

# ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЕЗДЫ

Бюллетень, издаваемый Астрономическим советом  
Академии наук СССР

Том 10

№ 5 (89)

Апрель 1955 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

### СТАТЬИ

|                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>П. Н. Холопов.</i> Пространственное распределение красных гигантов и переменных звезд типа RR Лиры в шаровом скоплении M15 . . . . . | 253 |
| <i>М. А. Свечников.</i> Изучение изменений периода у некоторых затменных переменных звезд . . . . .                                     | 262 |
| <i>Н. К. Семакин.</i> Фотографические наблюдения двенадцати переменных звезд в Ящерице . . . . .                                        | 283 |
| <i>А. А. Батырев.</i> Визуальные наблюдения четырех короткопериодических цефеид . . . . .                                               | 292 |
| <i>И. М. Иценко.</i> О периоде затменной двойной MR Лебедя . . . . .                                                                    | 302 |
| <i>Н. М. Шаховской.</i> О трех недавно открытых переменных . . . . .                                                                    | 309 |
| <i>Н. Л. Магалашвили, Н. А. Размадзе.</i> Электрофотометрия затменной переменной V 505 Стрельца . . . . .                               | 313 |
| <i>Г. Т. Коваль.</i> AP Геркулеса . . . . .                                                                                             | 318 |

### ЗАМЕТКИ

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Н. П. Кукаркина.</i> Цефеида RS Ориона . . . . .                                    | 323 |
| <i>А. В. Соловьев.</i> Затменная AC Щита . . . . .                                     | 326 |
| <i>Ю. Смак и А. Крушевский.</i> Наблюдения СО Ящерицы . . . . .                        | 329 |
| <i>Э. Г. Репин.</i> Затменная переменная CR Кассиопеи . . . . .                        | 330 |
| <i>А. В. Соловьев.</i> Затменная переменная TY Козерога . . . . .                      | 333 |
| <i>Н. Л. Магалашвили.</i> Три спектрально-двойные, не оказавшиеся затменными . . . . . | 334 |
| <i>В. П. Федорович.</i> AA Цефея и новая переменная звезда SP3 1205 Сер . . . . .      | 335 |

## Пространственное распределение красных гигантов и переменных звезд типа RR Лиры в шаровом скоплении M15

*П. Н. Холопов*

Исследовано пространственное распределение красных гигантов и переменных звезд типа RR Лиры в шаровом скоплении M15. Граница ядра системы проходит при  $r = 2.2$  от центра.

Показано, что степени относительной концентрации  $K$  различных групп ярких звезд в ядрах шаровых скоплений могут быть определены с точностью лишь до  $\pm 0.3$  и практически одинаковы для всех рассмотренных систем, за исключением звезд, расположенных на диаграмме «величина — показатель цвета» ниже горизонтальной ветви.

Die räumliche Verteilung der roten Riesensterne und der RR Lyrae Sterne im Kugelhauften M15 ist untersucht. Die Grenze des Kerns des Systems liegt bei  $r = 2.2$  vom Zentrum.

Es wird gezeigt, dass die relative Konzentration  $K$  verschiedener Gruppen heller Sterne in den Kernen der Kugelhauften nur mit der Genauigkeit bis  $\pm 0.3$  bestimmt werden kann und praktisch für alle betrachtete Systeme gleich ist. Eine Ausnahme bilden Sterne die sich auf dem Diagramm «Helligkeit — Farbenindex» unter dem horizontalen Ast befinden.

Настоящая статья является шестой из цикла статей, посвященных результатам анализа пространственного распределения звезд в шаровых скоплениях [1-5]. Методика анализа описана в первой статье [1].

Скопление M15 (NGC 7078) принадлежит к IV классу концентрации по *Шэпли* [6]. Радиус скопления составляет 3.7 по оценке *Шэпли* и *Сойера* [7], по денситометрическим же измерениям *Шэпли* и *Сэйера* [8] он равен 9.1. Подсчеты *Бейли* [9] показывают, что скопление простирается до 12.5. Наиболее далекая от центра переменная типа RR Лиры, принадлежащая к скоплению, расположена в 10.3 от его центра. *Шэпли* [6] отмечает, что слабые звезды скопления встречаются на расстояниях до 15' от центра. В настоящей работе значение радиуса систем изучаемых звезд в M15 принято равным 12.5.

