотометрия вспышек EV Lac в четырех участках спектра, U,  $H_{\beta}$ , G, V. 1969, 40, 33—38.
- Спектроколориметрические наблюдения вспышек EV Lac. 1972, 44, 3—10.
- Поглощение TiO и величины dM-звезд. 1972, 45, 130—134.
- Связь вспышечной активности звезд типа UV Ceti с возрастом. I. 1972, 46, 14—24.
- Звезды типа BY Dra. 1973, 48, 3—22.
- Проверка применимости характеристик вспышечной активности звезд типа UV Ceti и их уточнение. 1974, 50, 93—102.
- О распределении энергии в спектре избыточного излучения в максимумах вспышек звезд типа UV Ceti. 1974, 51, 110—116.
- Звезды типа BY Dra. II. Дальнейшие фотоэлектрические наблюдения и их анализ. 1974, 52, 3—31.
- Чугайнов П. Ф. *см.* № 36, 94, 99, 302.
- Шабанский В. П. *см.* № 323.
362. Шайн Г. А. Эмиссионные линии H, Fe II, Fe I в спектрах долгопериодических переменных звезд. 1947, 1, ч. I, 5—19.
- Лучевые скорости 131 звезды слабее 6.75. 1947, 1, ч. I, 44—58.
- Результаты наблюдения спектра короны 19 июня 1936 г. 1947, 1, ч. I, 102—115.
- Памяти Г. Н. Неуймина. 1948, 2, 136—138.
- О ядрах водородных линий в спектрах звезд ранних классов. 1948, 3, 46—50.
- Об интенсивности эмиссионных линий в спектре короны. 1948, 3, 64—68.
- Орбита спектрально-двойной звезды H.R. 4536. 1949, 4, 148—151.
- Исправление (к статье Поппер Д. и Г. А. Шайн «Орбиты компонентов спектрально-двойной звезды H. D. 85217»). 1949, 4, 223.
- Элементы предварительной орбиты компонентов спектрально-двойной звезды. H.D. 121648. 1950, 5, 105—108.
- Центральные интенсивности сильных линий поглощения в спектрах звезд. 1951, 7, 67—86.
- Радialные скорости 73 звезд. 1951, 7, 124—129.
- В. А. Альбицкий (Некролог). 1953, 10, 3—7.
- Диффузные эмиссионные туманности в M 33. 1954, 11, 3—7.
- Вера Федоровна Газе. 1955, 13, 3—8.
- О неустойчивости и распаде диффузных эмиссионных туманностей. 1955, 15, 3—10.
- Заметка о системе волоконистых туманностей в Auriga ( $5^h33^m + 28^\circ$ ). 1956, 16, 171.
- О магнитных полях в межзвездном пространстве и в диффузных туманностях. 1956, 16, 181—183.
363. Шайн Г. А., Газе В. Ф. Эффект предела сходимости и хвостовых полос в спектрах углеродных звезд. 1947, 1, ч. I, 74—82.
- Полосы тяжелой молекулы циана в спектрах углеродных звезд (Фиолетовая система  $^2\Sigma - ^2\Sigma$ ). 1948, 2, 131—133.
- Полосы тяжелой молекулы циана  $C^{13}N^{14}$  в спектрах углеродных звезд (Красная система  $^2\Pi - ^2\Sigma$ ). 1950, 5, 24—33.
- Некоторые результаты исследования светлых галактических туманностей. 1951, 6, 3—28.
- Об особом классе диффузных газовых туманностей. 1951, 7, 87—92.
- О преимущественной ориентации волокон и других структурных деталей в газовых туманностях. 1952, 8, 3—16.
- Структура и масса диффузных газовых туманностей NGC 6523, 6618 и 2237. 1952, 8, 80—92.
- О массах газовых объектов в некоторых внегалактических туманностях. 1952, 9, 13—24.
- Новая система тонковолокнистых туманностей в созвездии Auriga. 1952, 9, 123—125.
