

Распределение плотности ярких звезд в шаровом скоплении NGC 5466

П. Н. Холопов

По подсчетам звезд ярче $16^m.5$ на пластинке, полученной А.Г.Крыловым с помощью широкоугольного астрографа ГАИШ, изучено распределение плотности ярких звезд в районе шарового скопления NGC 5466 (XII класса концентрации по Шепли).

Скопление является гигантской звездной системой, состоящей из ядра радиусом в $8'$, промежуточной зоны и огромной короны, средний радиус которой равен $1^\circ.6$, или 580 пс (рис.8). Скопление содержит 1025 звезд ярче $16^m.5$, 80% из которых находятся в области короны.

Несколько звезд типа RR Лиры, открытых в широких окрестностях скопления В.Бааде [4] и исследованных Б.В.Кукаркиным [5], находятся в области короны системы (рис.6). Три из них, по-видимому, принадлежат к системе.

Distribution of the Density of Bright Stars in Globular Cluster NGC 5466

P. N. Kholopov

The distribution of the density of bright stars in the region of globular cluster NGC 5466 (Class XII of concentration according to Shapley) was studied. For this purpose counts of stars brighter than $16^m.5$ on the plate obtained by A.G.Krylov with the help of wide-angle astrograph of the Sternberg Institute were used.

The cluster is a gigantic star system, which consists of the nucleus with the radius $8'$, intermediate zone and of huge corona, the mean radius of which is $1^\circ.6$ or 580 parsecs (fig.8). The cluster contains 1025 stars brighter than $16^m.5$, 80% of which are situated in the corona region.

Several stars of RR Lyrae type discovered by B.Baade [4] in the wide surroundings of the cluster and investigated by B.V.Kukarkin [5] are situated in the corona region of the system (fig.6). Three of them probably belong to the system.

1. Скопление NGC 5466 относится к XII классу концентрации по Шепли, т.е. принадлежит к числу наименее концентрированных шаровых скоплений. Это определило выбор его в качестве одного из объектов изучения в производимом нами сравнительном анализе

распределения пространственной плотности звезд в шаровых скоплениях.

Скопление расположено на большой галактической широте ($l'' = 42^\circ 1$, $b'' = +73^\circ 6$) и находится почти на границе галактической системы ($m-M = 16^m 56$ [1], $R = 20.5$ кпс).

Недавно Д.Каффи [1] опубликовал точную диаграмму величина-показатель цвета для звезд скопления (рис. 1).

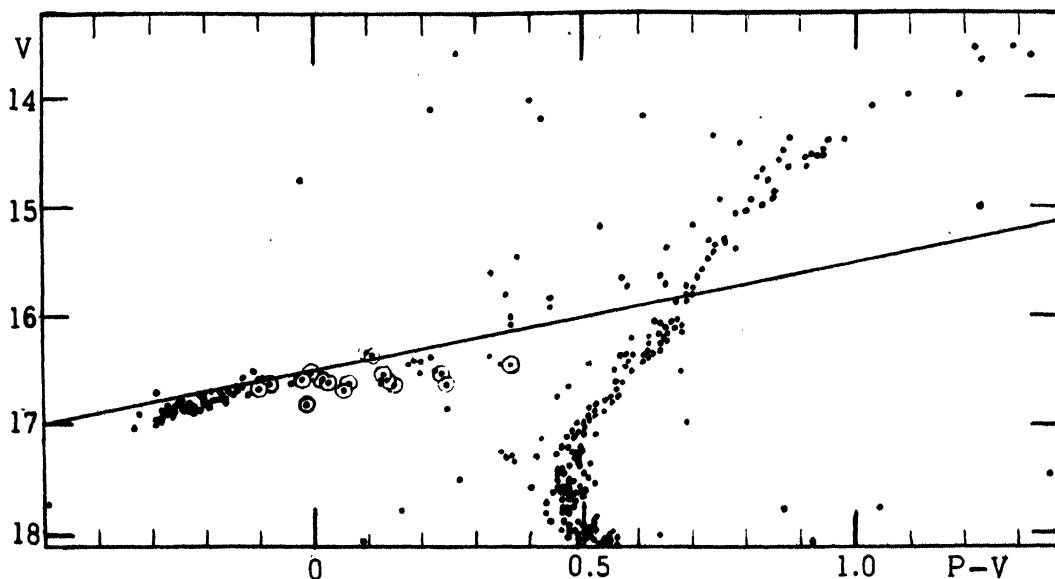


Рис. 1

Оценки углового радиуса скопления, приводимые разными авторами, заключены в пределах от $2' 5$ до $4' 6$ [2].

В скоплении известно 18 переменных звезд типа RR Лиры [3], самая далекая из которых расположена на расстоянии $15'$ от центра скопления. Уже это обстоятельство позволяет подозревать, что размеры скопления значительно больше приводимых.

Четыре новых переменных, две из которых, возможно, относятся к типу RR Лиры, были обнаружены недавно в пределах $4'$ от центра скопления Каффи [1].