### Распределение переменных типа RR Лиры

В скоплении известно 98 переменных звезд, причем 94 относятся к типу RR Лиры. Для суждения о степени изученности системы переменных рассмотрим историю их открытия. *Бейли* [10] было известно уже 66 переменных звезд в пределах от 0.8 до 10.3 от центра скопления.

*Розино* [11], снимки которого позволяли изучать переменные до 0.3 от центра, нашел еще 29 переменных, главным образом близ центра скопления, и независимо обнаружил 55 из 66 открытых ранее. *Розино* указал, что в результате его исследования в скоплении стало известно, повидимому, 90% всех переменных звезд.

Блинкование 12 пар пластинок, позволявших открывать переменные до 1' от центра скопления, дало возможность *Изаку* [12] обнаружить 3 новых переменных звезды; кроме того, он независимо открыл 50 из ранее найденных переменных. Таким образом, можно думать, что действительно большая часть переменных звезд во внешних областях скопления до 0.5 от его центра известна в настоящее время.

Степень эллиптичности системы не исследовалась в связи с большой концентрацией системы к центру и сравнительно небольшим числом звезд. Распределение переменных на карте не показывает существенных отклонений от круговой симметрии. Поэтому при анализе распределения плотности считалось, что система является сферической. Область с  $r \leq 0.3$  исключена из рассмотрения.

Вычисления выполнены в относительных единицах (отн. ед.). Радиус системы (12.5) для удобства применения формул численного метода [13] был принят равным 25 отн. ед. При построении всех кривых видимой плотности  $F(r)$  в этой работе для подсчетов звезд использованы следующие серии кольцевых круговых зон, пределы которых указаны ниже ( $\Delta$  — ширина зоны):

$\Delta = 1: 0.5 - 1.5 - \dots - 7.5$  и три серии, полученные из этой последовательным смещением границ зон по  $r$  на 0.25;

$\Delta = 2: 0.5 - 2.5 - \dots - 10.5$  и семь серий, полученных аналогичным образом;

$\Delta = 3: 1 - 4 - \dots - 25$  и, соответственно, одиннадцать подобных серий;

$\Delta = 4: 1 - 5 - \dots - 25$  и, соответственно, пятнадцать подобных серий;

$\Delta = 5: 1 - 6 - \dots - 21$  и, соответственно, девятнадцать последовательно перекрывающихся подобных серий.

Предварительная кривая  $F(r)$  показывает, что практически граница системы проходит при  $r = 13.4$  отн. ед.  $\approx 6.7$ . Вне этих пределов находятся лишь две переменные. В то же время система переменных показала исключительно сильную концентрацию к центру. Поэтому для уточнения вида кривой распределения  $F(r)$  в области ядра системы пришлось, подобно тому как это было сделано для скоплений M5 и NGC 3201 [3], рассмотреть область с  $r < 6.5$  как самостоятельное скопление, применяя к ней нашу обычную методику.

На рис. 1 изображена построенная с учетом ошибки интервала кривая  $F(r)$  для области с  $r \leq 6.5$ , отнесенная к новым относительным единицам ( $6.5 = 25$  отн. ед.). Здесь же показаны графики для учета ошибки интервала. Плотность фона, обусловленного звездами, находящимися вне области с  $R = 6.5$ , ничтожно мала (в новых единицах она составляет приблизительно 0.0003) и не требует учета. Функция  $F(r)$ , а также полученная при ее помощи функция распределения пространственной плотности  $f(r_1)$ , приведены в таблице 1. В столбце  $r$  приведены расстояния от центра скопления, выраженные в новых относительных единицах длины ( $6.5 = 25$  отн. ед.), а в столбце  $r_1$  эти расстояния выражены в первоначальных единицах ( $12.5 = 25$  отн. ед.). В соответствии с этим функция  $F(r)$  выражена в новых относительных единицах, а  $f(r_1)$  — в первоначальных. Кривая  $f(r_1)$  приведена также на рис. 1.

