иизлиърдрчи астрофизика

TOM 36

МАЙ, 1993

выпуск 2

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД И ПЫЛЕВОЙ МАТЕРИИ В КИ-	165
СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЛАБЫХ УГЛЕ- РОДНЫХ ЗВЕЗД НА ВЫСОКИХ ГАЛАКТИЧЕСКИХ ШИРО-	105
ТАХ ІІ. СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
21 УГЛЕРОДНОЙ ЗВЕЗДЫГ. В. Абрамян, К. С. Гигояа	181
СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ У Р СУС	
Г. Л. Исраелян, А. Г. Никогосян	189
МЕЖЗВЕЗДНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В ГАЛАКТИЧЕСКОЙ ПЛОСКОСТИ	
Р. А. Барданян, В. В. Ажбарян, А. В. Погосян	195
поляриметрические наблюдения голубых звездных объ-	
ЕКТОВ FBS. II М. А. Ерицян, А. М. Микаелян	203
СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДО-	
ВАНИЕ ГАЛАКТИК С УФ-ИЗБЫТКОМ. IX	-
М. А. Казарян, Э. С. Казарян	211
СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОЙ ГАЛАК-	
ТИКИ ТИПА СЕЙФЕРТА М. А. Казаряа	217
к теории изотропного рассеяния излучения в плоском	
слое. метод раздельных линеиных интегральных	0.00
УРАВНЕНИИ	225
сферически-симметричные решения ото являются част-	240
НЫМИ РЕШЕНИЯМИ БСТТ А. А. Саерян	247
KNHEMATURA SBESA B WILYPAX ROBANDCROID-RAITTENHA. III	251
Г. В. Анисимова	231
NPAIRAE COODDELLEANS	
AY TEDA TOATELINA I	
СТЕМ ТИПА ТРАНЕЦИИ. Т	.272
1. Щ. Джавахишвили, 19. D. Павлов, 1. П. Салуквадзе	215
DESUPA CULUE SPESILL & SPONOULA KOACULY KAONAGO	
вспыхивающие эвезды и оволюции краспых каринко-	277
выл эреэд	211

EPEBAH

Выходит с 1965 г. на русском и английском языках

Խմբագրական կոլեգիա՝ Գ. Ս. Բիսնովատի-Կոգան, Վ. Գ. Գորբացկի (գլխ. խմբագրի տեղակալ), Վ. Պ. Գրինին, Վ. Վ. Իվանով, Ն. Ս. Կարդաշև, Վ. Հ. Համբարձումյան, Ա. Գ. Մասևիչ, Լ. Վ. Միրզոյան (գլխ. խմբագիր), Գ. Ս. Սանակյան, Վ. Յու. Տերեբիժ, Ա. Տ. Քալլօղլյան (պատ. բարտուղար).

Խմբագրական խորքուրդ՝ Ա. Ա. Բոլարչուկ, Ե. Կ. Խարաձե, Ի. Մ. Կոպիլով, Վ. Հ. Համբարձումյան, Լ. Վ. Միրվոյան, Վ. Վ. Սոբոլև (նախագան).

Редакционная коллогия: В А. Амбарцумян, Г. С. Бисноватый-Коган, В. Г. Горбацкий (зам. главного редактора). В. П. Гринин, В. В. Иванов, А. Т. Каллоглян (ответ. секретарь). Н. С. Кардашев, А. Г. Масевич, Л. В. Мирзоян (главный редактор), Г. С. Саакян, В. Ю. Теребиж.

Редакционный совет: В. А. Амбарцумян, А. А. Боярчук, И. М. Копылов, Л. В. Мирзоян. В. В. Соболев (председатель), Е. К. Харадве.

«АСТРОФИЗИКА»—научный журнал, издаваемый Национальной Академией наук Республики Армения. Журнал печатает оригинальные статьи по физике звезд, физике туманностей и межэвездной среды, по эвездной и внегалахтической астроиомии, а также статьи по областям науки, сопредельным с астрофизикой. Журнал предназначается для научных работников, аспирантов и студентов старших курсов.

«ԱՍՏՂԱՖԻԶԻԿԱ»–Ն գիտական ճանդես է, որը ճրատասկում է Հայաստանի Հանրապետության Գիտությունների Ազգային ակադեմիան։ Հանդեսը տպագրում է ինքնատիպ նոդվածներ աստղերի ֆիզիկայի, միգամածությունների ու միջաստղային միջավայրի ֆիզիկայի, աստղարաշխության և արտագալակտիկական աստղագիտության, ինչպես նաև աստղաֆիզիկային սանմանակից բնագավառների գծով։ Հանդեսը նախատեսված է գիտական աշխատակիցների, ասպիրանաների և բարձր կուրսերի ուսանողների ճամար։

С) Издательство НАН Республики Армения, Астрофизика, 1993.

АСТРОФИЗИКА

TOM 36 .

МАЙ, 1993

ВЫПУСК 2

УДК 524.4

the states

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД

Г. М. ТОВМАСЯН, Р. Х. ОГАНЕСЯН, Р. А. ЕПРЕМЯН, Д. ЮГЕНЕН

Поступила 2 октября 1991

Пранята к печати 10 января 1992

По результатам наблюдений на космическом телескопе «Главар» области Киля, включающей в себя и тучанность Сагіпа, исследовацо распределение 150 всеза ранних спектральных классов в пространстве. Показано, что в наблюдавшемся направлении зыкон межзвездного поглощения нормален. В всоледованной области обнаружено пять звездных ассопнаций типа О, расположенных на расстояниях около 1100. 2000, 3000, 4000 и 5600 ли. На близком расстояния в 560 ли обнаружена группа авезд опносительно ноадних спектральных классов (ВЗ-В9). В этой группе обнаружена тесная систома звезя, состоящая из пяти членов. Показаво, что три из расположенных в этом направление скоплений, NGC 3293, Во 10 в IC 2581 (Ст 222), находятся в составе ассоцвация Саг ОВ 2.0 на расстояния около 2200 пк. Еще одно выблюдавшееся эдесь скопление, NGC 3324. оп-выдемому, находитсян соотаве ассоцивции Саг ОВ 3.0 на расстояния около 2900 пк. Показано, что до расстояний около 1000 их нистся слой палонососососос вынать состания и воло 1000 их настоя слов на состания сост лучения расположенных дальше втого слоя авезд в 1²⁷⁵ на 2 1640 А. В объеме обнаруженных эвсэдных ассоциаций пыль распределена очень неравномерно. В пространотве между ассоциациями пыли нет.

1. Введение. В статье [1] были представлены результаты наблюдений в направлении звездной ассоциации Саг ОВ1, выполненных с помощью космического телескопа «Глазар». На площади неба приблизительно в 13 кв. градусов были обнаружены 233 звезды ярче 8^{m5} на λ 1640 А. Все вти звезды являются эвездами ранних спектральных классов.

В направлении наблюдавшейся области луч зрения проходит вдоль ружава Киля на глубину до 5—6 кпк. В этой области находится примечательная туманность Сагіпа (NGC 3372) иместе с неординарной эвездой п Саг и несколько звездных скоплений— Tr 14, Tr 15, Tr 16, IC 2581 (Cr 222), NGC 3324 (Cr 225), Cr 228, Cr 232, Bo 10, Bo 11 и NGC 3293.

SUB DEL - - - -

Здесь же находится эвеэдная ассоциация Саг ОВ1 ичастично явездная ассоциация Саг ОВ2. Эта область интенсивно исследовалась многими. При этом для расстояний эвездных скоплений и ассоциаций были даны достаточно отличающиеся друг от друга эначения, от 2.0 клж, до 3.7 клж [2—22]. Результаты исследования распределения ОВ-звезд, наблюдаемых в области туманности Сагіпа, представлены в работе [23], где показано, что четыре из шести проектирующихся на туманность звездных скоплений на самом деле находятся в объеме туманности и составляют единый комплекс. Было показано также, что закон межзвездного поглощения в туманности Сагіпа аномален.

В настоящей работе на основе полученных в [1] данных иследуется распределение в пространстве ввезд ранних спектральных классов в Киле, расположенных на небе вне туманности Carina, а также распределение поглощающей пылевой материи. Большое воздействие поглощения на λ 1640 A, как и в случае наблюдений областей других звездных ассоциаций [24—28], должно, очевидно, позволить выявлять различные трупцировки звезд ранних спектральных классов и более точно определять их расстояния, а также исследовать распределение яылевой материи в наблюдавшейся области.

2. Наблюдательные данные. Исследование распределения наблюдавшихся ввезд и поглощающей материи в пространстве, как и в предыдущих работах етой 'серии [23—28], производилесь с шомощью графика переменной вкстинкции, т. е. графика зависимости (m—M) 1640 от $E(m_{1640} - V)$.

Для определения модулей расстояный и на избытков цвета, как и в предыдущих работах, вначале по Q-методу Джонсона и Моргана [29] были уточнены слектральные классы в плассы светямостей в системе МК в клучае тех аз неблюдовшихся звеся, для которых в литературе нисьнов соответствующие слектральные и колоримстричсские данные. При известных спектральных классах и классах светимостей ввезд с псмощно наблиц из работ [30] (для ввеня шектраньных классов позднсе В2), [31--33] (иля эвеся более ранных, чем В2) и [34] (для seeig тыпов Вольфа-Ране) определялись их абсолютные звездные величния M_{v} , а нотом с номощью нормальных цветов $(m_{1640}-V)_0$, получасыых из таблиц работы [35] путем интерполирования, и абсолютные звездные величины М 1640. Определенные таким образом фотометрические спектральные классы ввезд в системе МК приведены в табл. 1. Нумерация звеля в этой таблице дана по работе [1]. Затем быля определены значения избытков цвета E (m1640-V) и модулей расстояний (m-M)1640 нсследованных звеэд, с помощью которых были построены рассматряваемые далее гозбики переменной экстникция.

Tabanna 1

СПЕКТРАЛЬНЫЕ КЛАССЫ, МЕЖЗВЕЗДНЫЕ ПОГЛОЩЕНИЯ И ИСТИННЫЕ МОДУЛИ РАССТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАННЫХ ЭВЕЗД

16	HD COP LLNS, Глазар	Sp (MK)	A 1040	(mo-M)10:0
1	2	3	4	5
1	89402	B8.5 V	0.5	876
2	89430	BS III	0.2	10.2
3	302686	B0.5 III	4.0	12.6
4	90102	B1.5 III	3.5	11.2
5	90187	B1 Ille	3.8	11.5
6	302772	B1.5 III	1.5	13.9
7	90273	07:5 V	4.5	12.2
8	90288	BI IV	1.3	11.5
9	302771	B0.5 V	3.2	12.5
10	302742	B1.5 IV	2.4	12.5
12	90578	В9.5 ПІ	2.8	13.0
13	90615	B0.5 II	5.5	11.2
14	90772	A3 Ia	1.5	11.6
15	90832	B1 III	4.8	11.4
17	302840	B1 V	3.3	11.4
18	90872	B5 V	0.1	7.9
21	90987	B1 III	3.0	12.7
24	91188	B4.5 III	0.8	8.7
25	91294	B9 II—III	0.0	10.1
26	91421	B2 Ib(WN5)	1.8	12.5
27	91477	B4 IV	0.6	9.1
30	91533	A0.5 Ia	2.1	12.2
34	91572	06 V	3.5	12.5
35	91619	B6 Ia	4.0	11.5
37	91764	B1.5 Is	3.1	13.1
38	91765	B1 11	4.0	12.3
41	91824	09 V	2.0	11.8
42	91850	B1 III	4.7	11.5
44	91943	B0.5 Ib	3.1	11.3
45	92007	B0.5 II	4.1	11.8
46	91969	B0 Ib, Ia	1.6	11.8
49	92044	BO.5 II-III	4.3	11.5
50	92051	, Bl Ille	2.5	12.3 '
51	92072	B5 V	0.0	8.0
	and the second second		and the second	the second second

Таблица Т (продолжение)

1	2	3	4	5
55	92174	B8 II – III	0.8	11.2
56	92190	B6.5 V	0.9	8.8
57	92206	06 V+06V	3.6	12.3
58	92207	B8.5 Ia	5.1	14.4
62	92287	B4 III	0.6	8.2
69	9 238 3	BO V	2.0	12.3
70	92384	B9 III	1.2	8.8
71	92397/8	B8 III	0.6	8.7
72	92 39 9	B4.5 IH	0.3	8.9
75	92420	B1 Ise	2.8	13.4
76	92421	B5.5 IV	0.9	8.8
77	303175	B0.5 II	3.7	12.7
78	303182	BO III-IV	4.1	12.1
83	92504	08 V	2 2	12.4
84	92584	B0 IB	1.6	14.0
85	92585	B5 IV	0.3	10.5
93	92702	Bl Iss	2.4	13.6
94	92712	B0.5 V	3.4	10.0
95	92725	B0.5 UI	3.8	11.5
96	92739	B0.5 II	2.4	12.9
100	305469	B0.5 II	3.4	13.0
103	92850	B0.5 Ia	2.6	13.9
104	303202	B1 IU	3.7	12.6
106	9285 2	B2.5 IV	1.8	11.5
111	9 28 94	B0.5 V	3.7	11.6
114	303296	B0.5 V.	3.6	11.8
115	303297	B0.5 V	2.4	11.8
117	92964	B1.5 IaB	3.7	10.1
124	93002	B1 III	2.1	13.0
130	93025	B1 III	2.4	12.9
131	93026	B0.5 III	2.2	13.6
140	93113	B2 II—IU	1.2	12.3
191	93646	O5 II	5.4	12.3
195	93723	B3 IV	1.8	10.1
199	9 3 873	Bl La	5.0	12.7
200	93898	B7.5 III	1.0	9.0
202	93943	B9.5 IV	0.1	6.0
203	94024	07 V	4.2	13.2

ГОРЯЧИЕ ЗВЕЗДЫ И ПЫЛЕВАЯ МАТЕРИЯ В КИЛЕ

1	2	3	4	5
204	94054	B2 III	4.7	10,3
205	4129	B9 IV	1.8	7.4
206	94201	B1.5 II	1.3	13.7
207	94230	B1.5 Ia	4.6	12.8
208	91258	B4 IV	0.7	10.7
209	94303	B5 V	1.1	10.2
211	303492	C8.5 Ia	5.1	13.7
213	94.370	09.5 III - I V	2.7	11.7
215	94394	B8 I:III	0.4	10.0
215	94409	E8 V	0.6	8.8
223	94491	B4 V	1.1	7.2
224	\$4533	B6.5 III	0.3	10.4
227	94663	E0 III	37	12.8
228	303558	EO III	4.5	12.9
231	95250	Bo 5 IV	0.5	8.6

Таблица 1 (скончание)

Из наблюдавшихся в области Киля, вне туманности Carina, 140 звезд спектральные и колориметрические данные были известны для 87 звезд.

Из-за небольшого углового разрешения «Глазара» была измерена суммарная звездная величина на λ 1640 А обоих компонентов двойной звезды № 57. Измеренная звездная величина в случае звезды № 45 относится сразу к трем звездам, № 6, 22 и 23, по работе [20]. В случае же тех двойных явезд, когда второй компонент заметно более слабнли он более позднего спектрального класса, чем главный компонент, учитывалось излучение только главного компонента.

3. Распределение звезд ранних спектральных классов в пространстве.

а) Звездные ассоциации. При построении графика переменной экстинкции, представленното на рис. 1, использованы данные о звездах, расположенных на небе вне области туманности Сагіпа. Из звезд же, наблюдаемых в области туманности, использованы те восемь звезд, которые, согласно работе [23], проектируются на туманность Сагіпа, нонаходятся ближе нее. Проставление на этом графике точек, соответствующих звездам, расположенным внутри туманности или за ней, вводит большую путаницу, поскольку, как было показано в работе [23], закон: межзвездного поглощения в самой туманности аномален.

г. м. товмасян и др.

Рассмотрение графика переменной экстинкции (рис. 1) позволяет, во-первых, выделить песть знезд, расположенных в непосредственных окрестностях Солнца. Одна знезда, № 202, находится на расстоянии всего 160 пк, дне знезда, № 205 и 223,—на расстоянии 280 пк и еще три, № 18, 51 и 193,—на расстоянии около 400 пк. Эти знезды пренадлежат относительно поздним спектральным ялассам от В3.5 до В9.



E(m15+0 - V)

Рыс. 1. Графия зависниости (m-M)₁₆₄₀ от $E(m_{1640} - V)$, построенный по дакным 87 эвезд, наблюдавшихся в Киле (вне области туманаости Carina).

ГОРЯЧИЕ ЗВЕЗДЫ И ПЫЛЕВАЯ МАТЕРИЯ В КИЛЕ

Затем довольно определенно выделены две группы, состоящие каждая из 13 глезд. Угловые коэффициенты R_{1640} линии, вохруг которых расположены точки, представляющие звезды этих групп, сказываются равпьми 1.70 и 1.74. Эти значения практически не отличаются от значения 1.75, которое получается из выражения $A_{1640} = R_{1640} E(m_{1640}-V)$ при пормальном законе межзвездного поглощения, когда $A_V = 3.3 E(B-V)$ [36] и $A_{1640} = 7.69E(B-V)$ [37].

Основная масса наблюдавшихся звезд расположена на графике переменной эхстинкции в пространстве между двумя пунктирными линиями 1 и 2, проведенными с угловыми коэффициентами наклона, равными 1.75. Это говорит о том, что закон межзвездного потлощения ноомален и в более далеких областях рукава Киля. Звезды всей большой группировки оказываются распределенными вдоль рукава Киля по модулям расстояний от приблизительно 11725 го 1475, что соответствуст расстояниям от 1.8 клж до 5 кпк. Это намного больше размеров сверлассоциаций или гитантских НІІ-областей, как их нередно называют. Можно было бы ноэтому думать, что на самом делс в этом направлении имеются различные грушпировки звезд. Одноко, из-за ошибок в измерении наблюдгемых зведных величии m1640 (сколо 0,1 - 0,2), а также некоторых неопределенностей в оценке абсолютных звездных всянчин M_V и отклонений реальных нормальных цветов (m₁₆₄₀—V)0 от принимаемых значений, ошибки в определении модулей расстояний инливидуальных зверд мотут доститать 075 - 076 звездных величин. И, следователько, отдельные груплировки эвезд могут оказаться переметанными на графике переменкой экстинации.

Внимательное рассмотрение рис. 1 показывлает, однопо, что основная масса эвезд может быть все же подразделена ча четыре отдельные группы. Первая из имх состоит из 25 звезд. В следующей группе имеется 21 звезда. Две самые удаленные группы состоят всего из шести и девяти звезд соответственно.

Угловые козффициенты линий на графике переменной экстинкция, вдоль которых расположены точки, представляющие экстинкция, рех групп, равны 1.65, 1.77, 1.71 и 1.64 соответственно. Эти значения, как и в случае двух близких групп, практически не отличаются от значения 1.75. Следовательно, в исследованной области Киля, за исключением области туманности Carina [23], действует нормальный закон межзвездного поглощения. Поэтому при расчете значений поглощений A_{1640} на λ_{1640} А и истиных модулей расстояния индивидуальных звезд, приведенных соответственно в четвертом и пятом столбцах табл. 1, для коэффициента R_{1640} было принято значение 1.75. Линии на графике переменной экстинкции (рис. 1), представляющие обнаруженные группы,

17r

проведены также при этом эначении коэффициента R_{1640} . При этом исправленные за межзвездное потлощение модули расстояний всех шести обнаруженных групп оказываются равными: 8=8 ± 0=25, 10=3 ± 0=23, 11=5 ± 0=22, 12=4 ± 0=2, 13=0 ± 0=08 и 13=7 ± 0=20. Соответствующие расстояния разны 575, 1150, 2000, 3000, 4000 и 5500 пк.

В наблюдавшейся в работе [1] области в Киле находится и туманность Сагіпа, в которой было обнаружено достаточное количество ОВввезд. Поэтому для получения более полного представления о распределении звезд ранних спектральных классов в Киле необходимо было, конечно, поивлечение и данных, изложенных в работе [23] по исследованию распределения ОВ-звезд в направлении этой туманности. И поскольку закон межзвевдного потлощения в самой туманности Carina яномален [23], то для исследования распределения ввезд ранных спектовльных классов в области Киля была составлена гистограмма распределения истиных модулей расстояний всех 150 наблюдавшихся влесь на «Глазаре» звезд, включая и те, которые находятся на небе в области туманности Carina (рис. 2). Эта гистограмма довольно определенно полтверждает существование в наблюдаемом направлении вдоль рукава Киля всех шести групп эвезд ранних опектральных классов. Пунктирные ления на онсунке представляют оглаженные кривые распределения истинных модулей расстояния в каждой группе. По этим сглаженным конерым были определены средние истинные модули расстояния звеза каждой гоуппы. Согласно этой гистограмме, обнаруженные труппы эвезд находятся на расстояниях около 560, 1100, 2000, 3000, 4000 и 5600 пк. На усоене половины максимума ширина каждой кривой равна прибливительно±0 ... 25, что соответствует среднеквадратичным отклонениям исправленных за поглощение модулей расстояний отдельных звезд в каждой группе от среднего значения. Наибольшие отклонения от среднего значения составляют, как и следовало ожидать, $\pm 0^{m}5 \rightarrow 0^{m}6$.