В 1926 г. В.Бааде [4] открыл в широких окрестностях скопления (от $23'$ до $86'$ от центра) пять переменных звезд, которые оставались неизученными до 1957 г., когда Б.В.Кукаркин [5] показал, что все они, по-видимому, принадлежат к типу RR Лиры, а две могут даже относиться к NGC 5466.

Вопрос об отношении этих переменных к скоплению представляет большой интерес, в связи с чем становится особенно необходимым определение точных границ скопления по подсчетам звезд постоянного блеска.

2. Эти подсчеты были выполнены нами по пластинке №1138 широкоугольного астрографа ГАИШ (АФР-1), установленного в Москве на Ленинских горах, полученной по нашей просьбе в ночь с 19 на 20 мая 1960 г. с часовой экспозицией А.Г.Крыловым. Высокие

оптические качества этого инструмента уже отмечались в работе [6], в которой было показано отсутствие влияния фотометрической ошибки поля на результаты подсчетов звезд, произведенных по снимкам, полученным с этим инструментом, в пределах всей площади пластинки (размер $6 \times 6^\circ$, масштаб $- 1 \text{ мм} = 90''$).

К сожалению, поступившая в наше распоряжение пластинка (эмульсия Agfa – Astro unsens.) оказалась очень завуалированной, что крайне затруднило подсчеты и привело даже к необходимости независимого повторения их.

Подсчеты производились с помощью прибора КИМ – 3 при 34-кратном увеличении. В пределах 10 мм от избранного центра скопления (рис.2) были измерены прямоугольные координаты всех ви-

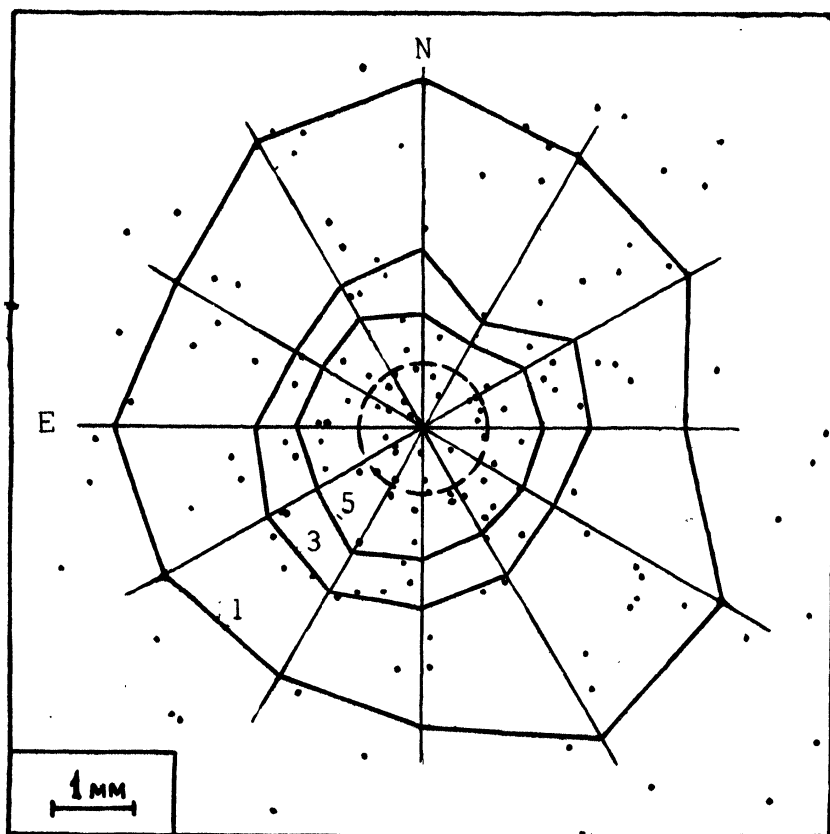


Рис.2

димых звезд (до $16^m.5$ P, что соответствует участку диаграммы величина–показатель цвета, расположенному выше наклонной линии, нанесенной на рис.1), а вне этих пределов звезды подсчитывались в участках стеклянной палетки, ограниченных радиальными лучами, проведенными через каждые 15° , и концентрическими окружностями с радиусами, возрастающими на 1 мм в области от 0 до 50 мм от центра и на 5 мм – в районе от 50 до 110 мм от центра (см. [6]). Звезды, видимые в квадрате со стороной $10'$, изображены точками на рис. 2.