Таблица 1

| $r$   | $F(r)$ | $r_1$ | $f(r_1)$ | $r$   | $F(r)$ | $r_1$ | $f(r_1)$ |
|-------|--------|-------|----------|-------|--------|-------|----------|
| 1.58  | 1.589  | 0.82  | 3.2140   | 13.51 | 0.017  | 7.03  | 0.0052   |
| 2.55  | 0.620  | 1.33  | 0.6680   | 14.51 | .014   | 7.55  | .0030    |
| 3.54  | .400   | 1.84  | .3176    | 15.51 | .013   | 8.07  | .0027    |
| 4.53  | .287   | 2.36  | .2157    | 16.51 | .012   | 8.59  | .0027    |
| 5.52  | .198   | 2.87  | .1255    | 17.51 | .011   | 9.11  | .0018    |
| 6.52  | .141   | 3.39  | .0881    | 18.51 | .011   | 9.63  | .0026    |
| 7.52  | .096   | 3.91  | .0394    | 19.51 | .010   | 10.15 | .0025    |
| 8.51  | .081   | 4.43  | .0260    | 20.51 | .009   | 10.67 | .0029    |
| 9.51  | .075   | 4.95  | .0259    | 21.51 | .007   | 11.19 | .0025    |
| 10.51 | .067   | 5.47  | .0297    | 22.51 | .005   | 11.71 | .0022    |
| 11.51 | .051   | 5.99  | .0276    | 23.51 | .003   | 12.23 | .0011    |
| 12.51 | .031   | 6.51  | .0175    | 24.50 | .002   | 12.74 | .0015    |

Рис. 1 показывает, что граница ядра системы проходит при  $r_1 = 4.2$  отн. ед.  $= 2.1$ , граница промежуточной области — при  $r_1 = 7.2$  отн. ед.  $\approx 3.6$ , граница внутренней короны — при  $r_1 = 13.2$  отн. ед.  $= 6.6$ ; далее следует весьма разреженная область внешней короны. Градиент плотности в ядре не остается постоянным, а меняется почти на два порядка. Границей внутренней зоны ядра можно считать значение  $r_1 \approx 1.4$  отн. ед.  $= 0.7$ .

Все эти особенности в распределении плотности соответствуют закономерностям, найденным ранее на основе анализа скоплений M5 [3] и M3 [4]. Сравнение с распределением переменных звезд в скоплении M5 [3] показывает, что система переменных в M15 имеет более заметно выраженную промежуточную область, хотя класс концентрации M15(IV) меньше, чем класс концентрации M5(V). Не исключено, впрочем, что в действительности степень концентрации скопления M15 меньше степени концентрации M5, ибо средняя медианная видимая величина переменных типа RR Лйры в M5 ( $15^m.03$ ) меньше, чем в M15 ( $15^m.63$ ), и меньший класс