Из гистограммы видно, что чем дальше находится группа, тем меньше количество ее наблюдаемых членов, что естественно, поскольку с увеличением расстояний групп их слабые члены оказываются ниже предела обнаруживания.

Спектральные классы звезд ближайшей группы позднее чем В4, так что эта группа не является звездной ассоцнацией типа О. Звезды этой группы, как видно из рис. 3, 'распределены почти повсей наблюда́вшейся области. Примечательно, однако, что 5 из 13 звезд 'этой группы занимают на чебе область с размерами около 10', что в линейной мере соответствует всего около1.7 парсекам. Очевидно, что эта группа, в состав которой входят звезды № 56, 70. 71, 72 и 76 (HD 92190, 92384,

92398, 92399 и 92421) спектральных классов B6.5 V, B9 III—IV, B8 III. B4.5 III и B5.5 IV представляет собой тесную систему звезд.



Рес. 2. Генстограмма распределения по истичным модулям расстояний 150 энеяд, наблюдавшихся в Киле (включая область туманности Carina).

Три эвезды из второй группы, № 94, 117 и 204 (HD 92712, 92964 и 94054) принадлежат спектральным классам B0.5 V, B1.5 Ia и B2 III соответственно, причем последние две звезды находятся в восточной части наблюдавшейся области, где плотность OB-звезд этой группы большая (рис. 3). Таким образом, эта группа звезд должна рассматриваться как звездная ассоциация типа O.

Почти все звезды третьей группы, кроме пяти, имеют спектральные классы В1 и ранее, так что эта группа определенным образом, является звездной ассоциацией, в состав которой входит и туманность Carina.

Наиболее удаленные три группы почти исключительно состоят из звезд спектральных классов О5—В2, так что они, несомненно, являются О-ассоциациями.

К сожалевию, ограниченность выполненных на «Глазаре» наблюдений [1], охватывающих всего около 13 кв. градусов, не позволяет уточнить очертания обнаруженных ассоциаций, определить их размеры и координаты их центров. Для втого, очевидно, необходимы дополнительные наблюдения. Из рассмотрения рис. 3 мы можем пока что отметить,

что звезды второй группы на расстоянии около 1000 пк в основном сосоедсочены в области неба севернее и северо-восточные туманности Сагіпа. Здесь на площади в ~6 кв. градусов находятся 9 из 13 явези этой группы. В линейной мере размер области наибольшей плотности ввезд равен около 40 ли. Звезды ассоциации на расстоянии около 2000 пк в основном распределены в полосе шириной одного градуса. тянущейся от туманности Сагіпа на северо-запад вдоль плоскости Галактики. Звезды четвертой гоуппы почти равномерно распределены по всему наблюдавшемуся участку неба. Звезд этой группы нет у восточного коая наблюдавшейся области. Наибольшее удаление членов втой группы друг от друга в проекции на небе составляет около 250 лк. Эвезды ассопнации на расстоянии около 4000 пк концентрируются на небе в основном в области туманности Сагіпа, где пространство наиболее проврачно. Несколько звезд этой ассоциации находятся и в областях севернее туманности. Все звезды самой удаленной ассоциации, кроме одной, находятся на небе в области туманноти Сагіпа и севернее нее. Наибольшее удаленние звезд этой группы друг от друга в картинной плоскости составляет ~ 350 пк.

Было известно, что в наблюдавшейся на «Глазаре» области неба находятся две звездные ассоциации—Саг ОВ1 и частично проектирующаяся на эту область, довольно большую по размерам (330'×150'), ассоциация Саг ОВ2, центр которой находится на приблизительно 2°5 юто-восточнее центра первой звездной ассоциации [38]. Две другие звездные ассоциации в Киле, Саг ОВ3 и Саг ОВ4, расположены на небе вне наблюдавшейся области [39]. Расстояние звездной ассоциации Саг ОВ1 было оценено в 2.5 клгк [3, 14] и 3.0 клкк [5], а расстояние Саг ОВ2 в 2.9 клк [3], 2 клк [14] и 3.2 клкк [22]. Так что в наименовачниях и расстояниях звездных ассоциаций здесь имеет место та же путаница, на которую мы указывали в работе по наблюдениям области Парусов [27].

Как мы видели, наблюдения на «Глазаре» достаточно четко выделяют в этом направлении пять богатых ОВ-звездами звездных ассоциаций типа О. Следуя системе обозначений звездных ассоциаций по их расстояниям, предлеженией в нашей работе [27], эти звездные ассоциации должны быть обозначены Саг ОВ 1.1, Саг ОВ 2.0, Саг ОВ 3.0, Саг ОВ 4.0 и Саг ОВ 5.6. Для расстояния пятой наблюдавшейся здесь звездной ассоциации мы получили значение в 5.6 кпк. Однако, возможно, что это значение расстояния несколько преуменьшено из-за того, что звезды этой ассоциации находятся на предельном для обнаружения «Глазаром» расстояния, и потому несколько более далекие ее члены могли бы просто не наблюдаться.



124 106 111 🗸 114 00 115 131. 117 951 V × 104 175 0 0 2: 0199 163 149 165× V 172 145 X 186 × 6 $\begin{array}{c} 145 \\ 172 \\ 177 \\ 179 \\ \hline 169 \\ \hline 169 \\ \hline 169 \\ \hline 160 \\ \hline 164 \\ \hline 128 \\ 128 \\ 125 \\ \hline 160 \\ \hline 164 \\ \hline 128 \\ 128 \\ 125 \\ \hline 167 \\ \hline 152 \\ \hline 167 \\ \hline 152 \\ \hline 167 \\ \hline 152 \\ \hline 170 \\ \hline 168 \\ \hline 159 \\ \hline 139 \\$ 995 102×797 Δ 89 189 °∇ 7 87 193 90 196× 63 × 185 98 ∇ 92 190 × **∇**187 8 133 136 3 E 12

таве ввездной ассоциации Саг OB 2.0, в которой находится туманность Сагіпа. Ранее для расстояния NGC 3293 давались песколько большие значения в 2500 лк [20] и 2600 лк [2, 4, 7]. Хемфрис [6] оценила расстояние четырех энена в 2200 лк, что близко к нашей оценке.

Скопление Во 10. В этом неботатом скоплении и его окрестностях с помощью «Глазар» наблюдалось десять звезд-№ 95, 96, 104, 106, 111, 114, 115, 117, 124 и 131. Рассмотрение прафика переменной экстинкини на рис. 4, на котором проставлены точки, соответствующие этим звездам, показывает, что членами скопления являются всего четыре звезды-№ 106, 111, 114 и 115 (HD 92852, 92894, 303296 и 303297). На гоафике они достаточно хорошо располагаются вдоль линим с утловым ковффилиентом наклона, равным 1.75, соответствующим нормальному закону межзвездного поглощения. И это имеет место несмотоя на то. что скопление Во 10 находится на небе очень близко от тумачности Сагіпа, в которой этот закон аномален [23]. Звезды № 96. 104, 117. 124. 131 расположены на небе по периферни этой группы и находятся на различных расстояниях от нас. Средний модуль расстояния членов скопления Во 10 равен 11765 ± 07 15. Расстояние скопления около 2100 пк. Оно также находится на расстоянии звездной ассоциации Саг •OB 2.0 и входит, эначит, в ее состав. На том же расстоянии, что и скопление Во 10 находится и звезда № 95 (HD 92725), однако на небе она находится на заметном расстоянии от теоной группы из четырех ОВзвезд. По всей видимости, в состав этого скопления, если эта группа вообще является скоплением, возможно, входят еще несколько звезд более поздних спектральных типов. Линейный размер этой группы около 10 пк. В работе [10] расстояние этого скопления было оценено в 2500 пк.

Скопление IC 2581(Cr 222). Точки, соответствующие двум наблюдавшимся на «Глазаре» явездам, № 14 и 17, этого небольшого скопления, достаточно хорошо располагаются на графике переменной экстинкции (рис. 4), вдоль линии с угловым коэффициентом наклона R_{1640} , равным 1.75. Для третьей наблюдавшейся здесь звезды, № 16, нет фотометрических данных. При среднем модуле расстояния 11.5 дгу: звезд расстояние этого скопления оказывается равным 2000 пк, т. е. и это скопление находится в составе звездной асоциаци Саг OB 2.0. Согласно же Тернеру [16], расстояние этого скопления равно 2.87 клк.

Скопление NGC 3324(Cr 225). Согласно Моффету и Фогту [10], расстояние скопления равно 3.3 кпк. Клариа [13] дал для расстояния скопления несколько меньшее значение, в 3.12 кпк, а Тернер и др. [20] еще меньшее значение—в 2.78 клк.

В этсм скоплении на «Глазаре» наблюдались всего две звезды. № 57 и 58. При втом точка, соответствующая звезде № 57, находится

горячие звезды и пылевая материя в киле

на рис. 1 у линии, представляющей группу звезд, находящуюся на расстоянии около 3000 пк. Вторая же точка, соответствующая звезде № 58, расположена на рис. 1 среди звезд группы на расстоянии 1100 пк. Звезда № 58, очевидно, просто спроектирована на скопление NGC 3324. На это указывается и в работе [13]. Расстояние же этого скопления, членом которого является звезда № 57, должно быть приблизительно равно расстоянию этой звезды, т. е. около 3000 пк. Таким образом, скопление NGC 3324 находится в составе звездной ассоциации Саг OB 3.0.

4. Распределение поглощающей материи. Рассмотрение Атласа галактических темных туманностей Хавтаси [39] показывает, что в наблюдавшейся на «Глазаре» области в Киле много мелких пылевых облаков ирсягулярной формы. Свободный от пылевых облаков просвет имеется в направлении на туманность NGC 3372. Результаты наблюдений на λ 1640 А показывают, что пыль в этой области действительно распределена довольно неравномерно.

Рассмотрение графика переменной экстинкции (рис. 1) и данных табл. 1 показывает, что среди звезд близких групп имеются такие, излучение которых подвергнуто значительному поглощению, доходящему до 5ⁿ, как у звезды № 58. В то же время, излучение некоторых звезд далеких групп, как в случае звезд № 140, 206 и 6, находящихся на расстояниях около 2000, 5600 и 6000 пк соответственно, подвертнуто небольшому поглощению, всето в 1.^m2 — 1^m5.

О неравномерности распределения пыли убедительно говорит и то, что потлощение излучения у членов эвездных ассоциаций, расположенных на расстояниях 2000, 3000, 4000 и 5600 пк, находятся в тех же пределах от 1^m5 до 5^m5. О существующих в пылевых облаках прозрачных просветах говорят, например, такие факты, как величины поглощений излучения эвезд № 5, 6 и 9, расположенных в пределах менее 9 утловых минут друг от друга: 3^m8 у звезды № 5 в блиэкой ассоциации Саг ОВ 2.0, 3^m2 у звезды № 9 в ассоциации Саг ОВ 3.0 и всето 1^m5 у звезды № 6 в самой далекой ассоциации Саг ОВ 5.6. Сходна ситуация и в случае звезд № 57 и 58. Расстояние между ними на небе также около 10'. И здесь поглощение излучения у более близкой звезды № 58, равное 5^m1, больше, чем у более далекой звезды № 57, равное 3^m6.

В наблюдавшейся области ретулярно только то, что поглощение излучения, происходящее в двух ближайших группах, обуславливает минимальное излучение гвезд ассоциаций, расположенных на расстоянии 2000 пк и дальше. Это означает, что в непосредственных окрестностях Солица, па расстояниях до ~ 1000 пк, имеется более или менее равномерный слой пыли, вводящий поглощение излучения порядка 1^m5 у ввезд более далеких групп.

Примечательно, что в пространстве между звездными ассоциациями пыли нет. Кстати, это было замечено и при исследовании областей других звездных ассоциаций [24—28].

Рассмотрение также данных работы [23] по исследованию туманпости Сагіпа показывает, что поглощение, вводимое пылевой материей, расположенной на расстояниях до туманности, практически сходит на нет у южного края туманности.

5. Заключение. Исследование распределения 150 эвезд спектральных классов ОВ в области Киля, включая звезды, наблюдасмые в туманности Сагіпа, показывает, что в данном направлении имеются пять звездных ассоциаций типа О, расположенных на расстояниях 1100, 2000, 3000, ИССО и 5600 пк. В соответствии с предложенной нами [27] системой обозначения звездных ассоциаций обнаруженные здесь ассоциации обозначения звездных ассоциаций обнаруженные здесь ассоциации обозначения звездных ассоциаций обнаруженные здесь ассоциации обозначения с Предложенные здесь ассоциации обозначения с ОВ 1.1, Саг ОВ 2.0, Саг ОВ 3.0, Саг ОВ 4.0 и Саг ОВ 5.6.

Кроме того, обнаружена труппа звезд относительно более поздних спектральных подклассов В, находящаяся на расстоянии около 560 пк от Солнца. В этой группе обнаружена тесная система, состоящая из звезд № 56, 70, 71, 72 и 76.

Показано, что скопление Во 10 является, скорее всего, группой звезд.

Определены расстояния эвездных скоплений, наблюдающихся в исследованной области. В составе звездной ассоциации Саг ОВ 2.0, расположенной на расстоянии 2000 лк от нас, находятся скопления NGC 3293, Во 10 и IC 2581 (Сг 222).

Скопление NGC 3324 (Сг 225) находится на расстоянии около 3000 пк в составе звездной ассоциации Саг ОВ 3.0.

Закон межзвездного поглощения во всей наблюдавшейся области, за исключением области туманности Carina [23], нормален, R₁₆₄₀ здесь равен 1.75.

Пылевая материя распределена в наблюдавшейся области очень неравномерно, концентрируясь в иррегулярных по форче облаках. Обнаружен отнесительно равнемерный слой пыли на расстояниях от Солица до ~ 1000 пк, Почти нет поглощения в южной части туманности Carina.

Бюраканская астрофизическая обсерватория

Женерская обсерваторня

ГОРЯЧИЕ ЗВЕЗДЫ И ПЫЛЕВАЯ МАТЕРИЯ В КИЛЕ

THE DISTRIBUTION OF HOT STARS AND ABSORBING MATTER IN CARINA

H. M. TOVMASSIAN, R. KH. HOVHANNESIAN, R. A. EPREMIAN D. HUGUENIN

The distribution in the space of 150 stars of early spectral types in Caria including the region of the Carina nebula is studied on the basis of observations made with the Glazar space telescope. It is shown that the extinction law is normal in the observed area of the sky except the nebula region. Five O type stellar associations situated at distances 1100 pc, 2000 pc, 3000 pc, 4000 pc and 5600 pc are detected. A group of stars of comparatively late types of B3-B9 is detected at a distance of 560 pc. A dense system, consisting of 5 stars is detected in the latter group. It is shown that three star clusters, NGC 3293, Bo 10 and IC 2581 (Cr 222) are within Car OB 2.0 stellar association at a distance of about 2200 pc. Another observed cluster, NGC 3324, is at a distance of about 2900 pc and is in the content of stellar association Car OB 3.0. It is shown that there is a comparatively uniform absorbing layer of dust at a distance less than 1000 pc which causes an absorption of about 1m5 at). 1640 A of the emission of stars situated at larger distances. In the volumes of the detected stellar associations the dust is very ununiformly distributed. The space between associations is free of dust.

ЛИТЕРАТУРА

- .1. Г. М. Товмасян, Р. Х. Оганесян, Р. А. Епремян, Д. Югенен, А. А. Волков, С. К. Крикалев, Аспрофизика, 35, 167, 1991.
- 2. M. W. Feast, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 118, 618, 1958.
- 3. G. Klure, Z. Astrophys., 67, 131, 1967.
- 4. A. Folnstein, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 143, 273, 1959.
- 5. J. A. C.raham, Astron. J., 75, 703, 1970.
- 6. R. M. Humphreys, Astron. J., 75, 602, 1970.
- 7. O. J. Eggen, Astrophys. J., 1. 3, 313, 1971.
- 8. A. Feinstein, H. G. Marraco, J. C. Muzzio, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 12. 331, 1973.
- 9. N. R. Walborn, Astrophys. J., 179, 517, 1973.
- 10. A. F. J. Moffat, N. Vogt, Astron. Astrophys. Suppl. Sre., 20, 125, 1975.
- A. Feinstein, H. G. Marraco, J. C. Forte, Astron. Astrophys. Sappl. Ser 24, 389, 1976.
- 12. W. Herbet, Astrophys. J., 268, 923, 1976.
- 13. J. J. Claria, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 27, 145. 1977.
- 14. R. M. Humphrays, Astrophys. J. Suppl. Ser, 38, 309, 1978.
- 5. J. C. Forts, Astron. J., 53. 1197, 1978.

- 16. D. G. Tarner, Astrophys. J., 83, 1081, 1978.
- 17. P. S. The, R. Bakker, A. Antalova, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 41, 93, 1980.
- 18. D. G. Tarner, A. F. J. Moffat, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 192, 283, 1980.
- 19. A. Feinstein, M. P. FitzGerald, A. F. J. Moffat, Astron. J., 85, 708, 1980.
- 20. D. G. Turner, G. R. Grieve, W. Herbst, W. E. Hurris, Astron. J., 85, 1193, 1980,
- 21. M. Tapia, M. Roth, N. Marraco, M. T. Ruiz, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 232. 661, 1988.
- 22. B. Garcia, J. J. Claria, H. Levato, Astrophys. Space Sci., 143, 317, 1988.
- 23. Г. М. Товмасян, Р. Х. Озенесян, Р. А. Епремян, Д. Юзенен, Аспрофязника, 38, 35, 1993.
- 24. Г. М. Товмасян, Р. Х. Оганесян, Р. А. Епремян, Д. Югенеа, А. С. Викторенко, А. А. Серебров, Астрон. ж., 68, 942, 1991.
- 25. Г. М. Товмасян. Р. Х. Оганесян, Р. А. Епремян, Д. Югенен, Астрофизика, 33, 229, 1991.
- H. M. Tovmassian, R. KH. Hovhannessian, R. A. Epremian, D. Huguenin, Y. M. Khodjayants, M. N. Krmoyan, A. L. Kashin, A. P. Alexandrov, Y. V. Romanenko, Astophys. Space Sci., 188, 217, 1992.
- 27. H. M. Tovmassian, R. KH. Hovhannessian, R. A. Epremian, D. Huguenin, Astron. Astrophys. (B LOVATH).
- 28. Г. М. Товмасян, Р. Х. Оганесян, Р. А. Епремян, Д. Югенен, Астрофизика. 34, 301, 1991.
- 29. H. L. Johnson, W. W. Morgan, Astrophys. J., 122, 142, 1955.
- 30. D. M. Gottlieb, Astrophys. J. Suppl. Ser., 38, 287, 1978.
- 31. N. R. Walborn, Astron. J., 77, 315, 1972.
- P. S. Cnti, C. D. Garmany, C. de Loore, D. Vanbeveren, Astrophys. J., 274, 302, 1983.
- 33. L. Balona, D. Crampton, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 166. 203, 1974.
- 34. P. S. Conti, A. B. Underhill, "O-Stars and W-R stars", MNASA, 1988.
- 35. D. J. Carnochan, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 201, 1139, 1982.
- 36 К. У. Аллен, Аспрофизические величны, Мир, М., 1977, стр. 376.
- G. I. Thompson, K. Nandy, C. Jamar, A. Monfils, L. Houziaux, D. J. Carnochan, R. Wilson, Catalogue of Steller Ultraviolet Fluxes, The Science Research Council, 1978.
- J. Ruprecht, B. Balazz, R. E. White, Catalogue of Clusters and Associations, Akademia Kiado, Budapest, 1981.
- 39. Дж. Ш. Хавтаси, Атлас галактических темных туманностей. Изд. АН Грузин, 1960.

АСТРОФИЗИКА

TOM 36

МАЙ. 1993

ВЫПУСК 2?

Y/IK 524.318

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЛАБЫХ УГЛЕРОДНЫХ ЗВЕЗД НА ВЫСОКИХ ГАЛАКТИЧЕСКИХ ШИРОТАХ.

И. СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ 21 УГЛЕРОДНОЙ ЗВЕЗДЫ

Г. В. АБРАМЯН. К. С. ГИГОЯН

Поступила ! февраля 1992

Принята к печати 6 октября 1992

Определены спектрофотометрические характеристики 21 углеродной эвезды в: спектральном диапазоне 4625-6800 А с разрешением 3 А. Три новые углородные звезды отнессны к группе Ј-звезд.

1. Введение. Настоящая работа является продолжением исследования слабых углеродных звезд, выявленных на пластинках Первого Бюраканского спектрального обзора неба (FBS) [1-4]. Имеется лишь несколько работ, посвященных спектрофотометрическому исследованию углеродных звезд, однако все эти работы посвящены исследованию, в основном, ярких углеродных звезд. Подробности об втих работах изложены в первой части настоящего исследования [5].

Как уже указывалось в первой части [5], целью начатой нами работы является спектрофотометрическое изучение слабых углеродных: авезд (звезды слабее 12^m — 13^m в визуальных лучах), выявленных на пластинках FBS-обзора, предельная звездная величина которого, длязвезд классов С и М нами оценена до 14⁵ - 15^m в визуальных лучах. Исследование этих объектов, несомненно, представляет определенный интерес, особенно звезд на высоких галактических широтах. Список исследованных нами звезд приведен в табл. 1, где последовательно представлены: 1-FBS обозначение, 2-другие названия и соответствующая литература, 3-дата наблюдений; 4-количество использованных спектрограмм для каждой звезды, 5-наша предварительная классификация этих: 2-47

ARE DELGARA

CALOSEN DAYS ADMA/DASS

объектов (R или N; критериєм, используемым нами при этой классификации, является спад интенсивности излучения к коротковолновой области), 6—галактическая широта звезда. Табл. 1 не включает в себя данных о двух новых углеродных эвездах, FBS 1331+421 и FBS 1502+ 359, из наших списков [3, 4], для которых многократные попытки получить спектры с помощью 2.6-м телескопа. Бюраканской обсерватории, начиная с 1989 г., не увенчались успехом, из-за слабости этих звезд.

Ниже приведены краткие замечания к отдельным объектам табл. 1. а) Принадлежность звезд NSV 00437, NSV 00679, V 458 Рег и IRAS 22193+3320 к т.руппе утлеродных отмечена в предыдущих наших работах [4, 5].

Таблица 1

Название FBS	Другов название и литература		Дата набл.	Колич. спеятров	Предв. жласс	Гал. широта В	
· 0110+397	NSV 00437	[20]	04.09.87	5	N		
0137+400	- / 2	[2]	24.10.89	6	N		
0144+369		[2]	04.09.87	4	R-N	+24.0	
0155-1-384	NSV 00679	[20]	04.09.87	6	N	-22.8	
0155 + 403	Ste85	[7]	04.09.87	5	N	20.0	
: 0249+382	NSV 00966	[20]	U4.09.87	3	R	-19.0	
0259-1-444	and shared	[3]	05.12.89	3	R	-12.5	
0309+386	V458 Per	[22]	04.09.87	5	R-N	-16.2	
+ 0324 + 389	1	[2]	04.09.57	4	R-N	-15.0	
0328 + 390		J 2]	23.09.89	5	R-N	-14.0	
0337-1386	the second and	121	23.09.89	3	N	-13.5	
0608-434	Ste85	[7]	U5.03.89	5	N	+12.0	
0620-1433	IRAS 06291+4319	171	US.03.89	3	N	+15.0	
0645-1-375		[2]	09.02.91	2	N	+16.0	
0656.1 351	1/	[4]	20.02.90	5	R-N	-1-16.5	
0702 402		121	09.02.88	3	N	+19.5	
0900 1 269		[4]	24.02.90	5	R	+29.5	
1056 200	THE OWNER	[2]	25.02.89	3	N	+54.0	
1030+379		[1]	27.07.87	Š	R_N	+35.5	
1/13		[1]	07.09.89	3	N	+16.5	
2219+333	IRAS 22193+3320	[4]	19.08.90	5	N	-20.0	

СПИСОК ИССЛЕДОВАННЫХ ЗВЕЗД

Примечание. R-N-поздний R, ранний N.

6) Эсезда NSV 00966 в новом каталоге углеродных звезд Стивенсона [7] приведена под названисы Kurt 80 и имеет очередной сюмер 417 в каталоге. Координаты этой звезды в указаниом каталоге приведены с небольшой точностью.

 в) В работе [6] впервые нами сообщается об обнаружении эмиссионвой линии Н. в спектрах следующих звезд: NSV 00437, FBS 0137+;
 400, NSV 00679, FBS 0608 + 434 == Ste 85, FBS 1934 + 545 и IRAS 22193+3320.

г) IRAS 06291+4319=RAFGL 954. Данные исследования этой звезды в линиях СО приведены в работах [8—13]. Спектр в оптическом диапазоне приводится впервые в настоящей работе.

2. Наблюдения. Все спектры получены с помощью спектрографа UAGS, установленного в фокусе Кассстрена 2.6-м телескопа Бюраканской астрофизической обсерватории. Спектрограммы получены в виде «длина волны—поток» в относительных сдиницах (относительно мотока на длине волны λ_0 =5555 A). Подробности о каблюдениях, калибровке и стандартивации длются в первой части настоящей работы [5]. Распределения энертии в спектрах звезд табл. 1 приведены в работах [1—6].

3. Спектрофотометрические характеристики звезд. Полученные результаты спектральных наблюдений объектов табл. 1, позволили нам определить спектрофотометрические характеристики этих звезд. Определены цветовые температуры, индексы полос (1,0) λ 4737 A, (0,0) λ 5165 A и (0,1) λ 5635 A молекулы C₂ системы Свана, полос (6,1) λ 5730 A красной системы молекулы CN, (6,1) λ 5730 A красной системы молекулы CN, (6,1) λ 5790 A молекулы C¹³N¹⁴ (изотоп циана), дублета натрия λ 5890 A и индексы градиентов квазинепререывного спектра [57]—[67] в красной и [57]—[48] синей частях спектра этих ввезд. Следуя работам [14—16], идексы молекулярных полос поглощения мы определили как

$$-2.5 \lg \frac{F(\lambda_1)}{F(\lambda_2)},\tag{1}$$

где $F(\lambda_1)$ и $F(\lambda_2)$ —соответственно эначения потоков у головы полос и квазиконтинуума в спектрах звезд. Участки квазиконтинуума для полос системы Свана молекулы C₂ 4737, 5165 и 5635 А, расположены в районе длин волн 4810, 5245 и 5700 А, а для полос (6,1) красных систем молекулы циана и его изотопа, а также для дублета NaD—в районе 5700 А. Спектрофотометрические градиенты определены по соотношениям Г. В. АБРАМЯН. К. С. ГИГОЯН

$$57] - [67] = -2.5 \lg \frac{F(5700)}{F(6685)},$$
(2)

$$[57] - [48] = -2.5 |g| \frac{F(5700)}{F(481())}.$$
 (3)

Градиент [57]—[67] отражает цветовую температуру углеродных звезд.

4. Дветовые температуры. Весьма важной характеристикой углеродных звезд является их цветовая температура. Достаточно точное определение цветовой температуры углеродных эвезд связано с большими трудностями, потому что в смектрах этих объектов не удается выделить полностью свободные от поглощения участки [17]. Принимая, что точки квазиконтинуума соответствуют длинам волн 5700 А и 6685 А, аналогично работам [14—16], мы определили индекс

$$m_{5700} - m_{0085} = -2.5 \lg \frac{F(5700)}{F(6685)}.$$
 (4)

Цветовые температуры звезд табл. 1 нами определены по известной формуле:

$$m(\lambda_1) - m(\lambda_2) = 12.5 (\lg \lambda_1 - \lg \lambda_2) + 1.56 \times 10^8 \times \frac{1}{T_g} \times \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right)$$
(5)

(принимая)₁ = 5700 А и /₂ = 6685 А).

[

Перечисленные выше спектрофотометрические индексы полос потлощения, выраженные в звездных величинах, и цветовые температуры приведены в табл. 2.

С целью оценки возможных систематических ошибок при определении цветовых температур углеродных звезд нами были также получены спектрограммы 22 сравнительно ярких углеродных звезд, спектрофотомстрические характеристики которых определены другими исследователями. Большая часть этих объектов имеется в списках Эглитиса [18] и Гоу [19]. При сопоставлении цветовых температур этих звезд, определенных нами и авторами работ [18, 19], наблюдается, как это видно из рис. 1, довольно хорошее соответствие, исключение составляют лишь звезды RX Peg и ST And.

Отметим также, что среди звезд табл. 1 три новые углеродные звезды FBS 0259+444, FBS 0656+351 и IRAS 22193+3320, нами отнесены к группе Ј-звезд, на основе присутствия в спектрах этих объек-

Таблица 2

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ 21 УГЛЕРОДНОЙ ЗВЕЗДЫ

Эвезда	I (4737)	I (5165)	I (5635)	J(CN)	/ (C ¹³ N ¹⁴)	I (NaD)	[57]-[48]	[57]-[67]	T [•] _u K
NSV 00437	2"10	2 ^m 0.)	1 1 50	0 ^m 44	0 ⁱⁿ 22	0765	1.1.15	0752	2700
FB; 0137-+400		-	2.25	0.50	0.10	1.06		0.70	2400
FBS 0144+359	2.80	2.50	1.60	0.40	0.25	0.85	-0.83	0.35	3200
NSV 60579	1.30	1.20	0.82	0.30	-0.10	2.01	-1.30	0.67	2500
FBS 015: +413= Ste85	2.80	2.01	1.55	0.62	0.20	0.65	-1.20	0.57	28CO
NSV 00966	2.60	2.68	1.60	0,50	0.25	0.81	-0.62	0.13	4000
FBS 0259-414	2.50	2.50	1.50	0.55	0.45	0.70	-0,60	-0.12*	5000°
V 458 Per	2.70	2.40	1.57	0.52	0.19	0.83	-0.83	0.50	3000
FBS 0324 +389	2.70	2.50	1.70	0.60	0.25	0.85	-1.10	0.38	3200
FBS 0328+3 0	-	2.80	2.20	0.75	0.31	0.50	-	0,50	2900
FBS 0337-+386	-	2.60	1.90	0.75	0.20	0.03	-	0.55	2750
FBS 0:02+134=Ste35			2.20	0.44	0.27	0.90		0.65	2580
IRAS 05291+4319		1.80	1.50	0.60	-0.10	0.45	1	9.70	2530
FBS 0345975	-		1.15	0.30	-0.15	0.80	-	0.55	2780
FBS 0656+351	-	2.50	1.04	0.75	0.55	0.92	-	0.37	3100
FBS 67-1-402	2.80	2.30	1.50	0.50	0.22	0.55	2.00	0.60	2750
FBS 0800-368		2.11	0.80	0.55	0.20	0.60	1.45	0.43	3200
FBS 105(-+	2.00	1.70	1.50	0.38	0.10	0.65	-1.40	0.60	2890
FBS 1713-527	2.65	1.94	1.20	0.32	0.15	0.45	-0.65	0.45	3100
FBS 1934-545			1.80	0.50	0.07	0.65	-	0.65	2750
IRAS 22193+3320		2.00	1.80	0.45	0.40	0.85	-	0.40	2650

Примечания. — Этот знак в столбдах обозначает, что данный участох спектра звезды находятся под сильной депрессие. •—Граднент [57]—[67] звезды FBS 0259+444 приводится неточно из-за дополнятельной депрессии в рачене 6500—6800 д в спектре этой звезды, следовательно и Т приводится неуверенно.

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ УГЛЕРОДНЫХ 3BE:3A

тов интенсивной полосы С¹³N¹⁴-изотопической полосы циана. Как известно, в спектрах Ј-эвезд присутствуют необычно интенсивные изотопные полосы углерода и циана [17]. Вероятно, к этой группе принадлежит и звезда FBS 0800+368.



Рыз. 1. Сопоставление цветовых температур (T_{u}), определенных ками (горпзолтальная ось) и (T_{u} [18, 19]) авторами работ [18, 19] (вертикальная ось). Сплошная лажия проведена под углом 45°.

5. Основные результаты. 1. Определены спектрофотометрические характеристики 21 слабой углеродной звезды в диапазоне 4625—6800 А.

2. Три новые углеродные звезды выделены нами в группу J-звезд.

3. Замечено, что разница цветовых температур звезд табл. 1, показывающих Н_а-эмиссию, невелико (цветовые температуры этих звезд находятся в интервале 2450—2750°К).

Авторы выражают благодарность научному сотруднику В. Амбаряну за помощь при обработке полученных спектрограмм.

Бюраханская астрофизическая обсерватория

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ УГЛЕРОДНЫХ ЗВЕЗД

SPECTROPHOTOMETRIC INVESTIGATION OF FAINT CARBON STARS AT HIGH GALACTIC LATITUDES

II. SPECTROPHOTOMETRIC DATA FOR 21 CARBON STARS

H. V. ABRAHAMIAN, K. S. GIGOYAN

Spectrophotometric characteristics for 21 carbon stars are determined in the range of 4625-6830 A with a 3 A resolution. Three new carbon stars are atributed to the group of J-type stars.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Г. В. Абрамян, К. С. Гизоян, Астрофизика, 31, 223, 1989.
- 2. Г. В. Абрамян, К. С. Гизоян, Астрофизка, 31, 601, 1989.
- 3. Г. В. Абрамян, К. С. Гизоян, Астрофизика, 32, 501, 1990.
- 4. Г. В. Абрамян, К. С. Гизоян, Астрофияка, 33, 317. 1990.
- 5. Г. Б. Абрамян, К. С. Гизоян, Ссобщ. Бюракан. обсерв., 68 (в печати).
- 6 Г. В. Абрамян, К. С. Гизоян, Сообщ. Бюракав. обсерв., 66, (в сетачи).
- 7. C. B. Stephenson, Pull. Warner and Swasey Observ., 3, No 2, 19 9.
- 8. B. Zukerman, H. M. Dyck, Astrophys. 1., 304, 411, 1985.
- 9. B. Zukerman, H. M. Dyck, Astrophys J., 311, 345 1986.
- 10. B. Zakerman, H. M. Dycz Astron Astrophys., 209, 119, 198).
- 11. S. J. Chin, S. Kusk, Astron. A trophys. 2.7, 351, 1110
- 12. Nguyen-Q-Rieu, N, Epchtein, Troung-Buch, M. Cohan, Astron. A trophys., 180, 117, 1087.
- 12. S. J. Chan, S. Kuok, Asprophys. J., 334, 362, 1988.
- 14. T. D. Fay, Jr., W. H. Warren, Jr., H. R. Joknson, R. K. Honeycutt, Astron. J., 79, 634 1974.
- .15. Б. И. Бурнашев. Изв. Крынской обсерв., 60, 32, 1979.
- 16. И. Эглитис, Исслед. Солнца и красн. звезд, 20, 26, 1984.
- 17. З. Алхене, А. Алкение, У. Двервитие. Характеристики углеродных звезд Галектиски, Зиватие, Рига, 1983.
- 18. И. Эглитис, Научы в: форм. Астрон. Совета АН СССР, 67, 54, 1989.
- 19. C. E Gom, Publ Astron Soc. Pacif., 89, 510, 1977.
- 20. Б. В. Кукаркин в др., Новый каталог эвезд, заподозренных в леременности блеска, Наука, М., 1982.
- 21. П. Н. Холопов и др., Общий каталог переменных эвезд. т. I-II, Наука, М., 1985.
- 22. П. Н. Холопов в др., Общий каталог перемечаных эвезд, т. I—III. Наука. М., 1987.

NT 1

ЛСТРОФИЗИКА

TOM 36

МАЙ. 1993

выпуск 2

УДК 524.33:520.626

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ У Р СУG

Г. Л. ИСРАЕЛЯН, А. Г. НИКОГОСЯН

Поступила 15 нюля 1992 Принята к цечати 6 октября 1992

При тщательном анализе ССО-спектров Р Суд удалось отождествить 10 из 43 неотождествленных до сих пор линий. Большинство из них принаедлежит многократно монизованным атомам. Делается вывод о том, что в некоторых слоях звездного ветра существует аномальный нагрев. Помведены факты, свидетельствующие об изменсиви степени ионизации звездного ветра.

1. Введение. Звезда Р Суд привлекает внимание астрономов почти 400 лет. С тех пор, как в 1600 г. ее открыл Блау [1], исследованию Р Суд посвящено много работ, обзор которых можно найти в [2, 3]. Ее спектр изучен во всем доступном современным приемникам диапавоне электромагнитных волн. Несмотря на это, мнотие вопросы, относящиеся к этой звезде, остаются неразрешенными. Все еще неуверенно определены терминальная скорость (V_{-} =200 км/с согласно [4, 5], 300 км/с по [6], 400 км/с по [3]) и эффективная температура (T_{eff} = 19300 K [7], 12200 K [3]). Неизвестен эволюционный статус ввезды, а также механизм образования дискретных абсорбционных компонентов. Неточности в определении основных параметров звезды, таких, как V_{-} , M, R, T_{eff} . M, не позволяют построить адекватную теоретическую модель оболочжи и ветра.

Важно отметить, что Р Суд является некулярной звездой, повтому к ней неприменямы стандартные методы определения указанных параметров, основанные на использовании статистического материала. Пекулярнымя можно считать следующие свойства звезды: а) интегральному потоку звезды соответствует $T_{eff} = 1.22 \cdot 10^4$ К, однако ее спектральный класс—В1 Ia [3]; 6) несмотря на ранний спектральный класс, в спектре отсутстуют сильные линии ионов CIV, NV, OIV; в) будучи до втого невидимой, звезда в 1600 г. внезапно увеличила блеск до 3^т, однако состатки втого взрыва до сих пор не обнаружены; г) терминальная скорость V в 7-8 раз меньше, а теми потери массы M в 3-10 разбольше, чем у сверхгигантов спектрального класса В1.

2. Спектральные изменения у Р Суд. Известно, что Р Суд принадлежит к недавно выделенному классу яркоголубых переменных (LBV) звезд [2], которые квазипериодически приближаются к пределу светимости Хемфри-Девидсона [8]. При фотометрических изменениях болометрическая светимость LBV-эвезд остается неизменной. Спектральные изменения были найдены у всех LBV-звозд, за исключением Р Суд [2]. Тем не менее, сравнивая ССД-спектры Р Суд с дисперсней 0.8 А/мы, полученные Шталем и др. в 1990 г. [9], со спектрами Джонсона 1977 г. (дисперсия 6 А/жм) [10], нам удалось выявить некоторые изменения. Так, например, интенсивные линии Fe II 4433, 4840, 4863 AA, присутствовавшие в спектрах 1977 г., исчезли. В то же время слабая линия NII 4802 А осталась неизменной. Линии Fe II 5991, 5988 АА в спектрах 1977 г. были более интенсивными по сравненыю с линией Fe III 5999 А. Последиля присутствует в спектре 1990 г., в то время, как первые две линии не шаблюдаются. Говоря о линиях Ре вообще, следует отметить, что почти все линии Fe II, наблюдавшиеся в 1977 г., в последнем спектре отсутствуют, а линии Fe III стали более интенсивными. Такого рода поимеров можно привести много. Изменение стедени ионизации в оболочке, по-видимому, можно обълснить изменсинем пастности эвездного ветра и поверхностной температуры [7]. Тогда можноутверждать, что сисятры 1977 г. и 1990 г. относятся к длум разным состояниям звезды с разлечным темпом потери массы. На это указывают также изменения крыльов бальмеровский линий [11].

Представляет особни интерсе проблема нестояществленных винесионных линий. Дженсен насчитал споло 30 теких линий [10]. В спектре 1990 г. нелоторые из них исчезли, к сместе с тем неявились новые. В общом свектре мы насчитале 43 неотоящественные линии, из которых 10 нам удалосф отождествить. Линин [Ni IV] являются самыми сильнетии в мультиплетах (см. табл. 1). Ислоторые из этих поотощаествленных линий присутствуют в спектрел таких объектов, как ScoX-I, RR Tel, у Cas, сболочки которых зарактеризуются спомально высокой степенью возбуждения.

3. Обсужление. Можно указать на две причины присутствия в спектрах неотождествленных линий. Либо это известные слабые линии металлов, однако сильно смещенные от своего положения в системе отсчета звезды, либо эти линии принадлежат атомам многократно нонизованных металлов. Рассмотрим первую из указанных возможностей. Если неотождествленные линии, находящиеся в диапазоне 5000—8000 А.