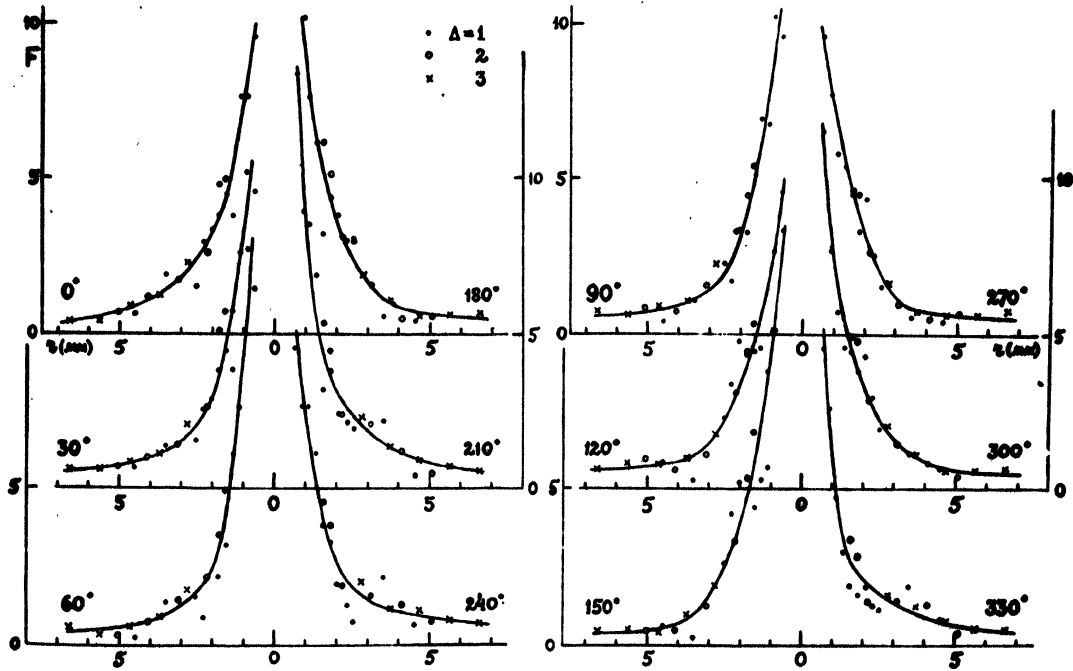


Рис.3

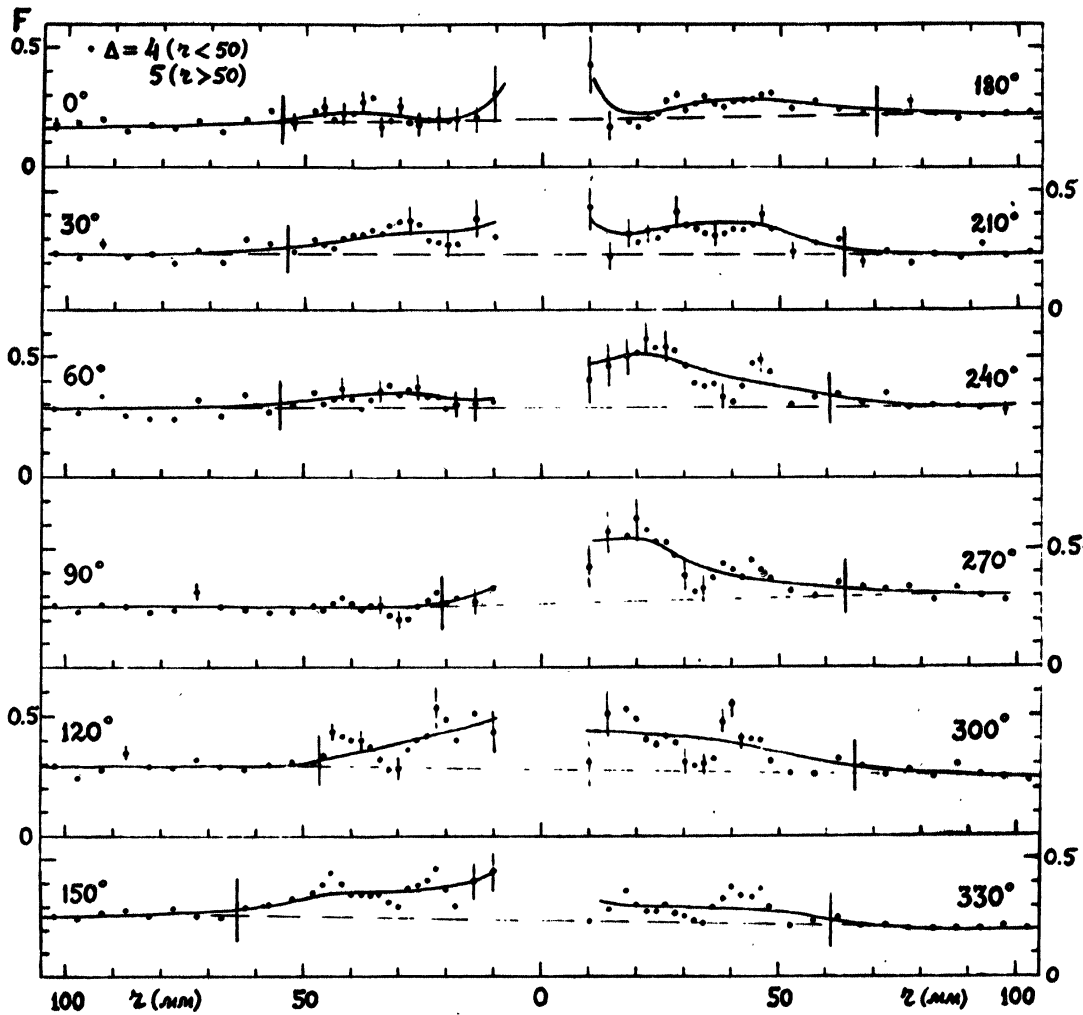


Рис.4

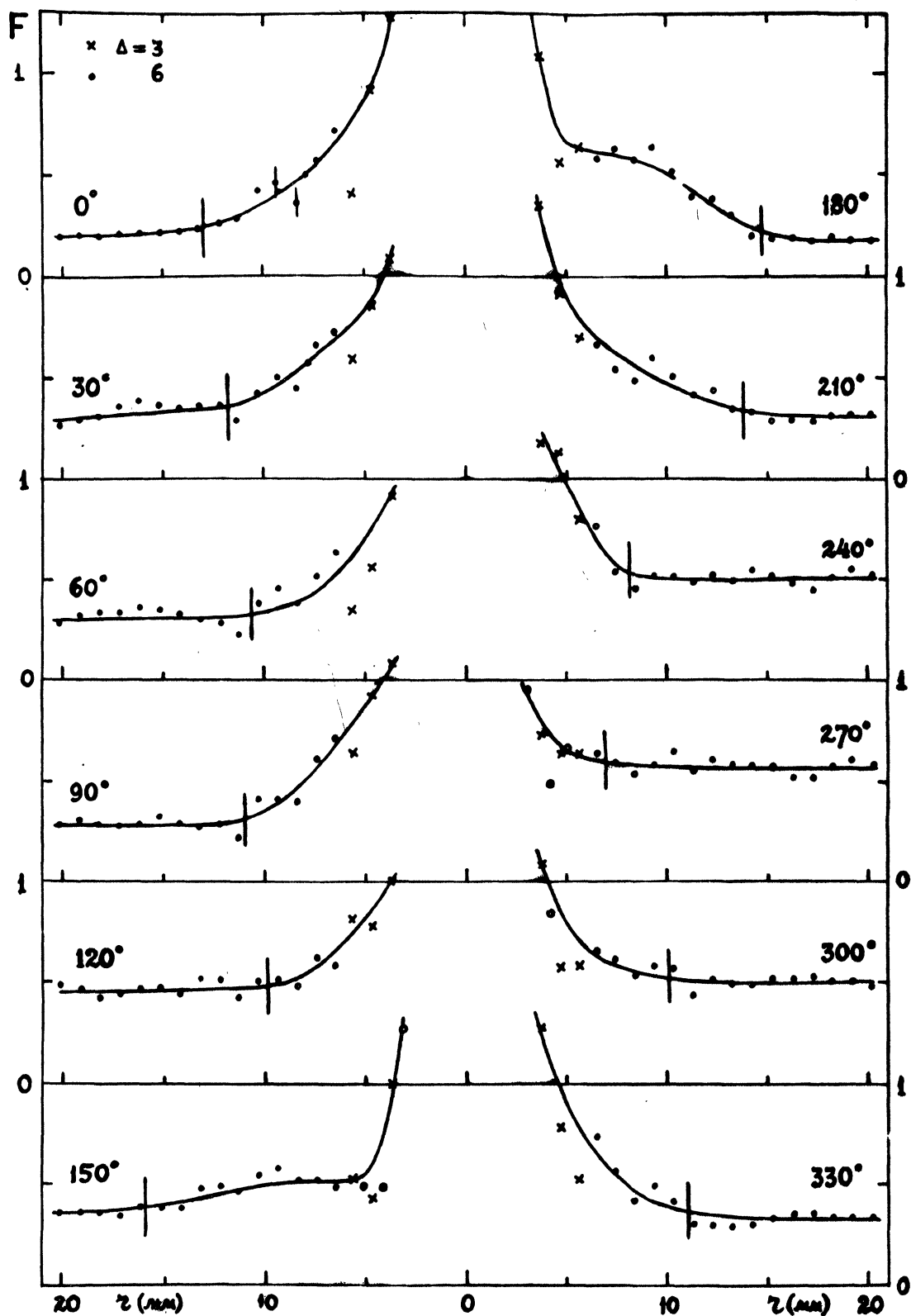


Рис.5

Во время первой серии подсчетов (2 – 30 января 1961 г.) мы переходили от центра к периферии по развертывающейся спирали. Постепенное изменение яркости лампочки, освещающей поле зрения (вследствие распыления нити на колбе с течением времени), привело к систематическому искажению подсчетов, что было обнаружено лишь благодаря смене перегоревшей лампы. Этот эффект незаметен в случае прозрачных негативов. К сожалению, подсчеты были обработаны лишь осенью 1961 г., когда выяснилась необходимость проведения их заново. Результаты первой серии подсчетов были поэтому отброшены.

Во время второй серии измерений и подсчетов (29 сентября – 27 октября 1961 г.) в течение двух – трех часов в день производились подсчеты на всем протяжении лишь одного данного 15-градусного сектора. При этом в разных секторах подсчеты велись попеременно: то от центра к периферии, то от периферии к центру. Через каждые 3 – 4 дня измерений производилась смена лампочки, освещающей поле зрения. Последняя предосторожность была принята не сразу, а после первых 12 дней измерений, что привело к наличию заметных колебаний средней плотности фона в разных направлениях от центра. Поскольку нас, в данном случае, интересует изменение звездной плотности лишь в радиальном направлении, мы сочли нецелесообразным дальнейшее повторение подсчетов.