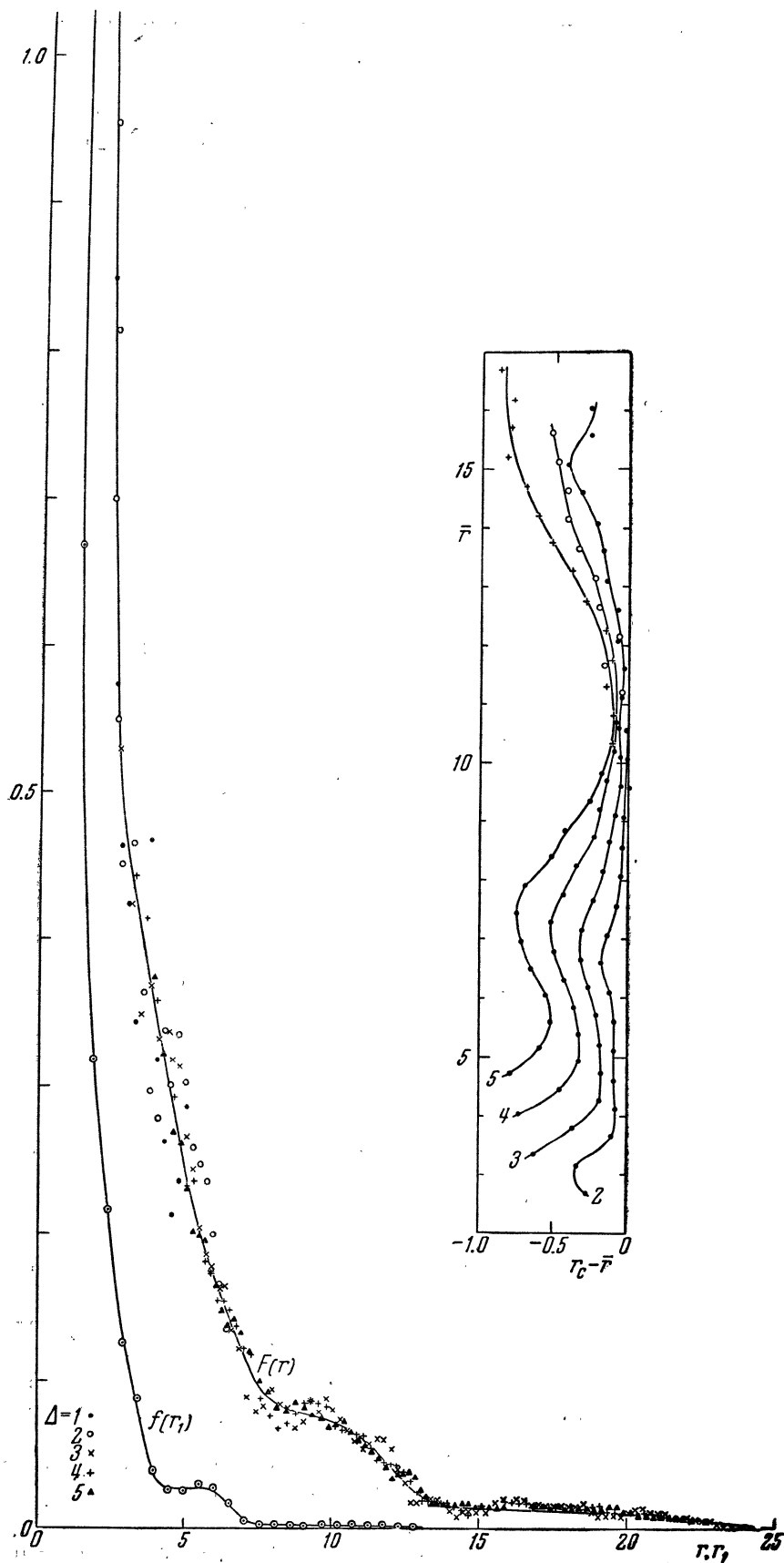


Рис. 1

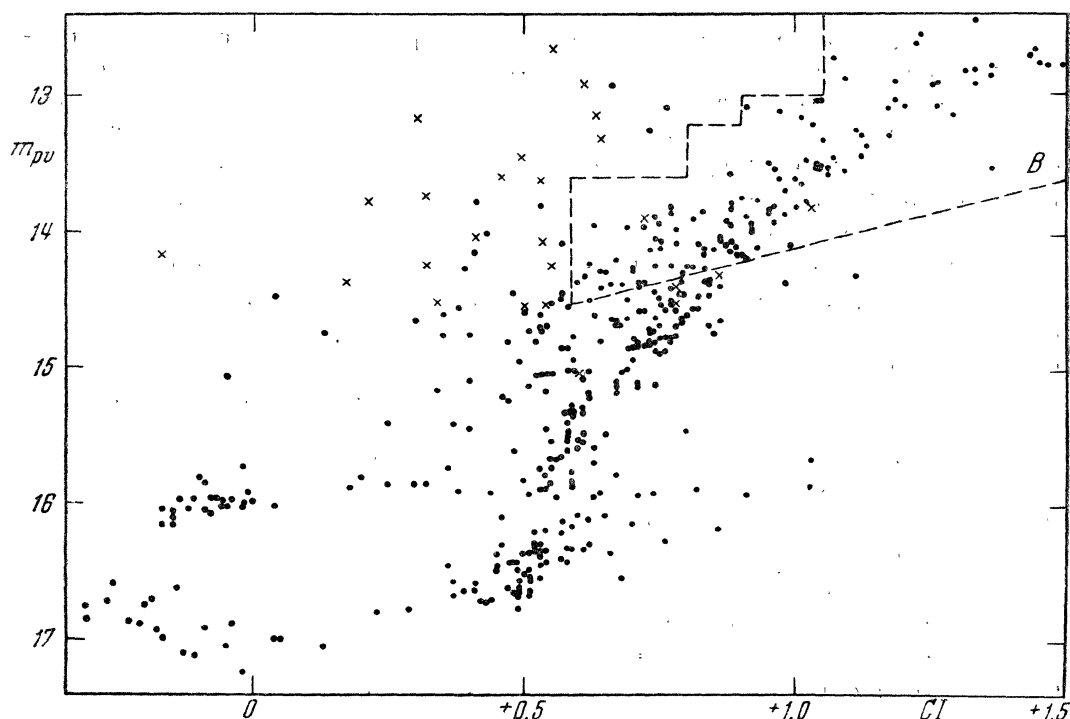


Рис. 2

концентрации М15 может объясняться большей удаленностью этого скопления от Солнца по сравнению с М5.

#### Распределение ярких звезд постоянного блеска

В основу анализа распределения ярких звезд постоянного блеска в М15 был положен каталог *Кюстнера* [14], измерившего положения всех (1137) звезд ярче  $16^m.8$  рг (в интернациональной шкале) в области скопления от  $20''$  до  $10'$  от центра.

*Джонсон* и *Шварцшильд* [15] определили величины и показатели цвета 251 звезды каталога *Кюстнера* в квадрате со стороной, равной  $20'$ , с центром в центре скопления. В это число входят практически все звезды ярче  $15^m.5$  IPg и ряд звезд до  $17^m.2$  IPg вне круга с радиусом  $3.2$ , за исключением звезд с близкими спутниками и переменных. *Браун* [16] получил аналогичные данные почти для всех звезд каталога *Кюстнера* до  $15^m.0$  рг.

К сожалению, с приближением к центру скопления число звезд каталога *Кюстнера*, не вошедших в списки *Брауна* и *Джонсона* — *Шварцшильда*, быстро растет. Можно считать, что достаточная полнота материала достигнута лишь в области от  $0.75'$  до  $10'$  от центра скопления для звезд ярче  $15^m.1$  IPg ( $14^m.9$  в системе *Кюстнера*). Из лежащих в этих пределах 107 звезд каталога *Кюстнера* ярче  $14^m.9$  лишь для 13 не известны показатели цвета.