- О взаимоотношении между диффузными газовыми туманностями и горячими звездами. 1953, 10, 152—168.
- Второй список периферийных диффузных туманностей. 1953, 10, 210—212.
- О наличии диффузной материи в планетарных туманностях вне зоны II II. 1954, 11, 18—21.
364. Шайн Г. А., Шайн П. Ф. Дифференциальные систематические смещения линий в спектрах белых сверхгигантов. 1949, 4, 49—77.
365. Шайн Г. А., Газе В. Ф., Пикельнер С. Б. О наличии пыли и газа в диффузных туманностях. 1954, 12, 64—87.
- Шайн Г. А. *см.* № 84, 284, 291.

366. Григорий Абрамович Шайн (Некролог). 1957, 17, 3—10.
367. Шайн П. Ф. Систематическое смещение спектральных линий в спектре  $\alpha$  Ceti. 1947, 1, ч. I, 116—117. Наблюдения малых планет и кометы Ашбрука. 1949, 4, 202—210. Наблюдения малых планет и кометы 1949e. 1950, 5, 140—147. Наблюдения малых планет и комет в Симеизе. 1951, 6, 174—176. Открытие новой периодической кометы 1949e. 1951, 6, 177—178. Наблюдения малых планет в Симеизе в 1950 г. 1951, 7, 134—138. Наблюдения малых планет в Симеизе в 1951 году. 1952, 8, 132—141. Наблюдения малых планет. 1952, 9, 142—143. Наблюдения малых планет в Симеизе в 1952 г. 1953, 10, 215—222. Наблюдения малых планет в Симеизе. 1954, 11, 189—191. Наблюдения малых планет в Симеизе в 1953 г. 1954, 12, 182—190. Шайн П. Ф. *см.* № 12, 54, 364.
368. Пелагия Федоровна Шайн (некролог). 1957, 17, 11—13.
369. Шалонж Д. О распределении энергии в непрерывном спектре звезд разных спектральных классов. 1956, 16, 191—194.
370. Шапошникова Е. Ф. Спектрогелиоскопические наблюдения. 1948, 3, 81—92. Наблюдения на спектрогелиоскопе в 1948 г. 1949, 4, 211—223. Волокна, непосредственно связанные с солнечными пятнами. 1958, 18, 151—156. Высокий эруптивный протуберанец. 1960, 22, 84—90. Фотометрия вспышек на лимбе Солнца. 1961, 25, 122—133.
371. Шапошникова Е. Ф., Огирь М. Б. Развитие хромосферных вспышек по наблюдениям 1957 г. 1959, 21, 112—130. — Шапошникова Е. Ф. *см.* № 9, 108, 120, 275, 285, 324.
372. Шаховская Н. И. Спектральные фотозлектрические наблюдения вспыхивающей звезды  $\text{AS} + 39^\circ 1214-608$ . 1972, 45, 124—129. Вспышечная активность красных карликовых звезд системы  $\text{BD} + 43^\circ 44 \text{ AB}$ . 1973, 47, 111—117. Статистические зависимости между параметрами нисходящей ветви вспышек звезд типа  $\text{UV Cet}$ . 1974, 50, 84—92. Исследование эмиссионных спектров красных карликов. 1974, 51, 92—109. — Шаховская Н. И. *см.* № 95, 208.
373. Шаховской Н. М. О поляризации собственного излучения красных гигантов и сверхгигантов. 1969, 39, 11—33.
374. Шаховской Н. М., Димов Н. А. Интегрирующий звездный электрополяриметр. 1962, 27, 291—308, Шаховской Н. М., Ефимов Ю. С. Поляризационные наблюдения нестационарных звезд и внегалактических объектов. I. Аппаратура и методика наблюдений и их обработки. 1972, 45, 90—110. — Шаховской Н. М. *см.* № 167, 168, 205.
376. Швестка Зд. Физические свойства хромосферных вспышек. 1956, 16, 209—211. — Шипулин Ю. А. *см.* № 183.