обравуются в облаках оболочки явезды, движущихся со скоростью ~ 200 ям/с, то ожидаемое смещение линий будет $\Delta\lambda \sim 3-5$ А. Облака с более высокими схоростями не наблюдаются, а наши попытки отождествить вти линии, предполагая, что они смещены на 3-5 А, не увенчались успехом. Из лиший редких влементов нам удалось отождествить лишь лишию Cu I 5218 А.

Таблица 1

Линкя	Отодаст- влоние	Ляния	Отождест- вление	Линия	Отождест- вление	Лявня	Отождест- вленко
4843	1	5363	[Ni IV]	6047		6694	
4940		5368		6053		6710	3
5033	[Fo IV]	5453		6106		6835	10-11-1
5040	[Ni IV]	5613		6118		6890	
5032	1	5623		6169		7100	
5122		5639		6173	NII	7400	
5160		5647	2.20	6178		7500	
5218	Cu I	5572	10 2	6244		8110	
5234	[Fe IV]	5848	Ni I	6267			
5250	2. 1	5853		6270			
5289 5310	[Ni IV	ວຯ59 6034	[Ni IV]	6464	N III		

СПИСОК НЕОТОЖДЕСТВЛЕННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ Р СУС

В таблице, составленной на основе данных Теккерея [12], указаны несколько линий, которые удалось отождествить с запрещенными линиями нонов Ni IV и Fe IV. Присутствие линий столь высокононизованных атомов указывает на существование в оболочке P Cyg горячих областей с $\mathcal{T}_{\bullet} \sim 10^5$ K. Такой вывод, вообще говоря, не является неожиданным, поскольку известно много сверхгитантов ранних типов, в оболочках которых имеются области с аномальным нагревом. Об этом свидетельствует и тот факт, что многие неотождествленные линии в слектрах P Cyg, ScoX-1, RR Tel и γ Cas одни и те же.

Одним из возможных механизмов аномального натрева является диссипация ударных волн. О генерации последних можно судить по коротковолновым абсорбционным компонентам бальмеровских линий, если принять, что они образуются за фронтом ударной волны. При появлении этим компонентам соответствуют $V_0 \sim 0.4 - 0.5V$ Однако затем скорости растут и достигают значений порядка 200—220 км/с, при ускорении а=0.6 см/с². Временная эволюция этих компонентов у Р Суд, как было покавано в [13], хорошо описывается формулой $M = \text{const} \cdot \rho(r)^{-1/\epsilon}$ [14], где M представляет собой отношение скорости ударной волны к скорости звука в среде (число Маха), $\alpha = 4.9$, а заявисимость $\rho(r)$ берется из модели Полдраха и Пулса [7]. Кастором недавно было покавано [15], что в оболочках звезд ранних типов неустойчивости, обусловленные излучением, могут порождать ударные волны и самовозбуждающиеся осциаляция.



Рес. 1. Завесимость скорости от расстояния для плотных облаков, определенная по бальмеровским дискретным коротковольновым компонентам (пунктирная линия) и для спокойного ветра Р Суд (сплошная ливия).

На рис. 1 показаны законы изменения скоростей бальмеровских дискретных коротковолновых компонентов, образующихся в плотных облаках [16], и спокойного ветра Р Суд [7]. Из рисунка видно, что плотные неоднородности ветра (облака), где образуются эти компоненты, имеют большее ускорение, чем разреженный звездный ветер. Следовательно, они ускоряются не радиативным давлением в оптически толстых. линиях в бальмеровском континууме, а другим механизмом.

Авторы признательны проф. А. Андерхилл за полезные советы: и др-у О. Шталю за любезное предоставление ССО-спектров. Бюраканская астрофизическая обсерватория

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ У Р Суд

SPECTRAL VARIATIONS OF P CYG

G. L. ISRAELIAN, A. G. NIKOCHOSSIAN

A comprehensive analysis of the P Cyg spectra has alowed: to identify 10 from 43 weak hitherto unidentified spectral lines. The majority belongs to multi-ionized atoms of metal: Therefore an anomal heating at some layers of the stellar wind can be expected to occur. The facts, showing the variation of ionization degree are presented.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. ds Groot, Bull. Astron. Inst. Netherl., 20, 225, 1969.

1. .

- H. J. G. L. M. Lamers, in Proc. of Workshop on 'Instabilities in Early Type Stars,. Ed. Lamers and de Loore, 'eidel Dordrecht, 1°87.
- A. B. Underhill, V. Doazan, B-stars With and Without Emission lines, NASA. SP-456, 1982.
- 4. Г. Л. Исраелян, М. де Грут, Астрон. циркуляр, № 1543, 15, 1991.
- 5. H. J. G. L. M. Lamers, P. Korevar, A. Cassatella, Astron. Astrophys., 149,. 29, 1985.
- A. Cassatella, F. Beeckmans, P. Benvenuti, J. Clavel, A. Hick, H. J. G. L. M. Lomers, F. Machetto, M. Panston, P. L. Selvelli, D. Stickland, Astron. Astrophys., 79, 223, 1579.
- 7. A. W. A. Powldrack, J. Puls, Astron. Astrophys., 237, 40), 1950.
- 8. R. M. Hamphrage, K. Davidson, Astrophys. J., 232, 403. 1990.
- 9. O. Stahl, H. Mandel, Th. Szeifert, B. Wolf, F. Zhro, Astron. Astrop hys.,. 244, 467, 1991.
- H. L. Johnson, W. Z. Wisniewski, T. D. Fay, Rov. Mex. Astron. y Astrofis., 2, 4, 273, 1978.
- 11. Г. Л. Исраелян, М. де Грут, Астрофизика, 34, 467, 1991.
- 12. A. D. Thackeray, Mem. Roy. Astron. Soc., 83 1, 1977.
- 13. G. L. Israeltan, in Proc. of IAU Coll. No 134. on "Nonlinear Oscillations of Stars., Ed. Takeuti and Buchler, Mito, 1992.
- J. J. Castor, in proc. of Workshop on 'Instabilities in Early Type Stars', Ed. Lamers and de Loore, Reidel Dordrecht, 1987.
- J, I. Castor, in N A T O Workshop on "Stellar Atmospheros". Ed. Hubeny and Crivellari, Trieste, 1990.
- 16. R. H. van Gent. H. J. G. L. M. Lamers, Astron. Astrophys, 1"8, 335, 1985.

АСТРОФИЗИКА

TOM 35

МАЙ, 1993

BHLIYCK 2

YAK 524.5

МЕЖЗВЕЗДНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В ГАЛАКТИЧЕСКОЙ ПЛОСКОСТИ

Р. А. ВАРДАНЯН, В. В. АМБАРЯН, А. В ПОГОСЯН

Поступила 18 февраля 1992

Принята к печати 25 февраля 1992

Рассматрявается распределеные можавездього поглощения в галактической плоскости с помощью классических цефенд в земад слевной последовательности спектральных классов ВО—ВЗ. В разряботаяном методе использулотся пары звезд с одвмаковой абсолютной звездной величиной, но с максимальной разностью наблюдаемых циетов (С—V). Наблюдаемая картына соответствует крупномасштабному распределению межавездного поглощения в местной межавездной среде.

1. Введение. Исследование мезолеводной среды в эленсимости от галактической долготы и расстсяния от Солнца представляет определенный научный интерес. Оно проводится с помощью различных методов, в пироком спектральном диапазоне длин воли, от рен превожих до радно.

Широко распространенный метод избытка цветов, основанный на исследованиях зависимост избытка цлетов от изправления и расстояния, требует высокоточных фотометрических измерений и в большинстве слутаов не длет желаемого результата, из-за большого разброга этих величин, а усредненные величины солам нают болодаемую картину [1].

В связи с атим следуат счетать делессобразным использование других методов обработки и собратся изблюдательных денных. В настоящей статье для определения запосности межаксядного порлощения от галактической долготы и расстоязы о от Соляда ракработая и примещен новый метод [2]. Использованы наблюдательные дикные, относящиеся к классическим цефеидам [3] и звездам спектральных классон ВС-ВЗ главной последогательности (класс светимости—V) [4].

Суть метода состоит в следующем: из большого числа звезд, у которых абсолютные звездные величины практически одинаковы, выбираются пары звезд с максимальной разностью наблюдаемых показателей цвета (B-V). Естественно считать, что вта разность обусловлена разностью масс поглощающей материи в соответствующих направлениях. в расстояннях. Затем в данном интервале галактической долготы или расстояния определяется процент ввезд, имеющих wauбольшим наблюдаемые показатели цвета, среди всех звезд, составляющих пары.

2. Картина межавеваного поглощения. Для выявления распределения селективного поглощения по галактической долготе (L) сначала были использованы наблюдательные данные, относящиеся к классическим цефевдам. Как известно, абсолютные звездные величины и истинные цвета классических цефеид связаны с периодами следующими соотнотениями [3]:

$$M_{v} = a \lg P + b$$

$$(B-V)_0 = a' \lg P + b',$$

где M_{o} — —абсолютная визуальная звездная величина, P —период, а $(B-V)_0$ —истинный показатель цвета цефеиды. Постоянные величины a, b, a', b' определяются не однозначно [5]. Однако следует думать, что цефеиды одинаковых периодов должны иметь одинаковые абсолютные величины и истинные цвета.

Для отбора пар цефеид практически с одинаковыми периодами, но с максимальной разностью наблюдаемых показателей цветов (B-V), из каталога Бердникова [3], были выписаны $\lg P$ я (B-V) тех звезд, галактическая широта которых находится в интервале $(-5^{\circ}-+5^{\circ})$, по мере возрастания $\lg P$. Из составленного таким образом списка затем были образованы группы, с пятью цефеидами каждая, с порядковыми номерами 1—6, 3—8, 6—11 и т. д. В каждой из втих групп были выбраны пары цефеид с максимальной разностью наблюдаемых показателей цвета (B-V). Поскольку значения $\lg P$ отличались обычно всето на сотые долы величины, то в эти пары вошли цефеиды практически с одинаковыми периодами. В каждой из етих групп первый член пары имел нанбольший показатель цвета— $(B-V)_{max}$, а второй—наименьший— $(B-V)_{min}$.

После отбора таких пар было определено число цефенд с наибольраным показателями цвета—N_{(B-V)max} и общее число цефенд в парах — N_{абт}, в следующих интервалах галактической долготы:

$$L=0-30, 10-40, 20-50, ...330-360, 340-10, 350-20^{\circ}$$

и расстояния от Солнца:

$$R = 0 - 0.3$$
, $0.1 - 0.4$, $0.2 - 0.5$, $...4.3 - 4.6$ KDK.

МЕЖЗВЕЗДНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ

Наконец, в каждом из указанных интервалов галактической долготы и расстояния от Солнца, в отдельности, была вычислена величина

$$P(B-V) = \frac{N_{(B-V)\text{max}}}{N_{\text{ofm}}(B \text{ mapax})} \cdot 100^{0}/_{0}.$$

Зависимость величины P(B-V) от галактической долготы графически представлена на рис. 1, а от расстояния до Солица-на рис. 2.



Рыс. 1. Зависимость величивы P(B—V) от галактической долготы, полученыая по классическим цефендам.

Для проверки полученных зависимостей вышеуказанная процедура была повторена для эвезд спектральных классов BO-B3 главной последовательности (класс светимости-V). На этот раз, составляя списки по признаку спектрального класса (чем ранее спектральный класс, тем меньше порядковый номер звезды в списке), были построены зависямости P(B-V) от галактической долготы и от расстояния до Солнца. Они представлены на рис. 3 и рис. 4, соответственно.

Следует отметить, что в каталоте Бланко и др. [4] электрофотометрические данные о сравнительно ярких звездах представлены более полно, чем о слабых звездах.. Однако можно думать, что влияние этой селекция на наблюдаемую картину незначительно, так как при постронии тех же зависимостей (рис. 3 и 4) с помощью свеля с визуальными величинами меньше 11^m0, 10^m0, и 9^m0, она не претерпевает существенных изменений. 3—47

Р. А. ВАРДАНЯН И ДР.

3. Обсуждение. Приведенные на рис. 1 и 3 зависимости фактически описывают картину крупномасштабного распределения межэвездного поглощающего вещества (пыли) вдоль галактическей долготы. На обенх зависимостях бросается в глаза существование окон прозрачности. Из них следует особо отметить коридор, свободный от поглощения, в интервале галактических долгот 210—260°. Согласно Люке [6], в направленин $L=240^{\circ}$ плоскость Галактики свободна от поглощения примернодо 1.5 кпк от Солнца. Ближайшая область звездообразования (ассоциация Корма OB1) в направления $L=245^{\circ}$ находится на расстоянии около 2.5 кпк [7].



Рис. 2. Зависимость величины P(B-V) от расстояния, получениая по классическим цефендам.

Очевидно также наличие областей больших поглощений, которые совпадают с известными направлениями звездных ассоциаций, молекулярных облаков и газо-шылевых туманностей. Например, первый и последний максимумы на рис. 1 и 3 совпадают с направлением галактического центра, а максимумы в интервалах галактических долгот 100— 150° и 260—280° соответствуют направлениям ветви Персея и туманности Гама [1].

Необходимо отметить, что наблюдаемая картина полностью совладает с картой крупномасштабного распределения вещества, построенной Паресом [8] (более подробно см. [1]).

Зависимость, представленная на рис. 2, из-за скудных наблюдательных данных не рассматривалась в отдельных участках неба, поэтому

МЕЖЗВЕЗДНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ

она представляет усредненное по направлениям распределение межявездного поглощения (поглощающих облаков) по расстоянию.



Рис. 3. Зависимость величны P(B-V) от галактической долготы, получения главной последовательности спектральных классов ВО-ВЗ.

Как видно из рис. 2, величина P(B-V) (следовательно и межзвездное потлощение) сильно возрастает до расстояния 1.2 кшк. Нет сомнения, что до этого расстояния роль наблюдательной селекции незначительна. Вместе с тем, из рис. 2 следует, что на расстоянии $R \simeq 0.4$ кпк наличие первото максимума величины B(P-V), по всей вероятности, обусловлено поглощающими облаками, находящимися внутри галактической ветве Ориона, где и расположена Солнце.

Дальнейший медленный рост величины P(B-V), начиная от расстояния R=0.5 до $R \simeq 1.5$ кпк, по-видимому, указывает на ожидаемое возрастание межзвездного потлощения в зависимости от расстояния, без каких-либо действий наблюдательной селекции. Локальный максимум, наблюдаемый на расстояниях 1.5—2 клж, по-видимому, обусловлен потлощающими облаками Персея. Любопытно, что на рис. 1 и 3 также наблюдается максимум поглощений в направлении Персея.

Что же касается тенденции дальнейшето уменьшения величины P(B-V), то она, вероятно, свидетельствует о сильной наблюдательной селекции, состоящей в том, что на больших расстояниях наблюдаются лишь цефеиды, в направлении которых межэвездное поглощение сравнительно небольшое, а сильные флуктуации обусловлены скудными наблюдательными данными.
Р. А. ВАРДАНЯН И ДР.

Аналогичная картина наблюдается и вслучае ВО—ВЗ эвезд (рит. 4). Таким обравом, можно заключить, что приведенные зависимости P(B—V) от галактической долготы (рис. 1 и 3) довольно детально описывают крунномасштабную структуру межзвездного поглощения в га-



R(KMK)

Рис. 4. Зависимость величны P(B-V) от расстояния, полученияя по явездани главной последовательности спектральных классов ВО-ВЗ.

лактической плоскости. Зависимости же P(B-V) от R дают представление о распределении межввездного потлощения в зависимости от растояния до Солица в общих чертах.

Авторы выражают благодарность профессору Л. В. Мирзояну за обсуждение результатов настоящей работы.

Бюраканская астрофизическая обсерватория

INTERSTELLAR ABSORPTION IN THE GALACTIC PLANE

R. A. VARDANIAN, V. V. HAMBARIAN. A. V. POGHOSSIAN

The distribution of interstellar absorption in the galactic plane by means of classical cepheids and main sequence stars of spectral types B0-B3, are considered. In the proposed method, pairs of stars with the same absolute stellar magnitude but with maximal difference of observed colors (B-V) are used. The observed pattern is in agreement with the large scale distribution of interstellar absorption in the locainterstellar medium.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Н. Г. Бочкарев, Местная межавездвая среда, М., Наука, 1990. стр. 52-57.
- 1. Р. А. Варданян, Астрофизика, 34, № 1, 1991.
- 3. Л. Н. Беряников, Переменные звезяй, 22, № 4, 505, 1987.
- 4. V. V. Blanco, S. Domers, G. G. Douglas, M. P. Fitzgarald, Publ. U. S. Nava Obv., 21, 9, 1563
- 5. Р. А. Варданян, А. В. Погосян, Астрофизика, 34, 199, 1991.
- 6. P. B. Lucke, Astron. Astrophys., 64, 367, 1978.
- 7. B. Hidagat, T. Djamalaldin, Bull. An.er. Astron. Soc., 18, 1051, 1956.
- 8. F Pareics. Astron. J., 89, 1022. 1984.

АСТРОФИЗИКА

TOM 36

30%

МАЙ, 1993

выпуск 2

УДК 524 354.7:52-357

ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ГОЛУБЫХ ЗВЕЗДНЫХ ОБЪЕКТОВ FBS. II

М. А. ЕРИЦЯН, А. М. МИКАЕЛЯН

Поступила 29 нюня 1992

Принята к печати 8 октября 1992

Приводятся результаты поляриметрических наблюдений 33 ярких голубых здездных объектов из списков второй части Первого Бюраканского спектрального облора неба (FBS). Подтвердилось наличие собственной поляризации у объектов FBS 1815+381 и FBS 1850+443, у которых авторами ранее была обнаружена линейная поляризация. Обнаружена линейная поляризация у 3 новых объектов: FBS 1559+ 369, FBS 1654+351 и FBS 1704+347. По данным сцектральных наблюдений объекты FBS 1559+369 и FBS 1704+347 являются белыми карликами, и наличие замстной поляризация позволяет отнести их к классу магнитых белых карликов.

1. Введение. Поляриметрические наблюдения первой группы из 6голубых звездных объектов FBS [1] показали, что обзор FBS содержит новые объекты со эначительной стеленью линейной поляризации излучения и, следовательно, представляет интересный материал для таких наблюдений. Среди голубых эвездных объектов обычно оказываются магнитные белые жарлики, катаклизмические переменные, поляры, квазары и другие объекты с сильной поляризацией излучения. Так как большинство объектов FES открыто впервые, то целесообразно проводить их многостороннее изучение. Напомним, что параллельно прово-Автся спектральное исследование этих объектов. Первая серия спектральных наблюдений показала [2], что обзор FBS содержит особенно много субкаранков и белых карликов. Наличие белых карликов, а также внегалажтических звездообразных объектов в описках FBS позволяет надеяться, что поляриметрические наблюдения могут быть весьма результативными. Достаточно сказать, что магнитные белые карлики не всегда можно распознать по спектрам, тем более, что получить спектры с высокой дисперсией для большого количества объектов-задача трудоемкая, и поляриметрические наблюдения пока остаются единственным вффективным методом обнаружения таких объектов.

В данной работе принодятся результаты поляриметрических наблюдений 33 голубых звездных объектов FBS. Отметим, что кроме целенаправленного поиска новых объектов с сильной поляризацией излучения (поляров, матнитных белых карликов и др.), поляриметрические наблюдения имеют также цель изучения выборки объектов FBS, что по возможности будет осуществлено с наблюдением всех, для начала ярких, объектов до определенной звездной величины.