3. Вычисление видимой плотности производилось для разных направлений от центра в 60-градусных перекрывающихся секторах и кольцевых перекрывающихся зонах различной ширины. Границы зон (за единицу длины принят 1 мм на пластинке) следующие: 0–1–2–3–4–5, 0.25–1.25–2.25, 0.5–1.5–2.5, 0.75–1.75–2.75, 0–2–4–6, 1–3–5, 0.25–2.25, 0.5–2.5, 1–4–7, 2–5–8, 3–6, 8–12–16–...–48, 18–22–...–46–50, 50–55–...–100–105.

На рис. 3, 4 и 5 показаны кривые распределения видимой плотности $F(r)$ для 12 направлений от центра скопления; различные значки соответствуют ширине Δ указанных выше кольцевых зон. Рис. 3 соответствует центральному району системы, рис. 5 – промежуточной зоне, рис. 4 – периферии. Короткими черточками отмечены пределы флуктуаций плотности, соответствующих естественным флуктуациям чисел звезд.

На рис. 2 нанесены построенные по рис. 3 кривые равной видимой плотности (указанной рядом с каждой кривой), а на рис. 6 – границы промежуточной зоны (пунктир) и всего скопления (сплошная линия), выявляемые, соответственно, по рис. 4 и 5, на которых они отмечены в каждом из направлений длинными штрихами.

Точками на рис. 6 нанесены 18 переменных звезд, отнесенных к скоплению в каталоге Соьер [3], а также 5 переменных, открытых Бааде. Рядом с последними поставлены их номера по Бааде. Мы видим, что все они оказываются в пределах границ скопления.

Проверка показывает, что звезды Baade 3, 4 и 5 (UU CVn) меняют блеск в тех же пределах, что и переменные Var 1 – 18, бесспорно относящиеся к скоплению. Baade 2 (UV CVn) существенно