На рис. 2 дана диаграмма «величина — показатель цвета», построенная для М15 по данным *Брауна* и *Джонсона* — *Шварцшильда*. Крестиками отмечены звезды со значительными собственными движениями, не являющиеся, согласно *Брауну*, членами скопления. Прерывистой линией обведена область ярких звезд постоянного блеска, пространственное распределение которых в соответствии с вышеизложенным мы можем исследовать. Звезды этой области приблизительно соответствуют звездам групп В,

изученных ранее в скоплениях МЗ [2] и М4 [5]. Система считалась сферической, плотность фона не принималась во внимание. Группа В содержит 94 звезды. Плотность в ее короне гораздо выше, чем плотность в короне системы переменных типа RR Лиры. Поэтому анализ распределения плотности звезд группы В проводился в два приема. Сначала границей системы было принято значение  $R_1 = 12.5 = 25$  отн. ед., и распределение плотностей  $F(r_1)$  и  $f(r_1)$  было найдено с учетом ошибки интервала в области  $7.5 < r_1 < 25$  отн. ед. (таблица 2). Оказалось, что граница внутренней короны проходит при  $r_1 \approx 10.5$  отн. ед.  $= 5.2$ . Затем границей системы было принято значение  $R_2 = 6.5 = 25$  отн. ед., и в новых относительных единицах были найдены распределения плотностей  $F(r_2)$  и  $f(r_2)$  в области ядра и промежуточной области системы. На рис. 3 показана окончательная кривая  $F(r_2)$  вместе с графиками для учета ошибки интервала. Эта кривая, исправленная за плотность фона  $F_0$ , обусловленного внешней короной, приведена также в таблице 3 (значения  $F_0$ , выраженные в новых относительных единицах, заключены в пределах 0.002—0.003).