2. Выборка объектов FBS для поляриметрических наблюдений. Для большинства объектов .FBS по спектрам можно определить приблизительный спектральный класс. Это обстоятельство и является основным контернем отбора объектов для поляриметрических наблюдений В работе [1] изложены основные критерии для выделения кандидатов в магнитные белые карлики по спектральным признакам. Такие объекты отбираются для шоляриметрических наблюдений в первую очередь. Однако для составления представления об обзоре FBS желательно и необходимо наблюдать все объекты до определенной звездной величины. Наблюдательная аппаратура на 2.6 м телескопе, по-видимому, позволяет наблюдать объекты до 15^m, т. е. около половины всех голубых звездных объектов FBS. Таким образом, полная программа наблюдений будет исчерпана с покрытием всех этих объектов. Повтому среди объектов, отобранных для поляриметрических наблюдений, есть и субкарлики, и звезды горизонтальной ветви НВВ, которые обычно не имеют собственной поляризации излучения. Так как точность наблюдений с увеличением т. падает, то в первую очередь выбираются наиболее яркие объекты (12^m - 14^m) для получения достаточной точности. Наконец. играет роль и величина УФ-избытка: в первую очередь нам ивтересны, конечно, наиболее голубые объекты, т. е. объекты с наиболее длинным УФ-хвостом на призменных спектрах. Согласно предварительной классификации второй части FBS [3] такие объекты классифицируются как В1 или N1, в зависимости от интенсивности голубой части спектра. Разумеется, влияет также то обстоятельство, 'в какое время года предоставлено наблюдательное время и какие объекты можно наблюдать. В табл. 1 приведены данные о 33 объектах FBS, отобранных для поляриметрических наблюдений согласно вышеуказанным соображениям. В се последовательных столбцах приведены; название объектов согласно рекомендации подкомиссии № 28 MAC; галактические координаты l н b для впохи 1950 г.; видимая звездная величина m. с точностью до 0^m5; тип объектов согласно предварительной классификации; ориентировочный спектральный класс; источник литературы. Отобранные объекты имеют высокую галактическую широту, а те объекты, у которых b

сравнительно мала, паходятся в областях с инэкой плотностью межввсэдной пыли. Звездная величина, за исключением одного объекта, ограничена 15^m. Ориентировочный спектральный класс определен по спектрограммам до машинной обработки спектров (для некотоых объектов приводится определенный спектральный класс, что указано в замечаниях к таблице). Ссылки даются на первоначальный источник литературы, т. е. на соответствующие списки второй части обзора FBS.

Таблица 1

OGBORT FBS	1	ь	mo	Тип	Слегтр	Актература
1	2	3	4	5	6	7
1321-+364	87.8	+78.7	11.7	БІ	oba	[6]
1350- -371	73.8	+73.7	15.1	BI	sdB	[7]
1403- -340	60.3	+72.6	15.1	B2	DA	[7]
1516-+424	69.4		14	B2	DA:	[5]
1529- -338	53.6	+55.2	14.5	B1	sdB:	[7]
1539 +354	56.5	+33.1	14.5	B2	?	[7]
1559-+369	58.9	+49.1	14.2	N1	DAV5	[7]
1640	58.5		13.5	BI	DA:	[7]
1654+351	57.8	+37.8	12.7	Bl	sdB	[7]
1656+354	58.1	+37.5	14.0	N1	sdB	[7]
1701-+-358	59.0	+36.5	12.8	B2	sdB	[7]
1704	57.7	+35.7	15.4	B2	DA	[7]
1711+335	56.7	+34.1	13.9	B3	CV	[7]
1715424	67,5	+34.7	12	Bl	DC:	[5]
1734+422	67.8	+31.3	13	B1	ndB	[5]
1745+437	70.0	+29.6	13	BI	sdB	[5]
1755-+374	63.5	+26.2	12	BI	HBB	[4]
1804+439	71.0		13	B2	sdB	[5].
1804- -340	€0.5	+23.6	14.8	B1	DA:	[7]
-1815	65.5	+22.7	13	B1	sdO:	[4]
1819+347	62.3	+20.9	14.8	Ble:	?	[7]
1850- -443	74.0	-+-18.4	11	B1	sdB	[5]
2154+329	85.8	-16.9	13.7	B!	sdB:	[7]
2158+360	88.5	15.0	14.1	Б?	sdB:	[7]
2204	89.6	-15.3	12.8	B2	sdB	[7]
2207	89.9	-16.1	13.9	B3	DA:	[7]
				1	1	

ОБЪЕКТЫ FBS, ОТОБРАННЫЕ ДЛЯ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7
2231-1-448	98.9	-11.3	12.5	B1	HBB:	[5]
2243-1343	95.5	-21.5	13.4	B3	sdB	[7]
2253+334	97.1	-23.3	12.5	B1	DB:	[7]
2300354	99.3	-22.1	14.1	B2	DA.	[7]
2301-+415	102.3	-16.7	11	B1	HBB	[5]
2303+344	99.4	23.3	13.2	B2	sdB:	[7]
2310-+421	104.2	-16.8	13	Ble:	sdB:	[5]

Зажечания к отдельным объектам табл. 1:

1321+364 — голубая звезда Хьюмасона-Цвикки HZ 44;

- 1539+354 имеется спектрограмма низкого качества, классификация невозможна;
- 1559+369 сспятральвын класс двят из обзора Паломара-Грина [8];
- 1701+358 спектральный класс взят из обвора Паломара-Грина [8];
- 1711+335 известная катаклизмическая переменная V795 Нег;
- 1755+374 спектральный класс взят на [2];
- 1819+347 имеется спектрограмма инжого качества, классификация невозможна, признак эмиссии на инзкодисперсионном спектре послужил причной для отбора данного объекта;
- 2231+448 b мала, но данная область нисет нискую плотность пыли, следовательно, межавездная поляризация мала.

3. Наблюдения. Наблюдения проводились 13—19 мая в 5—8 августа 1991 г. с помощью электрополяриметра, работающего в режиме усиления постоянного тока, смонтированного на фокусе Кассетрена 2.6 м телескона Бюраканской астрофизической обсерватори. В качестве фотоприемника использовался английский фотоумножитель типа EMI-97890B с биалькалиевым фотокатодом. Максимальная чувствительность фотокатода светоприсмника находится на волне 4000 А. Наблюдения проводились со светофильтрами U, B, V или без фильтра (обозначается 0). Точность измерения степени линейной поляризации зависит от яркести наблюдаємого объекта и в среднем составляет 0.5%. Описание аппаратуры и методика наблюдений приведены в работе [9].

Всето наблюдались 33 толубых звездных объекта FBS и 4 объекта в качестве поляриметрических стандартов. У 28 объектов, наблюденных в светофильтре *B*, поляризация не превышает ошибок измерений (0.5%).

В табл. 2 приведены результаты поляриметрических наблюдений 5 объектов FBS, у которых линейная поляризация больше ошибок измерений и 4 стандартов. Все объекты наблюдались на зенитных расстояниях меньше 20° при качестве изображения не хуже 3". Для 2-х объектов проводились повторные наблюдения после августа 1990 г. [1]. Для объектов FBS 1815+381 и FBS 1850+443 подтвердилось наличие линейной поляризации, обнаруженной в указанной работе, что видно из табл. 2. Причем, FBS 1815+381, вероятно, имеет переменную поляризацию излучения. Для FBS 1850+443 также есть подозрение на переменность, но результаты повторных наблюдений не очень уверенные из-за плохих условий наблюдений и нуждаются в проверке.

Таблица 2

Дата	Объект	Спектр. полоса	P(%)	6°
14.05.1991	FBS 1654+351	В	0.7	85
	FBS 1654351	U	<0.5	_
	FBS 1704+347	B	6.0	131
	Сосед. эв. FBS 1704+347	B	<0.5	- * *
17.05.1991	FBS 1559-+369	В	3.9	180
	FBS 1704	0	<0.5	-
18.05.1991	FBS 1559+369	В	3.5	180
19.05.1991	FBS 1815+381	B	2.7	83
5.08.1991	BD +40°4212 (стандарт)	0	5.6	102
	Hiltner 960 (стандарт)	v	5.5	60
1	Е 228452 (стаядарт)	v	4.4	175
1.0	BD +25° 4033 (стандарт)	v	2.5	167
7.08.1991	FBS 1815	B	2.5	83
8.08.1991	FBS 1850-1443	В	2.0	135

ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ FBS

Замечания к отдельным объектам табл. 2:

1704-347-объект наблюдался дважды -14 и 17 мая. Ввиду слабости объекта точность измерений инякая (около 2 %);

1815+381-повторные ноблюдения. Линейная поляризация этого объекта открыта 16.08.1990 г. 111:

1850 + 443 — повторные наблюдения. Аннейная поляризация втого объекта открыта 14,08.1990 г. [1].

29 объектов поляриметрически наблюдались впервые. Из табл. 2 видно, что объекты FBS 1559+369, FBS 1654+351 и FBS 1704; 347 имеют линейную поляризацию излучения. Объект FBS 1654+351 покавывает поляризацию чуть больше ошибок измерений (0.7%). Кроме того, в этом случас есть подозрение на межзвездную поляризацию, так как в области этого объекта еще несколько звезд показывают поля-

онзанию примерно такой же величины. Этот результат нужадется в проверке и подтверждении. Объект FBS 1559+369 наблюдался дважды (17 и 18 мая), и величина поляризации одинакова в пределах точности измерений. FBS 1764-347 также наблюдался дважды. 14 мая в светофильтре В он показал заметную линейную поляризацию в 6.0%, а 17 мая без фильтра у этого объекта поляризации не было обнаружено. Хотя наличие линейной поляризация в фильтае В не оставляет сомнений. но ее величина требует проверки, тем более что FBS 1704-347 является предельно слабым объектом и точность измерений невелика: составляет около 2%. Сярутой стороны, лишь исключительные атмосферные условия 14 мая 1991 г. позволили наблюдать этот объект в фильтое B, что оказалось невозможным уже через при дня. Спектральный класс FBS .1704+347 (DA) педсказывает, что в случае подтверждения результатов наблюдений он может оказаться магнитным белым карликом, а вероятнее всего-поляром. Интересным объектом, по-видимому, является также FBS 1559+369. Этот объект имеется в обзоре Паломара-Грина [8], где классифицирован как переменный белый карлик DAV5. Учитывая результаты поляриметрических наблюдений, его можно отнести к редкому классу эвезд типа АМ Геркулеса.

Высокая галактическая ширета и бливость объектов FBS 1559+369 и FBS 1704-347 не оставляют сомнений в том, что обнаруженная линейная поляризация является собственной. Если оценить максимально возможное расстояние для этих двух объектов теми же рассуждениями, как в работе [1], то получим '*r*max=70 лк для FBS 1559+369 и *r*max=120 лк для FBS 1704+347. 'Напомним, что в случае FBS 1704+347 наблюдалась также соседняя звезда, что исключает возможность межзвездного происхождения 'обнаруженной поляризации.

4. Заключение. В результате набмодения 33 голубых звездных объектов FBS у трех объектов обнаружена линейная поляризация излуменая, дза из них мотут оказаться исключительно интересными объектами, принадлежающими к классу звезд типа AM Геркулеса или поляров. Подтверждены результаты первых поляриметрических наблюдений объектов FBS, когда у FBS 1815-1381 и FBS 1850-4443 была обнаружена поляризация в размере 4.4 и 3.3 процентов соответственно. Причем, FBS 1815-381 может оказаться объектом с переменной поляризацией. Наблюдения 13—19 мая и 5—8 августа показали, что с помощью нашей наблюдательной аппаратуры на телескопе 2.6 м можно наблюдать объекты до 15—15.5 звездной величины. С наблюдением всех ярких объектов FBS (до 15^m) образуется однородная выборка для статистических исследований. Разумеется, особое внимание по-прежнему будет приковано к кандидатам в белые карлики и квазары. Предполагается также проводить повторные поляримстрические наблюдения всех тех объектов FBS, у которых была обнаружена поляризации, т. е. FBS 1815-;-331, подозреваемего в переменности поляризации, FBS 1850-;+443, FBS 1559;+369, FBS 1704;-347—кандидатов в звезды типа AM Геркулеса, а также FBS 1654;-351, у котороде обнаруженная поляризация сомнительна. Повторные наблюдения позволят получить былее уверенные данные и проследить за изменением величины поляризации у объектов с переменной поляризацией излучения.

Авторы признательны В. П. Залиняну ца любезное предоставление английското фотоумножителя для проведения наблюдений.

Бюраканская астрофизическая обсерватория

POLARIMETRIC OBSERVATIONS OF THE FBS BLUE STELLAR OBJECTS. II

M. H. E. I'SIAN, A. M. MICKAELIAN

The results of polarimetric observations of 33 bright blue stellar objects from the lists of the second part of the First Byurakan spectral sky survey (FBS) are given. The presence of intrinsic polarization in objects FBS 1815+381 and FBS 1850+443 is confirmed, in which linear polarization was discovered before by the authors. Linear polarization in 3 new object: FBS 1559+369, FBS 1654+351 and FBS 1704+347 is discovered. According to data of spectral observations the objects FBS 1559+369 and FBS 1704+347 are white dwarfs and the presence of the marked polarization allows to attribute them to the class of magnetic valite dwarfs.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Микаслян, М. А. Ерицян, Г. В. Абрамян, Астрофизика, 34, 351, 1991.

- 2. Г. В. Абрамян, А. М. Микаелян, Астрофизика, 35, 197, 1991.
- 3. Г. В. Абрамян, В. А. Липовецкий, Дж. А. Степанян, Астрофизика, 32, 29, 1990.
- 4. Г. В. Абрамян, В. А. Липовецкий, А. М. Микаелян, Дж. А. Степанян, Астрофизма, 33, 213, 1990.
- 5. Г. В. Абрамян, В. А. Липовецкий, А. М. Микаелян, Дж. А. Степанян, Актрофизика, 34, 5. 1991.
- 6. Г. В. Абрамян, А. М. Микаелян, Астрофизника, 36, 109, 1993.
- 7. Г. В. Абрамян, А. М. Микаелян, Аспрофизника, 1993, (в лечати).
- 8. R. F. Green, J. Liebert, M. Schmidt, Astrophys. J. Suppl. Sor., 61, 305, 1986.
- .9. М. А. Ерицян, С. Е. Нерсесян, Астрофияка, 20, 355, 1984.

АСТРОФИЗИКА

TOM 36

МАЙ. 1993

ВЫПУСК 2

УДК 524.6-355.520.84

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛАКТИК С УФ-ИЗБЫТКОМ. IX

М. А. КАЗАРЯН, Э. С. КАЗАРЯН

Поступила 8 января 1991

Принята к печати 6 октября 1991

Приводятся результеры спектрального и морфологического исследования галактик № 176 и 264 из списков [1, 2]. Обе галактики имеют интересные кинематические структуры.

1. Ввеление. В работе приводятся результаты спектрального и морфологического исоледования двух галактик с УФ-избытком, которые в списках [1, 2] имеют порядковые номера № 176 и 264. В табл. 1 приведены условия спектральных наблюдений этих галактик, выполненных на 6-м телескопе САО РАН. При получении их спектров были использованы спектрограф UAGS в сочетании с ЭОП УМК—91В. Ширина щели спектрографа во всех случаях была примерно 1". Калибровка спектров производилась с помощью ступенчатого ослабителя САО РАН. В качестве звезды сравнения бралась BD +25°3941, спектры которой также получены на 6-м телескопе, в тех же условиях, что и спектры галъктик. Спектры галактик, звезды сравнения н ступенчатого ослабителя получены на пленках Kodak 103а—О. Все они проявлены вместе.

Распределение энертии непрерывного спектра звезды сравнения приведено в работе [3].

Запись спектров галактик, звезды сравнелия и ступенчатото ослабителя производилась на микрофотометре ИФО-451, а измерения радиальных скоростей отдельных деталей этих галактик производились на микрофотометре УИМ-23 кафедры астрофизики ЕГУ.

Прямые снимки галактики № 176 были получены в первичных фокусах 2.6-м телескопа Бюраканской обсерватории и 6-м телескопа САО РАН. Оригинальные масштабы снимком равны приблизительно 20″ и 8.″6 на 1 мм соответственно. Снимок на 2.6-м телескопе был получен

м. А. КАЗАРЯН. Э. С. КАЗАРЯН

212

ч1.08.1977 г. на пластинке ORWOZu-2 и на 6-м-11.06.1978 г. на властинке Kodak 103а-О. В обоих случалх экспозиция 20 мин.

Таблица Г

No palateurs	Дато наблюдения	Экспозиция (ычи.)	Спактральзый ипториал (А)
175	27.06.1.84	5	4470-7500
		2	
	- u -	4	
	29.06.1984	5	35506400
		10	
		20	
254	1.07.1984	40	4470-7500
		30	3550-6400

условия спектральных наблюден 2

2. МорфоЛогичсское описание. На снимке 6-м телескопа изображение галактики № 176 похоже на галактику типа SBc. Центральная часть перемычки болсе яркая, чем ее остальные области. Ссверный рукав сравнительно слабый и кончается компактным объектом. Южный рукав также является ярким образованием галактики. На рис. 1 приведена репродукция прямого снимка галактики № 176. На этом рисунке южный рукав обозпачен через I, центральная часть перемычки—II, а компактный объект—III. Черточками отмечено направление щели при получении спектров.

На картах Паломарского атласа галактика № 264 имеет эллиптическую форму, в сесеро-западной части на расстоянии примерно 15" имеются два голубых сгущения.

3. Эквивалентные ширины и относительные интенсивности эмиссионных линий. Описание спектров этих галактик приведено в работе [4]. Щель спектрографа проходила через центральную яркую часть галактики № 176, звездообразный объект, который находится в северо-восточной части галактики, и перссекала южный рукав галактихи. Поэтому спектр галактики по высоте состоит из трех отдельных спектров, которые представляют собой спектры вышеотмеченных образований. По внешнему виду они напоминают спектры компактных объектов. На рис. 2 приведена репродукция одного из спектров галактихи № 176, где отмечены спектры этих образований соответствующими рис. 1 обозначениями. Для области I галактики № 176 получено 6 спектров, 5 на которых обработаны. Из табл. 1 видно, что во время ваблюдений спектральные области были выбраны так, что линии [OIII] ЛЛ 5007, 4959 и Н₃ присутствовали на всех спектрах. Поэтому для каждой из этих линий имеются 5 значений эквивалентных ширин и относительных интенсивностей. Эти величины дают возможность для оценки ошибок, допускаемых при определении эквивалентных ширин и относительных интенсивностей линий. В табл. 2 приседены эквивалентные ширин и стносительных интенсивностей линий. В табл. 2 приседены эквивалентные ширини и относительные интенсивности эмиссионных линий части I галактики № 176. Рядом с величинами линий [OIII] ЛЛ 5007, 4959 и Н₃ привеасны среднсквадратические ошибки их средних значений. При получении спектров галактики № 264 щель спектрографа была направлена вдоль ее большой оси. По выссте спектр состоит из четырех отдельных спектров, которые являются результатами излучения четырех отдельных обравораний галактики, попераних в щель спектрографа.

Таблица 2

		15 176		<u>№ 254</u>				
		1/3		I orym	0	11 0771	CHIZO	
Иол	٨ ₀	₩ _λ (A)	$I_{\lambda} I_{H_3}$	₩ ₁ (A)	$I_{\chi} I_{B_{\tilde{p}}}$	₩ _λ (A)	I_{λ}/I_{H_3}	
[S II]	6731				2.87			
[S II]	6717		-		5.09			
[N II]	6584	24.5	4.13	14.0	4.21	40.0	6.44	
Ha	6563	48 1	14.9	37.4	12.41	65.3	14 16	
[N II]	6548			07.1	10.11	05.5	17.10	
[O III]	5007	12.0±0.8	1.2 ± 0.07	9.6	1.46	10.0	2.50	
[O III]	4959	4.2+0.7	0.45+0.06	3.6	0.50	3.2	0.75	
H ₃	4861	11.6±1.3	1.0	6.5	1.0	6.6	1.0	
H	4340	8.6	0.42	2.4	0.36	1.7	0.30	
	3727	35.4	0.79	17.6	1.66	7.1	2.4	

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ

Самый яркий спектр. по всей вероятности, является спектром центральной области галактики. По обе стороны от него, примерно на одинаковых расстояниях, 5", наблюдеются спектры двух областей, которые состоят только из эмиссионных линий. Неконец, спектр четвертого образованиянаходится от спектра центральной области примерно на расстоянии. 13".4. В спектрах центрального и четвертого сбразований, кроме эмис-4-47

213

сионных линий, наблюдаются также интенсивные непрерывные спектры. На рис. 2 приводится репродукция одного из спектров галактики № 264, где спектры центрального и четвертого образований обозначены римскими цифрами I и II соответственно. В табл. 2 даны эквивалентные ширины и относительные интенсивности образований I и II.



Рис. 1. Репродукция фотографии галактики № 176. Север сверху, восток справа. Масштаб 1 мм ≈ 0."6.

В спектре области I галактики № 264 линии H₇ и H₈ наблюдаются как в эмиссии, так и в поглощении. Эмиссионный компонент линии H₈ трудно было выделить, поэтому для него не были определены эквивалентная ширина и относительная интенсивность. Эквивалентные ширины линий [SII] λλ 6731 и 6717 в этой области не были вычислены, так как непрерывный спектр у них очень слабый. В спектре области II галактики № 264 линии [SII] λλ 6731 и 6717 также наблюдаются, однако они настолько слабы, что невозможно было их обработать.

Очевидно, что при определении эквивалентных ширин и относительных интенсивностей линий областей I и II галактики № 264 допускаемые ошибки будут такими, какими они были у линий области I талактики № 176, которые приведены в табл. 2.