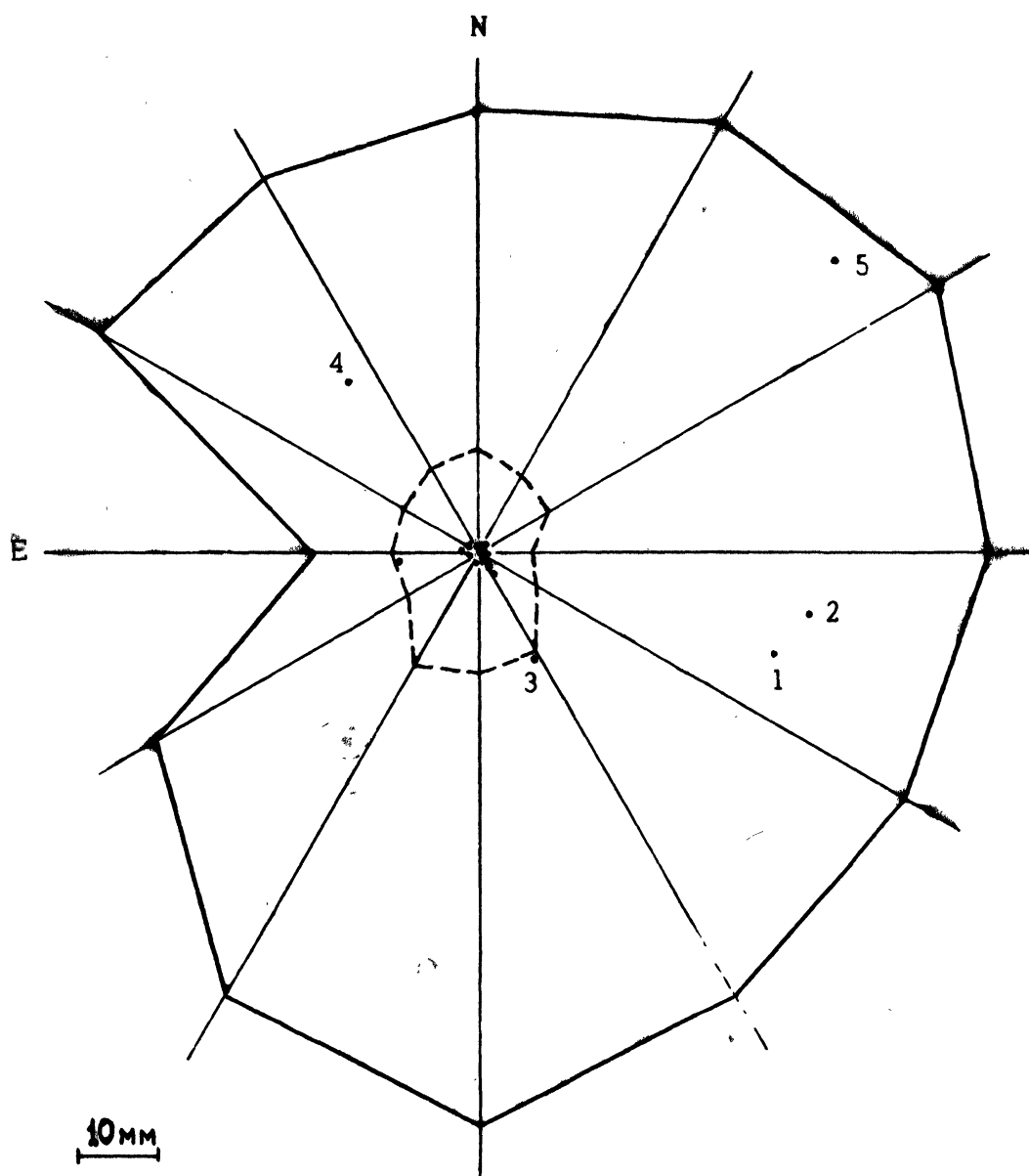


Рис.6

ярче этих звезд и, несомненно, лишь проектируется на систему. Baade 1 (UW CVn) выглядит в минимуме блеска на $0^m.5$ ярче переменных в скоплении, но не исключено, что причиной этого является наличие тесного спутника. Эта гипотеза должна быть проверена с помощью длиннофокусного инструмента.

Возможная принадлежность переменных Baade 3 и 4 к скоплению была уже заподозрена Б.В.Кукаркиным [5]. Мы видим, что и UU CVn можно заподозрить в принадлежности к скоплению, несмотря на огромное удаление ее от центра системы. В связи с изложенным возникает необходимость исчерпывающих поисков и ис-

следования переменных типа RR Лиры (до 17–18^m в минимуме блеска) в широчайших окрестностях скопления NGC 5466, по меньшей мере до 5–6° от его центра.

4. Несмотря на эксцентричность внешних районов системы относительно центра, мы решили построить среднюю кривую распределения плотности звезд в скоплении. Рис.2 показывает, что положение центра ядра скопления также можно было бы исправить, но чрезмерное рафинирование методики анализа данных подсчетов представляется нецелесообразным.

При построении средней кривой $F(r)$ были приняты следующие границы кольцевых зон:

- $\Delta = 1$: серия 0–1–2–...–10 и три серии, полученные из этой последовательным смещением границ на 0.25 по r ;
 $\Delta = 2$: 0–2–4–...–20, 1–3–...–21, 0.25–2.25–...–6.25, 0.5–2.5–...–6.5, 0.75–2.75–...–6.75, 1.25–3.25–...–7.25, 1.5–3.5–...–7.5, 1.75–3.75–...–7.75;
 $\Delta = 5$: 5–10–...–100–105, 6–11–...–41, 8–13–...–43, 9–14–...–44.

Полученная с учетом ошибки интервала [7] окончательная кривая $F(r)$, выраженная в числах звезд, приходящихся на 1 мм² на пластинке, приведена в табл.1 и показана на рис.7 а,б.

Таблица 1

$r(\text{мм})$	$F(r)$	$r(\text{мм})$	$F(r)$	$r(\text{мм})$	$F(r)$	$r(\text{мм})$	$F(r)$	$r(\text{мм})$	$F(r)$
0.35	11.030	4.95	0.633	9.62	0.518	19.53	0.363	42.90	0.312
0.81	9.200	5.47	.614	10.14	.497	22.13	.354	45.50	.308
1.32	5.550	5.99	.602	10.66	.474	24.73	.346	48.10	.304
1.83	3.270	6.51	.592	11.18	.451	27.33	.340	50.70	.299
2.35	2.075	7.03	.584	11.70	.430	29.93	.335	53.30	.294
2.87	1.440	7.55	.575	12.22	.413	32.53	.330	55.90	.289
3.39	1.080	8.07	.565	12.74	.397	35.13	.325	58.50	.284
3.91	0.850	8.58	.553	14.33	.382	37.33	.320	61.10	.279
4.43	0.690	9.10	.538	16.93	.371	40.33	.317	63.70	.276

Среднее значение радиуса скопления мы принимаем равным 65 мм. Средняя плотность звезд фона $F_0 = 0.25$ зв./мм² = 0.111 зв./кв.мин. дуги.

5. Кривая $F(r)$ проведена так, чтобы наблюдаемые на ней крупномасштабные колебания плотности не были сглажены. Хотя в пределах естественной неопределенности, характеризующей наши подсчеты, ход кривой $F(r)$ можно изменить (см., например, пунктирную кривую), тем не менее на данном этапе исследования мы не считаем возможным делать это, так как нас интересуют именно эти остаточные крупномасштабные колебания плотности, наблюдаемые в данном конкретном скоплении, а не гипотетические сглаженные распределения, которыми в теоретических исследованиях обычно стремятся аппроксимировать наблюдения. При желании, полученные нами кривые как видимой, так и пространственной плотности, всегда можно подвергнуть любому сглаживанию.