Функция  $f(r_1)$ , основанная на кривых  $F(r_2)$  и  $F(r_1)$  и выраженная в относительных единицах, соответствующих радиусу системы  $R_1 = 12.5 = 25$  отн. ед., также представлена на рис. 3 и в таблице 3. Граница ядра системы В проходит при  $r_1 = 4.5$  отн. ед.  $= 2.25$ , граница промежуточной области — при  $r_1 \approx 9$  отн. ед.  $= 4.5$ . Ход плотности во внутренней зоне ядра, основываясь на данном материале, проследить нельзя.

Т а б л и ц а 2

| $r_1$ | $F(r_1)$ | $f(r_1)$ | $r_1$ | $F(r_1)$ | $f(r_1)$ |
|-------|----------|----------|-------|----------|----------|
| 7.52  | 0.108    | —        | 16.51 | 0.013    | 0.0005   |
| 8.51  | .062     | 0.0067   | 17.51 | .012     | .0003    |
| 9.51  | .029     | .0027    | 18.51 | .012     | .0006    |
| 10.51 | .015     | .0004    | 19.51 | .009     | .0005    |
| 11.51 | .014     | .0003    | 20.51 | .006     | .0004    |
| 12.51 | .014     | .0003    | 21.51 | .003     | .0002    |
| 13.51 | .014     | .0003    | 22.51 | .001     | .0001    |
| 14.51 | .014     | .0004    | 23.51 | 0.000    | 0.0000   |
| 15.51 | 0.013    | 0.0003   |       |          |          |

Т а б л и ц а 3

| $r_2$ | $F(r_2)$ | $r_1$ | $f(r_1)$ | $r_2$ | $F(r_2)$ | $r_1$ | $f(r_1)$ |
|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|
| 3.57  | 0.690    | 1.86  | 0.6938   | 13.52 | 0.037    | 7.03  | 0.0160   |
| 4.55  | .415     | 2.37  | .3413    | 14.52 | .027     | 7.55  | .0116    |
| 5.54  | .269     | 2.88  | .2069    | 15.52 | .019     | 8.07  | .0097    |
| 6.54  | .167     | 3.40  | .1232    | 16.52 | .011     | 8.59  | .0050    |
| 7.53  | .098     | 3.92  | .0562    | 17.51 | .007     | 9.11  | .0029    |
| 8.53  | .067     | 4.44  | .0235    | 18.51 | .005     | 9.63  | .0016    |
| 9.53  | .058     | 4.96  | .0159    | 19.51 | .004     | 10.15 | .0021    |
| 10.52 | .054     | 5.47  | .0164    | 20.51 | .002     | 10.67 | 0.0010   |
| 11.52 | .049     | 5.99  | .0144    | 21.51 | .001     | 11.19 | —        |
| 12.52 | 0.045    | 6.51  | 0.0163   | 22.51 | 0.000    | 11.71 | —        |

### Степени относительной концентрации

Степени относительной концентрации  $K$  рассмотренных групп звезд в скоплении М15 были определены для области ядра (за исключением