4. Обсуждение результатов. В работах [1, 2] для центральных областей галактик № 176 и 264 приведены спектрально-морфологические карактеристики «2» и «1» соответственно. Характеристики «2» и «1» означают, что эти области обладают сильными УФ-избытками, характеристика «d» показывает, что спектр центральной части галактики № 176 на обзорных пластичках имеет диффузные края, а «sd1»— края спектра центральной части галактики № 264 сравнительно резкие.

Галактика № 176 имеет интересную морфологическую структуру, она была отнесена к типу SBc. По личейным размерам она сравнима

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛАКТИК С УФ-ИЗБЫТКОМ. IX 215-

с нашей Галактикой, но по светимости превосходит се. В работе [4] для галактики № 176 приведена сценка абсолютной звездной величины,. $M_{rg} = -23^m$, которая больше светимостей даже некоторых квазаров, вапример, Топ 256, PKS 0736+01 и других. Центральная часть (II)



Рыс. 2. Репродукции спектров галактик № 176 и 264.

τ.

и компактный объект (III) галактики № 176 обладают сильными непрерывными спектрами, у южного рукава (I) непрерывный спектрсравнительно слабый. В спектре части I наблюдаются эмиссионные линии [NII]λλ 6584, 6548, H_a, [OIII]λλ 5007, 4959, H₃, H₇, H₅, и [OII]λ 3727. В спектре части II эмиссионные линии сравнительно слабые, хорошо заметны лишь линии [NII]λ 6584, H_x, [OIII] λ 5007, H³ и [OII] λ 3727. При помощи этих линий определсны красные смещения частей I и II, z₁=0.0814±0.0002 в z₁₁=0.0803±0.0002 соответственно. Раднальные скорости этих частей отличаются друг от друга, у части I радкальная скорость примерно на 330 км/с больше по сравнению с частью II. Исходя из этото, можно предположить, что южный рукав галактики № 176 вращается вокруг перемычки против часовой стрелки со скоростью 330 км/с.

В спектре компактного объекта (III) уверенно наблюдается только одна линия поглощения, длина волны которой равна 4644 А. Само собой разумеется, что отождествить одну линию нереально. На спектре эта линия близка к эмиссионной линии H_{τ} , наблюдавшейся в спектрах частей I и II. Если предполагать, что она является линией H то красное смещение компактного объекта получается равным примерно $z_{III} \simeq$ 0.0701, что явно меньше красных смещений частей I и II.

Галактика № 264 также имеет интересную кинематическую особенность. Как было отмечено выше, в ее спектре эмиссионные линии H_e, [OIII]λλ 5007, 4959, H₃ и [OII]λ 3727 во высоте состоят из четырех частей. Это особенно хорошо заметнона изображении линии H_e (рис. 2). Радиальные скорости этих частей отличаются друг от друга, самой высокой скоростью обладает часть I, а сашой низкой часть II. Радиальная скорость части II примерно на 210 км/с меньше по сравнению со скоростью части I.

Для составления более подробного представления о кинематических особенностях галактик № 176 и 264 делесообразно проводить новые наблюдения с аппаратурой высокото разрешения для разных отдельных образований, вошедших в эти галактики.

Результазы эквивалентных ширин и относительных янтенсивностей отдельных образований талактик № 176 и 264 такие, какие встречаются у многих галактик с УФ-избытком, изучавшихся нами. В частности, можно повторить вывод о том, что в газовых составляющих образований этих галактик имеется пыль, поглощение со стороны которой приводит к увеличению отношения интенсивностей I_{H_a}/I_{H_b} .

Еревански государстичный университет

Бюраканская астрофизическая

обсерваторня

SPECTROPHOTOMETRY AND MORPHOLOGY OF THE GALAXIES WITH UV EXCESS. IX M. A. KAZARIAN, E. S. WAZARIAN

The results of spectrophotometric and morphological study of galaxies No 176 and 264 from the lists [1, 2] are presented. Both galaxies have interesting kinematic structure.

ЛИТЕРАТУРА

· it interesting

1. М. А. Казарян, Астрофизика, 15, 193, 1979.

. 2. М. А. Казарян, Э. С. Казарян, Астрофизика, 16, 17, 1980.

3. R. P. S. Stone, Astrophys J., 218, 767, 1977.

4. М. А. Каварян, Астрофизика, 27, 399, 1987

АСТРОФИЗИ-КА

TOM 36

МАЙ, 1993

ЕЫПУСК 2

.УДК .524.6-355.520.84

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОЙ ГАЛАКТИКИ ТИПА СЕЙФЕРТА

М. А. КАЗАРЯН

Поступила 10 апреля 1991 Принята к печати 30 октября 1991

Приводятся результаты спектрального исследования галактики № 214 из списка [1]. Определены эквивалентные шврины, отбосительные иссновности и полуширины линий. Показано, что ядро галактики № 214 имеет особенности галактик типа Sy 1.5. Сделан вывод, что в рамках моделей, приведенных в работе [5], трудно объяснить структуры профилей линий, наблюдавшихся в ядре галактики № 214.

1. Введение. В настоящей работе приводятся результаты исследования одной галактики с УФ-избытком, которая в списке [1] имеет порядковый номер № 214. Предварительные спектральные данные этой галактики приведены в работе [2]-описание спектра, красное смещение, z=0.0463 и абсолютная звездная величина, $M_{\rho g} = -20^{m} 8.$ В [2] приведена также запись одного из спектров этой галактики в области линий [OIII] ЛЛ 5007, 4959 и H. Там же был сделан вывод о том, что галактика № 214 является сейфертовской галактикой второго типа. Прямой снимок галактики № 214 был получен в первичном фокусе 2.6-м телескопа Бюраканской обсерватории АН Республики Армения. Из снимка видно, что галактика является поотяженным объектом, она тянется в направлении север-юг и имеет размеры примерно 4"×10". В ценъральной части этого объекта наблюдается яркое компактное ядро диаметром приблизительно 3". К юту от ядра, на расстоянии примерно .17", находится звездообразный объект диаметром 2", связанный с южной яркой областью волокном.

Для галактики № 214 на 6-м телескопе САО РАН 26—29 июня 1984 г. были получены два спектра, один из которых охватывает спектральную область λλ 7500—4477 А, а другой λλ 6400—3500 А. При получения спектров был использован спектрограф UAGS в сочетании с ЭОП УМК-91В. Щель спектрографа была направлена так, что в нее

попадали ядро, южная яркая область, волскиа и эвездообразный объект. Ширина щели спектрографа равна примерно 1". В [3] подробноприведены условия спектральных наблюдений четырех галактих с УФизбытком, выполненных на 6-м телескопе. В таких же условиях получены спектры галактики № 214, и поэтому мы ограничиваемся лишь описанием условий наблюдений, приведенных выше. Получены спектры всех вышеотмеченных объектов. Спектр ядра имеет особенности спектра сейфертовской галактики. В нем наблюдаются широкие эмиссионные линии [N II] 12 6584, 6548, H, [OIII] 12 5007, 4959, H, [NeIII] 2 3869 и [OII] Л 3727. Линии Н. и Н. наблюдаются как в эмиссии, так и в потлощении, т. е. каждая из них состоит из двух компонентов-абсорбционного и эмиссионного. Причем абсорбционный компонент каждой линии наблюдается на ее длинноволновой стороне. Расстояние между компонентами составляет примерно 900 км/с. Линии Н и К Са II наблюдаются в поглощении, они также широки, первая из них сливается с линией Н. В спектре южной яркой области наблюдаются все отмеченные выше вмиссионные линии. В спектре звездообразного объекта наблюдаются линии поглощения Н и К Call, а в спектре волокиа наблюдается только слабая эмиссионная линия Н. Ядро, южная яркая область и эвездообразный объект обладают сильными непрерывными спектрами, но самый сильный непрерывный спектр имеет ядро талактики. Красное смещение ядра приведено выше, оно было определено при помощи эмиссионных линий. Красное смещение, определенное при помощи абсорбционных компонентов линий Н, и Н,, а также с помощью линий поглощения Н и К Call, как было сказано выше, примерно на 900 км/с больше. Красное смещение южной яркой области равно $z_n = 0.0458$, а звездообразното объекта-23=0.0462, т. е. фактически красные смецения последнего объекта и ядра, определяемые при помощи эмиссионных линий, не отличаются друг от друга.

2. Эквивалентные ширины и относительные интенсивности линий. В табл. 1 приведены эквивалентные ширины линий и относительные интенсивности эмиссионных линий ядра галактики № 214. Так как H_{τ} и H_{δ} находятся как в эмиссии, так и в поглощении, то для каждой из этих линий эквивалентные ширины эмиссионного и абсорбционного компонентов приведены отдельно. Ошибки, допускаемые при определении эквивалентных ширин и относительных интенсивностей, примерно такие же, как и определенные для линий многих галактик с УФ-избытком. Они были приведены в наших предыдущих работах, например, для линий галактики № 176 ошибки приведены в [4]. Поскольку линия H, и H, обладают компонентами поглощения, то такие же компоненты должны иметь также линии H, и H₃. Одпако интенсивности эмиссионных компонентов этих линий настолько велики, что они полностью заливают их абсорбционные компоненты, и в целом линии наблюдаются как эмиссионные. Этот эффект приводит к занижению значений эквивалентных ширин эмиссионных компонентов линий. Он влияет также на величины относительных интенсивностей эмиссионных линий. Они всс завышены, так как эти величины определены относительно интенсивности эмиссионного компонента H₄, которая занижена.

Таблица 1

Кон	λ ₀	Энссия плы абсорбияя	₩ _λ (A)	$I_{\lambda} I_{H_{\beta}}$
[NII]	6581	Ем лесия	5 2	4.49
H _a	6553		15.1	12.84
[[N]]]	6548			
[0111]	5007		18.5	6.00
OIII	4950	ri .	3.3	3.00
Ha	4851		3.2	1.00
H	4340	11	2.0	1 - 1.
H,	4340	Абсорбдяя	0.8	
H	4102	Змяссня	0.7	
H ₃	4102	Абсорбния	0.4	1000
Call	3934		4.9	1.20
[Nell/]	3869	E'M ICCUS	6.4	0.77
IOII	3727		39.6	2.14

ЭКВИВАЛІНТНЫЕ ШИРИНЫ ЛИНИЙ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ І НТЕНСИВНОСТИ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ

3. Обсужаение разультатов. В [1] для ядра галактики № 214 приведена спектрально-морфологическая характеристика sd 2. Балл «2» означает, что ядро имеет сильный УФ-избыток, а характеристика «sd» показывает, что его спектр на обзорных пластинках не широкий (ширина спектра < 10") и имеет резкие края. Как было сказано выше, линии, наблюдавшиеся в спектре ядра, широкие. Это хорошо видно из рис. 1, тде приведены профили эмиссионных линий [NII] л 6584, Н₄ +-[NII] л 6548, [OIII] лл 5007, 4959, Н, [NeIII] л 3869, линии Н₇ и Н₆, наблюдавшихся как в эмиссии, так и в поглощении, а также линии пог-

219

лощения Call 2 3934. В табл. 2 для ядра приведены полуширним FWHM Эмиссионных линий [NII] 2 6584, H,, [OIII] 22 5007, 4959, H. и [NeIII] 2 3869 без исправления за инструментальный профиль линий. В [3] был сделан вывод, что верхний предел полуширины инструментального профиля линий можно принять 270 км/с. То же самое значение можно использовать для исправления полуширины линий, приведенных в табл. 2, вместо инструментального профиля линий ядра галактики № 214, так как ее спектры были получены в тех же условиях, в каких были получены спектры талактик, изученных в [3]. В результате для истинных полуширин линий [OIII] 22 5007, 4959 получаются величины. равные примерно 500-600 км/с, которые намного больше встречаюцихся часто значений-350-400 км/с для галактик типа Sy2 [5]. Такие полуширины линий [ОШ]АЛ 5007, 4959 больше. всего встречаются у галактик типа Sy1. В [6] отмсчается, что полушираны линии [OIII] у тыличной галактики типа Syl больше по сравнению с полушириной этих же линий у типичной галактики типа Sy 2.

Таблица 2

Non	Åo	<i>F₩НМ</i> (км/с)
[NII]	6584	550
H _e	6563	480
[OIII]	5007	7:0
[011]	4959	850
H ₈	4861	460
[NeIII]	3869	710

ПОЛУШИРИНЫ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ (FWHM)

Из рис. 1 видно, что профили линий [NII] λ 6584, [OIII] $\lambda\lambda$ 5007, 4959 асимметричны, причем избыточное излучение наблюдается в длинноволновой части линий. Такая асимметрия наблюдается у галактик типа Sy1 [5]. По профилям линий [OIII] $\lambda\lambda$ 5007 и 4959 видно, что каждая из них в длинноволновой и коротковолновой сторонах обладает широкими крыльями. Например, общая ширина крыльев линии [OIII] λ 5007 на уровне непрерывного спектра составляет примерно 3000 км/с. Каждая из этих линий состоит из широких нижних и узких верхних частей. Такие профили имеют галактики типа Sy 1.5. Например, в спектре галактики № 163 из списка [1] наблюдаются такого типа профили [7]. Как было отмечено выше, каждый из профилей линия Н и Н³ состоит из двух компонентов—эмиссионного и абсорбционного, причем абсорбционные компоненты наблюдаются в длинноролновых частях линий. Профили этих линий похожи на профили линий Р Суд. но у последних абсорбционные компоненты, в отличие от профилей линий Н. н Н_иядра, наблюдаются в коротковолновых частях линий. Конечно го-



Рис. 1. Профили линий.

ворить об асимметрии эмиссионного компонента линий H₁ и H₂ не имеет смысла, так как этот компонент и компонент абсорбции взаимно влияют друг на друга и искажают истинный вид их профилей. Важно ютметить, что у галактик с УФ-избытком впервые наблюдаются такие взаимные расположения компонентов линий.

Уместно отметить, что такое расположение эмиссионного и абсорбщиовного компонентов линий H₈, H, и H₈ наблюдается также в спек-

221

тре галактики № 33 из первого списка «Новые галактики с ультрафиолетовым избытком» [8]. Некоторые спектральные данные об этом объекте приведены в [9]. Эти данные относятся к спектральной области $\lambda\lambda$ 5650—7100, куда не попадали H₃, H₇ и H₆. Истинная природа этого объекта была выяснена дальнейшими наблюдениями, проводившимися в 1986 г. на 6-м телескопе САО АН РАН со сканером. Результаты подробного изучения спектров галактики № 33 будут представлены в будущем. Можно отметить, что она по своей физической особенности находится межа талактикой типа Sy2 и LINER. Профили линий H₇ и H₆ похожи на таковые галактики № 214. В отличие от № 214 в ее спектре не наблюдаются линии поглощения H и K CaII.

Как отмечалось выше, линни Н. и На в спектое галактики № 214тоже имеют абсорбционные компененты, однако их эмиссионные компоненты настолько сильны. что, заливая абсообционные компоненты, оня в целом остаются эмиссионными. Отмеченный эффект, конечно, искажает профили этих линий. На самом же деле они немного уже. Как видно из табл. 1 полуширины этих линий намного меньше полуширин линий. [OIII] ЛЛ 5007 и 4959. По всей вероятности, Н, и Н_а также имеют широкие крылья, как это наблюдается у линий [OIII] Ал 5007 и 4959. Однако по поичине вышеотмеченного эффекта они также исчезли. Этоможет иметь место, так как абсорбционные компоненты очень широкие. Например, полуширина линии потлощения Call 3934 примерно равна 900 км/с, а полная ширина этой линии на уровне непрерывного спектра составляет примерно 2000 км/с. Из рис. 1 видно, что с коротковолновой стороны линии [NeIII] 2 3869 наблюдается широкое комло, а с длиноволновой не наблюдается. Наоборот, с этой стороны интенсивностьлинии резко падает до нерерызного спектра. Это понятно, так как с длинсколновой стороны она сливается с линией поглощения водорода Н_а, поскольку ее длина волны лишь на 20 А больше линии [NeIII] Л. 3869.Вышесказанное приводит к заключению, что ядро гаактики № 214 обладает особенностями ядра галактики типа Sy 1.5. Звездообразный объект примерно на одну ввездную величину слабее ядра, т. е. его абсолютная звездная величина равна приблизительно $M_{\mu\mu} = -19^{m}8$. Таким образом, ядро салактики № 214 и звездообразный объект. оасстояние между которыми составляет мримерно 15 клк, физически связаны между собой. Причем один из них является активным объектом, а другой не показывает признаков активности. Последний объект, скорее всего, имеет особенности нормальных эллиптических галактик. Волокно, о котором было сказано выше, является своеобразным мостиком, связывающим эти два объекта.

222

Какне физические условия должны иметь место в ядое галактики № 214, чтобы в его спектре имели структуры, показанные на онс. 1? В [5] подробно обсуждаются модели тех областей, где образуются эмиссионные линии в ядрах сейфертовских галактик. Однако в рамках этих моделей трудно объяснить структуры профилей линий. наблюдаемых в спектре ядра галактики № 214. Как было отмечено выше, каждая из линий Н, и Н, состоит из эмиссионного и абсорбционного компонентов, причем абсорбционный компонент у них наблю-Дается в Длинноволновой части линий и от эмиссионного компонента смещен в красную сторону на 900 км/с. Кроме того, вмиссионные линин [ОІІІ] ал 5007, 4959, [NeIII] а 3869 и другие не симметричны и имеют широкие комлья. Асимметричность у них обусловлена приращением интенсивности в красную сторону линий. Для объяснения этих особенностей поофилей линий надо построить новую модель тех областей ядов галактики № 214, где образуются линии.

Ив табл. 1 видно, что отношение интенсивностей линий [OIII], 1₅₀₀₇/1₄₉₅₉=2, что намного меньше теоретического значения 3.0. Такое несоответствие мы встречали также у двух галактик из 35 изученных нами объектов. Они в наших списках «Новые галактики с ультрафиолетовым избытком» имеют порядковые номера № 147 и 207. Возможное объяснение возникновения этого эффекта было приведено в работе [3].

Ереванский государственный университет

SPECTROPHOTOMETRY OF ONE SEYFERT TYPE GALAXY

M. A. KAZARIAN

The results of spectrophotometry of galaxy No 214 with UV excess from list [1] are presented. The equivalent widths, relative inten sities and FWHMs of the lines are obtained. It is shown that the nuclei of the galaxy No 214 has the physical properties of Sy 1.5 type galaxies. It is concluded that the models which are given in [5] can not explain the structure of the profiles of lines observed in the nuclei of the galaxy No 214.

М. А. КАЗАРЯН

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Казарян, Астрофизка, 15, 193, 1979.

2. М. А. Казарян, Астрофизика, 27, 399, 1957.

3. М. А. Казарян, Э. С. Казарян, Астрофизика, 33, 169, 1990.

4. М. А. Казарян. Э. С. Казарян, Астрофизика, 36, 211, 1993.

5. D. E. Osterbrook W. G. Mathama, Ann Key. Astron. Astrophys., 24, 171, 1986.

6. M. Whiltle, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 216, 817, 1985.

7. М. А. Казарян, Астрофизика, 19, 411, 1983.

8. М. А. Казарян, Астрофизика, 15, 5, 1979.

9. М. А. Казарян, Э. С. Казарян, Астрофизика, 26, 5, 1987.

АСТРОФИЗИКА

TOM 36

МАЙ, 1993

выпуск 2:

УДК 524.3—54

К ТЕОРИИ ИЗОТРОПНОГО РАССЕЯНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ В ПЛОСКОМ СЛОЕ. МЕТОД РАЗДЕЛЬНЫХ ЛИНЕИНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Э. Х. ДАНИЕЛЯН

Постувила 22 вюня 1992

Принята к печати 6 октября 1992

В одной из работ автора [1] были получены явные интегральные представлениядля основных характеристик поля диффузвого излучения в слое конечной оптической толщины посредством неких функций $\alpha(\eta, \tau)$ и $b(\eta, \tau)$, В настоящей стать, явившейся логическим продолжением [1], показано, что для нахаждения втих функций достаточно решить два раздельных, быстросходящихся, линейных интегральных уравнения с очень простой структурой ядра. Рассмотрены случан исотропного монохроматического рассеяния и рассеяния с полным перераспределением но частоте в сцектральной линии. Подребно рассмотрен случай консервативного рассеяния. Полученные аналитические результаты существенно упрощают анализ и численное решениеэндач теории переноса в консчном слое.