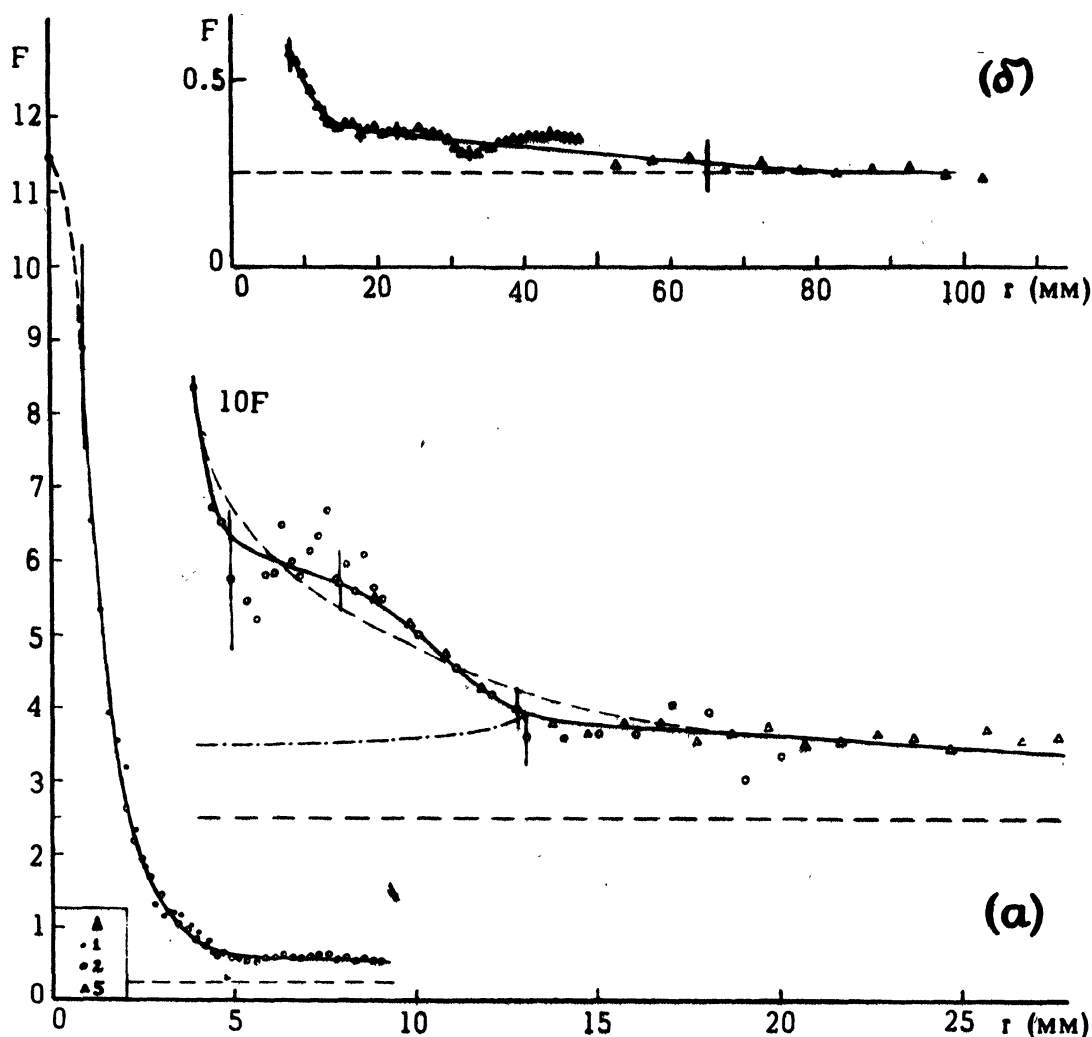


Рис.7

На рис.8 (сплошная линия) и в табл.2 представлена полученная численным методом [8] по кривой $F(r)$ средняя функция распределения пространственной плотности $f(r)$. При вычислении ее скопление разбивалось на внешнюю ($r > 13$ мм) и внутреннюю ($r < 13$ мм) части. Функция $f(r)$ вычислялась отдельно для обеих частей, причем при определении $f(r)$ для области с $r < 13$ мм учитывалась видимая плотность, создаваемая в этой области звездами фона и членами внешней части системы (штрих-пунктирная кривая на рис.7а). Функция $f(r)$ выражена в числах звезд, приходящихся на кубическую минуту дуги.

Пунктирная кривая на рис.8 соответствует сглаженной функции $f(r)$, полученной по кривой $F(r)$ со сглаженным участком, изображенным пунктиром на рис.7а.