377. Шкловский И. С. Ультрафиолетовое излучение короны и хромосферы и ионизация земной атмосферы. 1949, 4, 80—113. Вычисление концентрации корональных ионов в возбужденных квантовых состояниях. 1950, 5, 86—99. Вычисление концентрации корональных ионов в основных квантовых состояниях. 1950, 5, 109—134. Ионизация и химический состав солнечной короны. 1951, 6, 105—118. Природа инфракрасного излучения ночного неба. 1951, 7, 34—58. О природе свечения полярных сияний. 1952, 8, 51—79. Попытка сравнения яркости Млечного Пути в инфракрасных и фотографических лучах. 1953, 10, 169—182. О природе планетарных туманностей. 1956, 16, 187—188.
378. Шкловский И. С., Пикельнер С. Б. Тепловое радиоизлучение Солнца. 1951, 6, 29—44. — Шноль Э. Э. *см.* № 96. — Штейншлегер В. Б. *см.* № 162, 163.
379. Шуйская Ф. К. Спектрофотометрическое исследование яркого протуберанца. 1960, 22, 91—100. — Щеглов П. В. *см.* № 101, 102. — Щербakov А. Г. *см.* № 255, 342.
380. Эллисон М. А. Ультрафиолетовое излучение солнечных вспышек. 1956, 16, 196—200.
381. Юровская Л. И. Некоторые свойства солнечных шумовых бурь на волне 1,5 м. 1964, 32, 76—83. О динамических спектрах больших всплесков радиоизлучения на метровых волнах. 1965, 34, 9—15. О положении источников шумовых бурь относительно оптических образований на диске Солнца. 1967, 37, 146—152. Структура источника шумовой бури по наблюдениям затмения 22 сентября 1968 года на волне 1,37 м. 1972, 45, 40—48. К вопросу о взаимном расположении излучающих областей источников шумовой бури. 1973, 47, 79—82. Влияние гелиошироты Земли на прием радиоизлучения шумовых бурь. 1974, 52, 163—170.
382. Юровская Л. И., Юровский Ю. Ф. Сопоставление временных профилей всплесков радиоизлучения IV

- типа на волне 1,5 м с полным потоком излучения вспышек в линии  $H_{\alpha}$ . 1971, 43, 17—20.
- Юровская Л. И. *см.* № 148, 150, 238, 386.
383. Юровский Ю. Ф. К вопросу о точности непрерывных относительных измерений потока радиоизлучения Солнца. 1965, 34, 60—68.  
Предварительные результаты наблюдения микровсплесков солнечного радиоизлучения на волне 10,2 см. 1967, 36, 103—111.  
Влияние земной атмосферы на прием радиоизлучения Солнца в диапазоне 10 см. 1967, 37, 162—170.  
Электромеханический пантограф. 1967, 37, 176—181.  
Структура всплесков радиоизлучения Солнца на волне 10 см. 1969, 40, 147—160.  
Наблюдение солнечного затмения в Крыму 25 февраля 1971 года на волне 10 см. 1974, 49, 46—50.
384. Юровский Ю. Ф., Бабин А. Н. Сопоставление радиоизлучения на волнах 10 см и 1,5 м с некоторыми деталями хромосферной вспышки 11 июля 1966 года. 1970, 41—42, 53—58.
385. Юровский Ю. Ф., Герасимов В. П. О прогнозировании всплесков радиоизлучения Солнца. 1973, 47, 71—78.
386. Юровский Ю. Ф., Юровская Л. И. Некоторые характеристики локальных источников по наблюдениям затмения Солнца 7 марта 1970 года на Кубе. 1972, 46, 136—143.  
— Юровский Ю. Ф. *см.* № 237, 238, 262.  
— Яковлева А. В. *см.* № 184, 185.
387. Якомо А. А., Русак Н. П. Система автоматического измерения флуктуаций температуры на разных высотах над поверхностью Земли. 1973, 47, 182—184.  
— Якомо А. А. *см.* № 219.