1. Введение. В работе автора [1] десятилетней давности был равработан относительно простей путь нахождения основных характеристик: поля диффузиого излучения при изотропном монохроматическом рассеямии в однородных, плоскопараллельных средах. Решения задач там сводились к осуществлению одной или двух поэтапных квадратур (в зависимости от искомой характеристикя поля излучения) по угловой переменной и алгебранческим операциям. При этом, для среды конечной оптической толщины, предполагалось знание неких исходных вспомогательных функций $a(\eta, \tau) = b(\eta, \tau)$, а для полубесконечной сдедыфункции Амбарцумяна— $\phi(\eta)$. Такое упрощение стаљо возможным благодаря факту разделения угловых переменных для некоторых характеристик поля излучения [2—10], а также использованию явных выражений резольвентных функций Соболева полубесконечной среды [11] и конечного слоя [12], позволяющих проводить интегрирования по оптической глубине аналитически. Компактнос тыражение резольвентной функции конечного слоя восредством функций $a(\eta, \tau)$ и $b(\eta, \tau)$ имеет вид:

$$\Phi(\tau, \tau_0) = CM\left(\tau, \tau_0, \frac{1}{k}\right) + \frac{\lambda}{2} \int_{0}^{1} \frac{M(\tau, \tau_0, \mu)}{\mu R(\mu)} d\mu, \qquad (1)$$

гдe

$$M(\tau, \tau_0, \mu) = e^{-\frac{\tau}{\mu}} a(\mu, \tau_0) - e^{-\frac{\tau_0 - \tau}{\mu}} b(\mu, \tau_0), \qquad (2)$$

$$R(\mu) = \left(1 - \frac{\lambda}{2} \mu \ln \frac{1+\mu}{1-\mu}\right)^2 + \left(\frac{\lambda \pi \mu}{2}\right)^2; \quad C = \frac{k(1-k^2)}{k^2 - 1+\lambda}, \quad (3)$$

а $k_{\rm H} \lambda$ —соответственно, корень характеристического уравнення $\frac{\lambda}{2k} \ln \frac{1+k}{1-k}$ п вероятность выживания кванта при элементарном акте рассеяния. Функцин $a(\eta, \tau)$ н $b(\eta, \tau)$ были определены в [[1] посредством φ н ψ -функций Амбарцумяна следующим образом:

$$a(\eta,\tau) = 1 - \frac{\lambda}{2} \eta \int_{0}^{1} \frac{\Psi(\mu,\tau)}{\mu+\eta} d\mu \ \mu \ b(\eta,\tau) - \frac{\lambda}{2} \eta \int_{0}^{1} \frac{\Psi(\mu,\tau)}{\mu+\eta} d\mu. \quad (4)$$

Там же приводились и выражения, в известном смысле, обратные к (4).

$$\varphi(\eta, \tau) = 1 + CM_{\varphi}\left(\tau, \eta, \frac{1}{k}\right) + \frac{\lambda}{2} \int_{0}^{1} \frac{M_{\varphi}(\tau, \eta, \mu)}{\mu R(\mu)} d\mu \qquad (5)$$

$$\psi(\eta, \tau) = e^{-\frac{\tau}{\eta}} + CM_{\psi}\left(\tau, \eta, \frac{1}{k}\right) + \frac{\lambda}{2} \int_{0}^{1} \frac{M_{\psi}(\tau, \eta, \mu)}{\mu R(\mu)} d\mu, \qquad (6)$$

где

H

$$M_{\varphi}(\tau, \eta, \mu) = \alpha(\mu, \tau) A(\tau, \eta, -\mu) e^{-\frac{\tau}{\mu}} - b(\mu, \tau) A(\tau, \eta, \mu),$$

$$M_{\psi}(\tau, \eta, \mu) = \alpha(\mu, \tau) A(\tau, \eta, \mu) = b(\mu, \tau) A(\tau, \eta, -\mu) e^{-\mu}, \qquad (7)$$

. a

изотропное рассеяние излучения

$$A(\tau, \eta, -\mu)e^{-\frac{\tau}{\mu}} = \frac{1 - e^{-\tau(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\eta})}}{\mu + \eta} \eta\mu$$

$$A(\tau, \eta, \mu) = \eta\mu \frac{e^{-\frac{\tau}{\mu}} - e^{-\frac{\tau}{\eta}}}{\mu - \eta}.$$
(8)

Из приведенных формул следует, что если за исходные брать φ и ψ функции Амбарцумяна, то для вычисления $\Phi(\tau, \tau_0)$ необходимо проведение дополнительного интегрирования по формулам (4). Впрочем, это утверждение относится практически ко всем задачам о нахождении характеристик поля излучения, за исключением, пожалуй, задачи о диффузном отражении и пропускании конечным слоем, в которой искомые величины выражаются непосредственно через φ и ψ -функции. Для нахождения последних Амбарцумяном [2] была получена система нелииейных интегральных уравнений

$$\varphi(\eta, \tau) = 1 + \frac{\lambda}{2} \eta \tau(\eta, \tau) \int_{0}^{1} \frac{\varphi(\mu, \tau)}{\mu + \eta} d\mu - \frac{\lambda}{2} \eta \tau(\eta, \tau) \int_{0}^{1} \frac{\psi(\mu, \tau)}{\mu + \eta} d\mu,$$
(9)
$$\psi(\eta, \tau) = e^{-\frac{\tau}{\eta}} + \frac{\lambda}{2} \eta \varphi(\eta, \tau) \int_{0}^{1} \frac{\psi(\mu, \tau)}{\mu - \eta} d\mu - \frac{\lambda}{2} \eta \psi(\eta, \tau) \int_{0}^{1} \frac{\varphi(\mu, \tau)}{\mu - \eta} d\mu,$$

второе из которых, к сожалению, содержит интегралы типа Коши, чтоприводит к большим осложнениям при численном решении. Полученные впоследствии системы линейных интегральных [13] и интегро-дифференциальных (В. А. Амбарцумян, 1943; не опубликовано) [14] уравнений, в смысле их численной реализации, оказались нисколько не лучше (9).

Функции Амбарцумяна и функции $a(\eta, \tau)$ и $b(\eta, \tau)$ тесно взаимосвязаны. Так, помимо связей (4), '(5) и (6), из первого уравнения системы (9) следует, что

$$a(\eta, \tau) \varphi(\eta, \tau) + b(\eta, \tau) \psi(\eta, \tau) = 1.$$
(10)

В работе [1], в частности, предлагался способ нахождения втих четырех функций одновременно из (4), (5) и (6) методом последовательных приближений. Заметим, что в них отсутствуют реальные сингулярности. Впоследствии нами совместно с Г. А. Арутюняном были

227

Э. Х. ДАНИЕЛЯН

проведены вычисления на ЭВМ этим способом и получены неплохие результаты. К недостаткам этого способа можно отнести не очень быструю сходимость последовательных приближений, а также неизбежность расчета сразу четырех функций, в исобходимости знания которых, при оасомотрении конкретных задач, часто не бывает необходимости.

Венду важной роли функций $a(\eta, \tau)$ и $b(\eta, \tau)$ в теории переноса излучения в конечном слое (все характеристики поля излучения, в том числе ϕ и ψ - ϕ ункции Амбарцумяна, явно выражаются через них) аффсктивный метод их нахождения, действительно, приведет к реальному упрощению расчетов задач указанного класса. Поиску такого метода и посвящена настоящая работа.

2. Уравнения для $a(\eta, \tau)$ и $b(\eta, \tau)$. Для получения искомых уравнений будем исходить из системы интегральных уравнений для ϕ в ффункций Амбарцумяна, полученной в [6]:

$$\varphi(\eta) = \varphi(\eta, \tau) + \int_{0}^{1} Z(\tau, \eta, \mu) \psi(\mu, \tau) d\mu,$$

$$\frac{4\pi}{\lambda} P(\tau, \eta) = \psi(\eta, \tau) + \int_{0}^{1} Z(\tau, \eta, \mu) \varphi(\mu, \tau) d\mu.$$
⁽¹¹⁾

Эдесь $\varphi(\eta, \tau)$ и $\psi(\eta, \tau)$ —функции Амбарцумяна конечного слоя, $\varphi(\eta)$ для полубесконечной среды; $P(\tau, \eta)$ —плотность вероятности выхода кванта с глубины τ в направлении агс сос η , а ядро Z имеет следующий вид:

$$Z(\tau, \eta, \mu) = \frac{\lambda}{2} \eta \varphi(\eta) \frac{F(\tau, \eta) + \widetilde{F}(\tau, \mu)}{\eta + \mu}, \qquad (12)$$

где

$$F(\tau, \eta) = \frac{P(\tau, \eta)}{P(o, \eta)} \quad H \quad \widetilde{F}(\tau, \mu) = \mu \varphi(\mu) \int_{0}^{1} \frac{2\pi P(\tau, \zeta)}{\zeta + \mu} d\zeta. \quad (13)$$

Заметим, что из последнего соотношения (с учетом того, что $F(0, \mu) = \varphi(\mu) - 1$), как и из обоих уравнений (11) при $\tau = 0$, следует известное уравнение для φ -функции Амбарцумяна

ИЗОТРОПНОЕ РАССЕЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ 229

$$\varphi(\eta) = 1 + \frac{\lambda}{2} \eta \varphi(\eta) \int_{0}^{1} \frac{\varphi(\mu)}{\mu + \eta} d\mu. \qquad (14)$$

Если умножить оба уравнения системы (11) на $\frac{\lambda}{2} \frac{\zeta d\eta}{\eta + \zeta}$ и проинтегрировать от 0 до 1, то с учетом (4), (13), а также (14), получим:

$$\frac{\varphi(\zeta)-1}{\varphi(\zeta)} = 1 - \alpha(\zeta, \tau) + \frac{\lambda}{2} \zeta \int_{0}^{1} \psi(\mu, \tau) d\mu \int_{0}^{1} \frac{Z(\tau, \eta, \mu)}{\eta + \zeta} d\eta,$$
(15)

$$\frac{\widetilde{F}(\tau, \zeta)}{\varphi(\zeta)} = b(\zeta, \tau) + \frac{\lambda}{2} \zeta \int_{0}^{1} \varphi(\mu, \tau) d\mu \int_{0}^{1} \frac{Z(\tau, \eta, \mu)}{\eta + \zeta} d\eta.$$

Легко видеть, что внутренний интеграл в (15) можно преобразовать к виду

$$\varphi(r)\int_{0}^{1}\frac{Z(\tau, \eta, \mu)}{\eta+\zeta}\,d\eta = \frac{\widetilde{F}(\tau, \zeta) - \widetilde{F}(\tau, \mu)}{\varphi(\zeta)(\zeta-\mu)}.$$
(16)

Для втого достаточно Боспользоваться выражением (12), с учетом (13), (14), а также того, что $P(0, \eta) = \frac{\lambda}{4\pi} \varphi(\eta)$.

Для функции F известно [9, 15] также явное интегральное представление посредством функции $\varphi(\eta)$:

$$\widetilde{F}(\tau,\zeta) = \frac{Ce^{-k\tau}\zeta}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right)(1+k\zeta)} + \frac{\lambda}{2}\zeta\int_{0}^{1}\frac{e^{-\frac{\lambda}{\mu}}d\mu}{R(\mu)\varphi(\mu)(\mu+\zeta)}.$$
(17)

С учетом последнего нетрудно получить, что

$$\frac{\widetilde{F}(\tau, \zeta) - \widetilde{F}(\tau, \mu)}{\zeta - \mu} = \frac{Ce^{-k\tau}}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right)(1 + k\zeta)(1 + k\mu)} + \frac{\lambda}{2} \int_{0}^{1} \frac{e^{-\frac{\tau}{\gamma}} v d\nu}{R(\nu)\varphi(\nu)(\nu + \zeta)(\nu + \mu)}.$$
(18)

5-47

Теперь подставляя (18) в (16) и далее в (15), после небольших преобразований, получим следующие два выражения:

$$\varphi(\eta) \alpha(\eta, \tau) = 1 + \frac{Ce^{-k\tau} \eta}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right)(1+k\eta)} b\left(\frac{1}{k}, \tau\right) +$$

(19)

(20)

$$+\frac{\lambda}{2}\eta\int_{0}^{1}\frac{e^{-\mu}b(\mu,\tau)d\mu}{R(\mu)\phi(\mu)(\mu+\eta)}$$

$$\varphi(\eta) b(\eta, \tau) = \frac{Ce^{-k\tau}\eta}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right)(1+k\eta)} a\left(\frac{1}{k}, \tau\right) +$$

$$+\frac{\lambda}{2}\eta\int_{0}^{1}\frac{e^{-\frac{\pi}{\mu}}a(\mu,\tau)d\mu}{R(\mu)\varphi(\mu)(\mu+\eta)}$$

являющиеся основой для нахождения функций α(η, τ) и b(η, τ).

3. Решение основных уравнений. Рассматривая выражения (19) и (20) как систему уравнений, можно попытаться сразу заняться ее численным решением методом последовательных приближений, что, в принципе, возможно, однако этот прямолинейный способ, по многим причинам, является далеко не лучшим путем накождения функций $a(\eta, \tau)$ и $b(\eta, \tau)$.

Другая возможность состоит в получении раздельных уравнений нутем подстановки одного уравления в другос. Получаемые при этом линейные интегральные уравнения являются весьма громоздкими, хотя ядро этих уравнений и удается сильно упростить (получается ядро со структурой левой части выражения (18)). К тому же в свободных членах присутствуют сразу два слагаемых, содержащих неизвестные множители $a\left(\frac{1}{k}, \tau\right)$ и $b\left(\frac{1}{k}, \tau\right)$, что сильно осложняет дело. По-видимому,

лучший способ нахождения искомых функций состоит в следующем.

Составим сумму и разность этих функций и обозначим их через:

$$S(\eta, \tau) = a(\eta, \tau) + b(\eta, \tau) + H(\eta, \tau) = a(\eta, \tau) - b(\eta, \tau).$$
(21)

Далсе, складывая и вычитая (19) и (20), для введенных сумм и разностей получим следующие раздельные линейные интегральные уравнения:

$$\varphi(\eta) S(\eta, \tau) = 1 + \frac{Ce^{-k\tau} \eta}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right)(1+k\eta)} S\left(\frac{1}{k}, \tau\right) + \frac{i}{2} \eta \int_{0}^{1} \frac{e^{-\frac{\tau}{\mu}} S(\mu, \tau) d\mu}{R(\mu) \varphi(\mu) (\mu + \eta)}$$
(22)

И

$$\varphi(\eta) H(\eta, \tau) = 1 - \frac{C e^{-k\tau} \eta}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right) (1 + k\eta)} H\left(\frac{1}{k}, \tau\right) - \frac{1}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right) (1 + k\eta)} H\left(\frac{1}{k}, \tau\right) + \frac{1}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right) (1 + k\eta)} H\left(\frac{1}{k}\right) + \frac{1}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right)$$

ŏ

$$\frac{\lambda}{2} \eta \int_{0}^{1} \frac{e^{-\frac{\pi}{\mu}} H(\mu, \tau) d\mu}{R(\mu) \eta(\mu) (\mu + \eta)}.$$
(23)

На первый вэгляд может показаться, что присутствие в правых частях величин $S\left(\frac{1}{k}, z\right)$ и $H\left(\frac{1}{k}, z\right)$ двляется серьезным препятствием при их решения, однако, как мы увидим, его удается легко устранить. Действительно, в силу линейности уравнений (22) и (23) их решения можно сраву записать в следующем виде:

$$\varphi(\eta) S(\eta, \tau) = u^+(\eta) + \frac{Ce^{-k\tau}}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right)} S\left(\frac{1}{k}, \tau\right) v^+(\eta)$$
(24)

н

$$\varphi(\eta)H(\eta,\tau) = u^{-}(\eta) - \frac{Ce^{-k\tau}}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right)} H\left(\frac{1}{k},\tau\right)v^{-}(\eta), \quad (25)$$

тде функции $u^{\pm}(\eta)$ и $v^{\pm}(\eta)$ (они, конечно же, зависят и от т, но для удобства явную зависимость от этого аргумента будем опускать) удовлетворяют следующим линейным интегральным уравнениям:

$$u^{+}(\eta) = 1 + \frac{\lambda}{2} \eta \int_{0}^{1} \frac{g(\mu) u^{+}(\mu)}{\mu + \eta} d\mu, \quad u^{-}(\eta) = 1 - \frac{\lambda}{2} \eta \int_{0}^{1} \frac{g(\mu) u^{-}(\mu)}{\mu + \eta} d\mu \quad (26)$$

232 Э. Х. ДАНИЕЛЯН

H

$$\sigma^{+}(\eta) = \frac{\eta}{1+k\eta} + \frac{\lambda}{2} \eta \int_{0}^{1} \frac{g(\mu) \sigma^{+}(\mu)}{\mu + \eta} d\mu,$$

$$\sigma^{-}(\eta) = \frac{\eta}{1+k\eta} - \frac{\lambda}{2} \eta \int_{0}^{1} \frac{g(\mu) \sigma^{-}(\mu)}{\mu + \eta} d\mu,$$
(27)

в которых «весовая» функция равна

$$g(\mu) = \frac{e^{-\frac{\pi}{\mu}}}{R(\mu) \varphi^{2}(\mu)}.$$
 (28)

22.

Проблема множителей $S\left(\frac{1}{k}, \tau\right)$ и $H\left(\frac{1}{k}, \tau\right)$ разрешается подстановкой в (24) и (25) $\eta = \frac{1}{k}$. В результате этого получим:

$$S\left(\frac{1}{k},\tau\right) = \frac{u^{+}\left(\frac{1}{k}\right)}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right) - \frac{Ce^{-k\tau}}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right)} v^{+}\left(\frac{1}{k}\right)}$$
(29)

N

$$H\left(\frac{1}{k},\tau\right) = \frac{u^{-}\left(\frac{1}{k}\right)}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right) + \frac{Ce^{-k\tau}}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right)} \omega^{-}\left(\frac{1}{k}\right)}.$$
(30)

Далее, складывая и вычитая выражения (24) и (25), получим окончательные выражения:

$$\varphi(\eta) a(\eta, \tau) = \frac{u^{+}(\eta) + u^{-}(\eta)}{2} + \frac{Ce^{-k\tau}}{2\varphi\left(\frac{1}{k}\right)} \left[S\left(\frac{1}{k}, \tau\right) v^{+}(\eta) - H\left(\frac{1}{k}, \tau\right) v^{-}(\eta) \right]$$
(31)

ИЗОТРОПНОЕ РАССЕЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

$$z(\eta) b(\eta, \tau) = \frac{u^{+}(\eta) - u^{-}(\eta)}{2} + \frac{Ce^{-k\tau}}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right)} \left[S\left(\frac{1}{k}, \tau\right) v^{+}(\eta) + H\left(\frac{1}{k}, \tau\right) v^{-}(\eta) \right].$$
(32)

4. О конкретной реализации полученных результатов. В полученных выше формулах молчаливо предполагалось, что $\lambda \neq 1$ ($k \neq 0$). Случай чистого рассеяния ($\lambda = 1$, k = 0) будет рассмотрен ниже, а пока, считая что $\lambda \neq 1$, посмотрим, что дают нам полученные формулы.

Вычисления по формулам (29) и (30) предполагают знание величин $u^{\pm}\left(\frac{1}{k}\right)$ и $v^{\pm}\left(\frac{1}{k}\right)$. Их следует вычислять по формулам:

$$u^{\pm}\left(\frac{1}{k}\right) = 1 + \frac{\lambda}{2}\int_{0}^{1}\frac{g\left(\mu\right)u^{\pm}\left(\mu\right)}{1+k\mu} d\mu,$$

$$u^{-}\binom{1}{k} = 1 - \frac{\lambda}{2} \int_{0}^{1} \frac{g(\mu)u^{-}(\mu)}{1 + k\mu} d\mu$$

$$v^{+}\left(\frac{1}{k}\right) = \frac{1}{2k} + \frac{\lambda}{2} \int_{0}^{1} \frac{g(\mu)v^{+}(\mu)}{1+k\mu} d\mu,$$

$$v^{-}\left(\frac{1}{k}\right) = \frac{1}{2k} - \frac{\lambda}{2} \int_{0}^{1} \frac{g(\mu)v^{-}(\mu)}{1+k\mu} d\mu,$$
(34)

т. е. достаточно знания этих функций лишь на интервале $0 \le \eta \le 1$. Для нахождения функций $u^{\pm}(\eta)$ и $v^{\pm}(\eta)$ выпишем ряды Неймана, соответствующих им интегральных уревнений (26) и (27). Тогда:

$$u^{+}(\eta) = \sum_{n=0}^{\infty} u_n(\eta), \quad u^{-}(\eta) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n u_n(\eta)$$
(35)

$$v^+(\eta) = \sum_{n=0}^{\infty} v_n(\eta), \quad v^-(\eta) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n v_n(\eta).$$
 (36)

Заметим, что из (35) для величин, входящих в окончательные фор-

н

И

И

233

(33)

мулы (31) и (32), имеют место следующие равенства:

$$\frac{u^{+}(\eta) + u^{-}(\eta)}{2} = \sum_{n=0}^{\infty} u_{2n}(\eta), \qquad \frac{u^{+}(\eta) - u^{-}(\eta)}{2} = \sum_{n=0}^{\infty} u_{2n+1}(\eta). \tag{37}$$

Всличины, как $u_n(\eta)$, так и $v_n(\eta)$, входящие в эти функциональные ряды, очевидно, можно находить из одной и той же интегральной рекурренты, но с разными начальными условиями

$$\begin{pmatrix} u_{n+1} \\ v_{n+1} \end{pmatrix} (\eta) = \frac{\lambda}{2} \eta \int_{0}^{1} \frac{g(\mu) \begin{pmatrix} u_{n} \\ v_{n} \end{pmatrix} (\mu)}{\mu + \eta} d\mu,$$
(38)

$$u_{\eta}(\eta) = 1, \quad v_{0}(\eta) = \frac{\eta}{1+k\eta}.$$
 (39)

Ряды (35)—(37) сходятся чрезвычайно быстро, поскольку с ростом л величины u_n и v_n очень быстро стремятся к нулю. Это с очевидностью следует из (28) и (38), если только учесть лишь то, что при $\mu \in [0; 1]; 1 \leq R(\mu) \leq \infty$ и $\varphi(\mu) \geq |$.