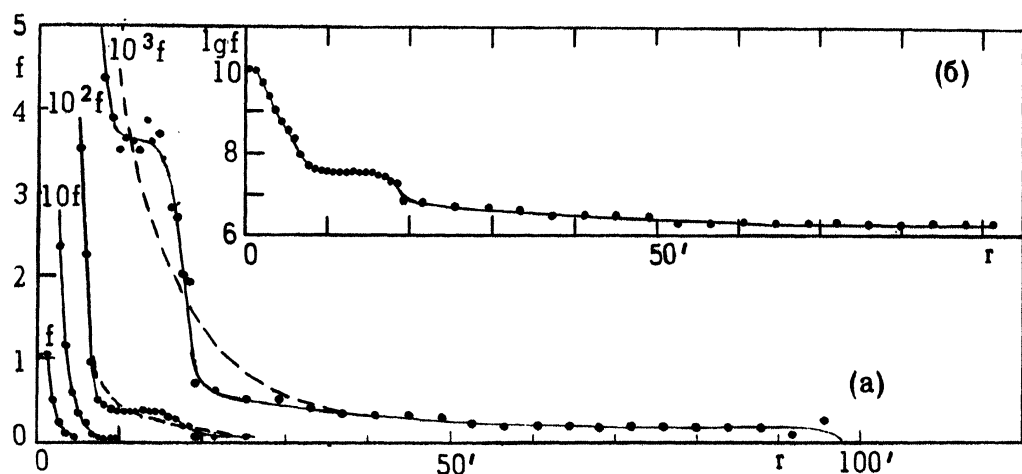


Рис.8

Таблица 2

r	f(r)	r	f(r)	r	f(r)	r	f(r)	r	f(r)
0!52	1.027	7!42	0.0050	14!43	0.0037	29!30	0.0005	64!35	0.0002
1.22	1.062	8.20	.0044	15.21	.0034	33.20	.0004	68.25	.0002
1.98	0.518	8.98	.0039	15.99	.0028	37.10	.0003	72.15	.0002
2.74	.236	9.76	.0035	16.77	.0027	41.00	.0003	76.05	.0002
3.52	.115	10.54	.0037	17.55	.0020	44.90	.0003	79.95	.0002
4.30	.061	11.32	.0036	18.33	.0019	48.80	.0003	83.85	.0002
5.08	.035	12.10	.0035	19.11	.0007	52.70	.0002	87.75	.0002
5.86	.022	12.87	.0039	21.50	.0006	56.60	.0002	91.65	.0001
6.64	.0093	13.65	.0036	25.40	.0005	60.50	.0002	95.55	(.0003)

6. Рис.7 и 8 показывают, что система ярких звезд скопления NGC 5466 делится на несколько отчетливо выраженных зон: ядро, промежуточную зону и корону.

В ядре должна существовать центральная зона, пространственная плотность в которой практически постоянна. Центральная зона хорошо выявляется у близких рассеянных скоплений, у которых мы можем наблюдать в этой зоне достаточно большое для статистического анализа число звезд. В случае NGC 5466 ярких звезд здесь слишком мало (24), и мы можем установить лишь верхнюю границу радиуса этой зоны. Рис.7 и 8 показывают, что радиус центральной зоны ядра не может превышать 1!2(радиус пунктирной окружности на рис.2), что составляет в линейной мере 7 пс. В рассеянных скоплениях [9] и скоплении М 67 [6] эта величина меньше 1 пс.

В табл.3 приводятся некоторые числа, характеризующие распределение звезд в NGC 5466.

Таблица 3

Область системы	Радиус внешней границы области	Число звезд скопления
Центральная зона ядра	$\leq 1' 2$ (7 пс)	102 (10%)
Внутренняя зона ядра (зона максимального градиента плотности)	3' (20 пс)	
Ядро	8' (50 пс)	
Промежуточная зона	20' (120 пс)	80 (8%)
Корона	1° 6 (580 пс)	843 (82%)
		1025 (100%)

Линейные размеры соответствуют модулю расстояния Каффи [1], полученному при условии, что для звезд типа RR Лиры $M_{vis} = 0^m$.

Всего на пластинке было подсчитано 9780 звезд. Из них 4380 находятся в пределах круга радиусом 65 мм (98'). Из этого числа к скоплению относятся 1025 звезд ярче 16^m.4 Р, 80% из которых находятся в огромной короне, имеющей диаметр около 1 кпс. Ядро и окружающая его широкая промежуточная область содержат всего лишь около 20% ярких членов системы. Эти числа получены численным интегрированием функции $f(r)$.

Отношение градиента пространственной плотности во внутренней зоне ядра к градиенту плотности в короне составляет 10^5 . Пространственная плотность ярких звезд в центре скопления в 3500 раз превышает среднюю плотность этих звезд в короне.

На рис.86 показана кривая изменения $\lg f(r)$ в зависимости от r . Для области ядра системы эта зависимость линейна.

Чрезвычайно желательно получить подтверждение наших результатов путем независимого исследования этой интересной системы, основанного на другом материале.

Выражаем глубокую благодарность А.Г.Крылову за получение фотографии скопления NGC 5466.

Литература

1. J.Cuffey, AJ 66, 71, 1961.
2. G.Alter, J.Ruprecht, V.Vanýsek, Catalogue of star clusters and associations, Prague, 1958.
3. H.B.Sawyer, DDO Publ. 2, №2, 1955.
4. W.Baade, Bergd.Mitt. 6, 66, 1926.
5. Б.В.Кукаркин, ПЗ 12, 50, 1957.
6. Н.М.Артюхина, П.Н.Холопов, АЖ 38, №6, 1961.
7. П.Н.Холопов, АЖ 30, №4, 426, 1953.
8. П.Н.Холопов, АЖ 26, №5, 298, 1949.
9. Н.М.Артюхина, П.Н.Холопов, АЖ 35, №4, 524, 1958.
10. П.Н.Холопов, ПЗ 11, №3, 202, 1958.

Гос. астрономический институт им. П.К.Штернберга
Москва, Декабрь 1961 г.