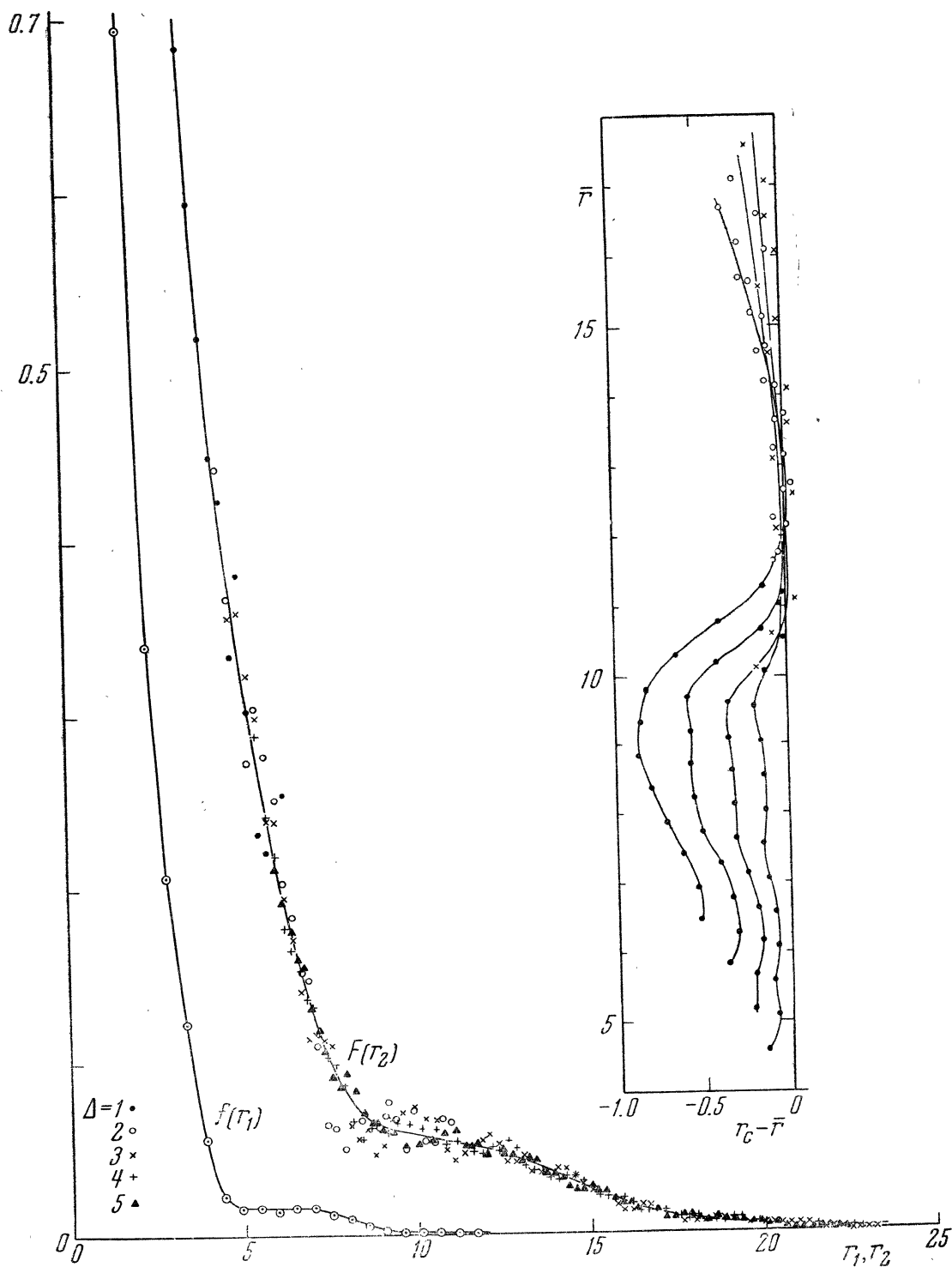


Рис. 3

внутренней ее зоны) путем решения по способу наименьших квадратов системы пяти уравнений вида:

$$\lg f(r, K) = \text{const} + K \lg f(r, 1),$$

составленных на основании данных таблицы 4. При этом были получены следующие значения величины  $K$ :

$$K_B = 1, \quad K_{RR} = 0.82 \pm 0.03.$$

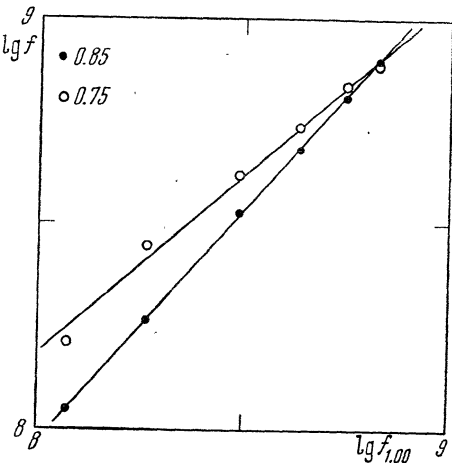


Рис. 4

Т а б л и ц а 4

| $r_1$ (отн. ед.) | $\lg f(r_1)$ |       |
|------------------|--------------|-------|
|                  | RR           | B     |
| 2                | 9.453        | 9.778 |
| 2.5              | 9.279        | 9.494 |
| 3.               | 9.064        | 9.253 |
| 3.5              | 8.832        | 9.004 |
| 4                | 8.556        | 8.663 |

Чтобы выяснить, в какой степени пренебрежение эффектом эллиптичности системы может исказить значения  $K$ , были использованы данные,

полученные при анализе распределения плотности переменных звезд типа RR Лиры в скоплении  $\omega$  Cen [1]. Значения  $\lg f(l)$ , найденные при разных предположениях о величине отношения полуосей ( $\eta$ ) видимого эллипса системы переменных звезд скопления  $\omega$  Cen, приведены в таблице 5.

Т а б л и ц а 5

| $l$ (отн. ед.) | $\lg f(l)$    |               |               |
|----------------|---------------|---------------|---------------|
|                | $\eta = 1.00$ | $\eta = 0.85$ | $\eta = 0.75$ |
| 4              | 8.834         | 8.899         | 8.894         |
| 4.5            | 8.750         | 8.808         | 8.836         |
| 5              | 8.640         | 8.688         | 8.742         |
| 5.5            | 8.493         | 8.533         | 8.618         |
| 6              | 8.265         | 8.265         | 8.447         |
| 6.5            | 8.068         | 8.045         | 8.212         |

На рис. 4 показана диаграмма относительных концентраций, построенная по данным таблицы 5. За единицу принята степень концентрации, соответствующая  $\eta = 1.00$ . Наклон прямых, проведенных через нанесенные точки, показывает, что  $K_{0.85} = 1.14$ ,  $K_{0.75} = 0.88$ . Поскольку систематического изменения величины  $K$  с изменением  $\eta$  не наблюдается, необходимо заключить, что колебания  $K$  носят случайный характер. Если принять  $K_{0.75} = 1$ , то  $K_{0.85}$  окажется равным 1.3. Таким образом, следует признать, что описанным выше способом величина  $K$  вообще может быть определена с точностью лишь до  $\pm 0.3$ , а средние квадратические ошибки, получаемые при определении этой величины по способу наименьших квадратов, носят формальный характер. Поэтому доста-



точно определять величину  $K$  графическим способом по диаграмме относительных концентраций, а значения  $K$ , отличающиеся между собой на 0.2—0.3, можно считать тождественными.

На основании вышеизложенного мы можем заключить, что в ядрах рассмотренных нами скоплений М3 [2], М4 [5] и М15 степень относительной концентрации ярких звезд (групп В, А, D, RR) практически одинакова, несмотря на то, что эти скопления принадлежат к весьма различным классам концентрации (VI, IX и IV, соответственно). Повидимому, динамические факторы, от которых зависит распределение звезд в скоплениях, в частности их массы, для звезд этих групп различаются весьма незначительно.

### Л и т е р а т у р а

1. П. Н. Холопов, АЖ 30, № 4, 1953.
2. П. Н. Холопов, АЖ 30, № 5, 1953.
3. П. Н. Холопов, ПЗ 9, № 6, 1954.
4. П. Н. Холопов, АЖ 32, № 4, 1955.
5. П. Н. Холопов, АЖ 33, № 1, 1956.
6. H. Shapley, Star clusters, Harv. Obs. Mon. 2, 1930.
7. H. Shapley, H. Sawyer, HB 852, 1927.
8. H. Shapley, A. R. Sayer, PNAS 21, 593, 1935.
9. S. I. Bailey, HA 76, № 4, 1916.
10. S. I. Bailey, HA 78, 233, 1919.
11. L. Rosino, ApJ 112, 221, 1950.
12. I. Izsák, Bud Mitt № 28, 1951—52.
13. П. Н. Холопов, АЖ 26, 298, 1949.
14. F. Küstner, Bonn Veröff 15, 1921.
15. H. L. Johnson, M. Schwarzschild, ApJ 113, 630, 1951.
16. A. Brown, ApJ 113, 344, 1951.

Астрономический совет АН СССР  
Январь 1955 г.