Вычисления по формуле (38) не представляют никаких затруднений и после нахождения первых нескольких (в зависимости от требуе: мой точности) величин (η) и $v_n(\eta)$ на интервале $\eta \in [0; 1]$ и в точке $\eta = \frac{1}{k}$ и соответствующих суммирований по формулам (35)—(37) следуют влементарные вычисления по формулам (31) и (32).

В заключение настоящего раздела отметим также, что при наличии истинного поглощения функции $v^+(\eta)$ и $v^-(\eta)$ можно явным образом выразить посредством функций $u^+(\eta)$ и $u^-(\eta)$. Однако вычислять их таким образом не очень выгодно, поскольку при этом, помимо некоторой громоздкости, возникает необходимость вычисления некоторых (четырех) интегралов (другое дело—случай чистого рассения, когда, как мы увидим ниже, эта связь, до тривиальности, простая). Эта возможность носит скорее всего принципиальный характер.

Из сказанного следует, что для полното аналитического решения проблемы переноса излучения в конечном слое (как это имеет место для полубесконечной среды) необходимо решить в явном виде лишь уравнения (26).

5. Консервативное рассеяние. Для астрофизических приложений наибольший интерес представляет случай консервативного или чистого рас-

234

ИЗОТРОПНОЕ РАССЕЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

сеяния. При этом для получения аналогичных результатов следует в полученных выше формулах совершить предельные переходы $\lambda \rightarrow 1(k - 0)$.

Функции $S\left(\frac{1}{k}, \tau\right)$ и $H\left(\frac{1}{k}, \tau\right)$, вхедящие в окончательные выражения (31) и (32), согласно определению (4) и (21), равны:

$$S\left(\frac{1}{k},\tau\right) = 1 - \frac{\lambda}{2} \int_{0}^{1} \frac{\varphi\left(\mu,\tau\right)}{1+k\mu} d\mu + \frac{\lambda}{2} \int_{0}^{1} \frac{\psi\left(\mu,\tau\right)}{1+k\mu} d\mu \qquad (40)$$

$$H\left(\frac{1}{k},\tau\right) = 1 - \frac{\lambda}{2} \int_{0}^{1} \frac{\varphi(\mu,\tau)}{1+k\mu} d\mu - \frac{\lambda}{2} \int_{0}^{1} \frac{\psi(\mu,\tau)}{1+k\mu} d\mu.$$
(41)

Полагая в них k=0, $\lambda=1$, получим

И

И

$$\lim_{k\to\infty} S\left(\frac{1}{k}, \tau\right) = \psi_0(\tau), \quad \lim_{k\to\infty} H\left(\frac{1}{k}, \tau\right) = 0, \tag{42}$$

поокольку известно, что при чистом рассеянии $\varphi_0(\tau) + \psi_0(\tau) = 1$. Здесь φ_0 и ψ_0 —нулевые моменты φ - и ψ -функций Амбарцумяна.

С учетом (42) выражения (31) и (32) запишутся в виде:

$$\varphi(\eta) \alpha(\eta, \tau) = \frac{u^+(\eta) + u^-(\eta)}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \psi_0(\tau) v^+(\eta), \quad (43)$$

$$\varphi(\eta) b(\tau_0, \tau) = \frac{u^+(\eta) - u^-(\eta)}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \psi_0(\tau) v^+(\eta).$$
(44).

Эдесь мы воспользовались также известным результатом

$$\lim_{k\to w} C/\varphi\left(\frac{1}{k}\right) = \sqrt{3}.$$

Функции $u^{\pm}(\eta)$ и $v^{\pm}(\eta)$ в рассматриваемом случае удовлетворяют следующим уравнениям:

$$u^{+}(\eta) = 1 + \frac{\eta}{2} \int_{0}^{1} \frac{g(\mu) u^{+}(\mu)}{\mu + \eta} d\mu, \quad u^{-}(\eta) = 1 - \frac{\eta}{2} \int_{0}^{1} \frac{g(\mu) u^{-}(\mu)}{\mu + \eta} d\mu$$
(45).

$$v^{+}(\eta) = \eta + \frac{\eta}{2} \int_{0}^{1} \frac{g(\mu)v^{+}(\mu)}{\mu + \eta} d\mu, \quad v^{-}(\eta) = \eta - \frac{\eta}{2} \int_{0}^{1} \frac{g(\mu)v^{-}(\mu)}{\mu + \eta} d\mu, \quad (46)$$

причем они связания друг с другом следующим образом:

$$v^{+}(\eta) = \eta \frac{u^{-}(\eta)}{u^{-}(\infty)}, \quad v^{-}(\eta) = \eta \frac{u^{+}(\eta)}{u^{+}(\infty)}.$$
 (47)

1. 7.90

(48)

В этих выражениях:

$$u^{+}(\infty) = 1 + \frac{1}{2} \int_{0}^{1} g(\mu) u^{+}(\mu) d\mu,$$

$$u^{-}(\infty) = 1 - \frac{1}{2} \int_{0}^{1} g(\mu) u^{-}(\mu) d\mu.$$

Получение результата (47) тривиально и сводится к применению следующего стандартного приема: к множителю η в (45) прибавляется и отпимается селичина μ , затем, после почленного деления на $\mu + \eta$ и умножения па η , получившиеся уравления сравниваются с (46).

Вычисления по формулам (43) и (44) подразумевают и знание нулевого момента ф-функции Амбарцумяна. Для ее нахождения обратимся к формуле (29), откуда, с учетом (42), следует

$$\psi_0(\tau) = u^+(\infty)/X, \tag{49}$$

где u+(∞) даєтся первой из формух (48), а через X обозначено

$$X = \lim_{k \to 0} \left[\varphi\left(\frac{1}{k}\right) - \frac{Ce^{-k\tau}}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right)} v^+ \left(\frac{1}{k}\right) \right].$$
(50)

Для нахождения втого предела воспользуемся уравнением для функции Амбарцумяна, полученным в [16], которое, кстати, следует и из (22) при т=0 '(для чистого рассеяния оно было найдено В. Г. Буславским [17])

$$\varphi(\eta) = 1 + \frac{C\eta}{\varphi\left(\frac{1}{k}\right)\left(1+k\eta\right)} + \frac{\lambda}{2}\eta \int_{0}^{1} \frac{d\mu}{R(\mu)\varphi(\mu)(\mu+\eta)}.$$
 (51)

Полагая в нем $\eta = \frac{1}{k}$ и устремив $k \rightarrow 0$ легко видеть, что

$$\lim \left[\frac{\varphi\left(\frac{1}{k}\right) - \frac{Ce^{-k\tau}}{2k\varphi\left(\frac{1}{k}\right)} \right] = 1 + \frac{1}{2} \int_{0}^{1} \frac{d\mu}{\mathcal{R}(\mu)\varphi(\mu)}.$$
 (52)

Кроме того, воспользовавшито разложения (при малых k) $e^{-k\tau} = 1 - k\tau + ...$ и

$$v^{+}\left(\frac{1}{k}\right) \approx \frac{1}{2k} + \frac{1}{2} \int_{0}^{1} g\left(v\right) v^{+}\left(v\right) dv - \frac{k}{2} \int_{0}^{1} \dots ,$$
 (53)

следующим на (33), накже нанечиным ин теорна результатом

$$1 + \frac{1}{2} \int_{0}^{1} \frac{d\mu}{R(\mu) \varphi(\mu)} = \frac{1}{3} q(\infty), \qquad (54)$$

после небольших выкладок, получим

$$X = \frac{\sqrt{3}}{2} \left[2q(\infty) + \tau - 2I(\tau) \right].$$
 (55)

Эдесь $q(\infty)$ —значение функции Хопфа на бесконечности, а через $I(\tau)$ обозначено интегральное слагаемое правой части (53), которос, в силу (47), можно записать посредством функции $u^-(\eta)$ в виде

$$I(z) = \frac{1}{2u^{-}(\infty)} \int_{0}^{1} g(\mu) \mu u^{-}(\mu) d\mu, \qquad (56)$$

а окончательное выражение для $\psi_0(\tau)$ будет выглядеть так:

$$\psi_{0}(\tau) = \frac{2u^{+}(\infty)}{\sqrt{3} \left[2q(\infty) + \tau - 2I(\tau) \right]}.$$
(57)

237
Любопытно сравнить полученное точное выражение для $\psi_0(\tau)$ с се известным асимптотическим выражением (для оптически толстого слоя)

$$\psi_0^{\bullet}(\tau) = \frac{2}{\sqrt{3}[2q(\alpha) + \tau]}$$

Такое сравнение дает возможность как для оценки точности асимптотических формул, так и для получения тонких критериев для области их применения.

Таким образом, в случае чистого рассеяния, поэтапное нахождение функций $a(\eta, \tau)$ и $b(\eta, \tau)$ сводится с следующей процедуре. Вначале находятся несколько (в зависимости от требуемой точности) величин u_{a} из интегральной рекурренты

$$\kappa_{n+1}(\eta) = \frac{1}{2} \eta \int_{0}^{1} \frac{g(\mu) u_{n}(\mu)}{\mu + \eta} d\mu$$
 (58)

с начальным условием $u_0(\eta) = 1$. Далее, строятся функциональные ряды: $u^+(\eta) = 1 + u_1(\eta) + u_2(\eta) + \dots, \quad u^-(\eta) = 1 - u_1(\eta) + u_2(\eta) - \dots$ (59)

$$\frac{u^{+}(\eta) + u^{-}(\eta)}{2} = 1 + u_{2}(\eta) + u_{4}(\eta) + \dots,$$

$$\frac{u^{+}(\eta) - u^{-}(\eta)}{2} = u_{1}(\eta) + u_{3}(\eta) + u_{5}(\eta) + \dots$$
(60)

и после вычисления интегралов по формулам (48) и (56) находятся величины $u^{\pm}(\infty)$ и $I(\tau)$, а величина $v^{\pm}(\eta)$ из (47). В конце, после построения величины $\psi_0(\tau)$ по формуле (57), следуют вычисления по формулам (43) и (44).

Следует отметить, что при чистом рассеянии сходимость функциональных рядов (59), (60) примерно такая же, как и в случае рассеяния с истинным потлощением, ибо малая норма ядер интегральных уравнений (26), (27), (45), (46) (или рекуррент (38), (58)) обусловлена отнюдь не величиной λ , а прежде всего весовой функцией $g(\mu)$.

6. Ивотропное рассеяние с учетом частотного перераспределения. Случай рассеяния монохроматического излучения, с точки зрения астрофизических приложений, представляет ограниченный интерес. При исследовании таких актуальных для астрофизики задач, как образование

ИЗОТРОПНОЕ РАССЕЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

спектральных линии, очевидно, необходимо учитывать частотное перераспределение. Полученные выше результаты легко распространяются на, так называемый, случай полного перераспределения по частоте (ППЧ). Этого, разумеется, следовало ожидать, поскольку почти все результаты, полученные для монохроматического рассеяния, имеют свои аналоги для (ППЧ) (см. работы В. В. Иванова [18, 19]).

В рассматриваемом случае явное выражение резольвентной функции конечного слоя имеет вид

$$\Phi(\tau, \tau_0) = \frac{\lambda}{2} \int_0^{\frac{1}{\beta}} \frac{e^{-\frac{\tau}{z}} a(z, \tau) - e^{-\frac{\tau_0 - \tau}{z}} b(z, \tau)}{zR(z)} G\left(\frac{z}{1 - \beta z}\right) dz, \quad (6.1)$$

в котором:

$$a(z, \tau) = 1 - \frac{\lambda}{2} \cdot \int_{0}^{\beta} \frac{X(z', \tau)}{z' + z} G\left(\frac{z'}{1 - \beta z'}\right) dz',$$

$$b(z, \tau) = \frac{\lambda}{2} z \int_{0}^{\overline{\beta}} \frac{Y(z', \tau)}{z' + z} G\left(\frac{z'}{1 - \beta z'}\right) dz',$$

 $R(z) = T^{2}(z,\beta) + \left[\frac{\lambda \pi z}{2} G\left(\frac{z}{1-\beta z}\right)\right]^{2}$, остальные обозначения идентичны

обозначенням в [18]. Интегральное представление (6.1) можно получить разными способами, например, решив основное интегральное уравнение теории переноса для резольвентной функции конечного слоя методом, аззвитым в [12] (кстати, этот метод уже нами применялся в аналогичной задаче при анизотропном рассеянии [20]), однако проще всего воспользоваться явным выражением $\Phi^{\infty}(\tau)$ —резольвентной функции бесконечной среды, полученной Д. И. Нагирнером [21] и, подставив в выражение, связывающее $\Phi^{\overline{\alpha}}(\tau) \subset \Phi(\tau, \tau_0)$ (см. [18, 19]), провести интегрирование по оптической глубине аналитически.

Функцин $a(z, \tau)$ и $b(z, \tau)$, посредством которых явно выражаются не только $\Phi(\tau, \tau_0)$, но любая характеристика поля излучения, можно найти изложенным выше методом, руководствуясь, при этом вероятностным толкованием характеристик поля излучения, выявленным В. В. Ивановым в [19].

(6.2)

Ниже мы приведем лишь узловые формулы без их выводов (совершенно идентичных таковым для монохроматического рассеяния):

$$H(z) = X(z, \tau) + \int_{0}^{\frac{1}{\beta}} Z(\tau, z, z') Y(z', \tau) G\left(\frac{z'}{1 - \beta z'}\right) dz',$$

$$\frac{4\pi}{\lambda} P(\tau, z) = Y(z, \tau) + \int_{0}^{\frac{1}{\beta}} Z(\tau, z, z') X(z', \tau) G\left(\frac{z'}{1 - \beta z'}\right) dz'.$$
(6.3)

Здесь

$$Z(\tau, z, z') = z \frac{2\pi P(\tau, z) + \frac{\hbar}{2} H(z) \widetilde{F}(\tau, z')}{z + z'}$$

$$\widetilde{F}(\tau, z) = zH(z)\int_{0}^{\frac{1}{\beta}} \frac{2\pi P(\tau, z')}{z'+z} G\left(\frac{z'}{1-\beta z'}\right) dz'.$$

Явное выражение F лосредством Н-функции имеет вид:

$$\widetilde{F}(\tau, z) = \frac{\lambda}{2} z \int_{0}^{\frac{1}{\beta}} \frac{e^{-\frac{\tau}{z'}} G\left(\frac{z'}{1-\beta z'}\right)}{R(z') H(z') (z+z')} dz'.$$
(6.5)

(6.4)

С использованием (6.3)—(6.5) получаются следующие основные выражения для функций $\alpha(z, \tau)$ и $b(z, \tau)$:

$$H(z) a(z, z) = 1 + \frac{\lambda}{2} z \int_{0}^{\frac{1}{p}} \frac{e^{-\frac{1}{p}} b(y, z) G\left(\frac{y}{1-\beta y}\right)}{R(y) H(y) (y+z)} dy \qquad (6.6)$$

Ħ

$$H(z) \ b \ (z, \tau) = \frac{\lambda}{2} \ z \ \int_{0}^{\frac{1}{p}} \frac{e^{-\frac{1}{y}} \ a \ (y, \tau) \ G \left(\frac{y}{1-\beta y}\right)}{R \ (y) \ H(y) \ (y+z)} \ dy. \tag{6.7}$$

Введем обозначения $H(z) [a(z, \tau) + b(z, \tau)] = u^{+}(z), \quad H(z) [a(z, \tau) - b(z, \tau)] = u^{-}(z)$ (6.8)

И

$$g(y) = \frac{e^{-y} G(\frac{1-\beta y}{1-\beta y})}{R(y) H^2(y)}.$$
 (6.9)

241

Величины $u^+(z)$ и $u^-(z)$ (они, как и весовая функция g(y), конечно же зависят от оптической толщины, однако явную зависимость от нее будем опускать), как это следует из (6.6) и (6.7), должны удовлетворять следующим раздельным линейным интегральным уравнениям:

$$u^{+}(z) = 1 + \frac{\lambda}{2} z \int_{0}^{\frac{1}{\beta}} \frac{u^{+}(y) s(y)}{y+z} dy$$
 (6.10)

$$(z) = 1 - \frac{\lambda}{2} z \int_{0}^{\frac{1}{2}} \frac{u^{-}(y) g(y)}{y + z} dy. \qquad (6.11)$$

Выписав ряды Неймана этих уравнений замечаем, что в окончательные выражения искомых функций будут входить лишь последовательные приближения уравнения (6.10).

$$a(z, \tau) = \frac{1}{H(z)} [1 + u_1(z) + u_4(z) + \dots],$$

$$b(z, \tau) = \frac{1}{H(z)} [u_1(z) + u_3(z) + u_5(z) + \dots].$$
(6.12)

-сооветственно, четные и нечетные члены ряда. Другими словами, для нахождения функций $a(z, \tau)$ и $b(z, \tau)$ нет необходимости в нахождежил двух функций $u^+(z)$ и $u^-(z)$, а достаточно лишь найти величины $u_n(z)$ с помощью интегральной рекурренты

$$u_{n+1}(z) = \frac{\lambda}{2} z \int_{0}^{\frac{1}{2}} \frac{u_{n}(y) g(y)}{y+z} dy.$$
 (6.13)

С начальным условнем $u_0(z) = 1$.

H

242

Э. Х. ДАИНЕЛЯН

Как видны, формулы, полученные с учетом частотного перераспределения, формально вытлядят проще, по сравнению с таковыми при монохроматическом рассеянии. Очевидно, что это вызвано отсутствием полюсных членов в явных выражениях резольвентных функций, т. к. при частотном перераспределении характеристическая функция $T\left(\frac{1}{s},\beta\right)$ не имеет корней в комплексной плоскости (Д. И. Нагирнер, 1966; не опубликовано) [18, 22].

7. Заключение. Результаты, полученные выше, в совокупности с полученными нами ранее в [1], позволяют довольно простыми средствами находить характеристики поля излучения в среде конечной оптической толщины. Это стало возможным, в первую очередь, блатодаря введению функций $a(\eta, \tau)$ и $b(\eta, \tau)$ и выявлению их роли в теории переноса излучения, а также получению для сопутствующих им функций u^+ и ираздельных, линейных, быстросходящихся интегральных уравнений.

Методика, предлагаемая нами для решения задач переноса излучения в конечном слое, состоит из трех втапов. Вначале вычисляется функция Амбарцумяна (или ее обобщения) для полубесконечной среды. На втором втапе, изложенным выше методом, находятся функции $a(\eta, \tau)$ и $b(\eta, \tau)$ для слоя толщины τ . И, наконец, с помощью явных выражений [1], путем осуществления одной или двух квадратур по угловой переменной, находятся искомые величины. Для аналогичных задач рассеяния в полубесконечной среде второй втап выпадает (точнес, совпадает с первым).

В настоящее время вычисление функции Амбарцумяна не является проблемой, поскольку для нее известны явное интегральное представление [23], четыре качественно различных уравнения [2, 16, 24, 25], не считая их модификаций. Вопрос состоит лишь в выборе способа, позволяющего находить ее значения быстро и с большой точностью, поскольку она, будучи исходной, участвует в дальнейших интегрированиях. Видимо, выяснению втого вопроса следует посвятить отдельное исследование.

Что касается расширения крута задач с привлечением для их решения методики, разработанной в [1] и в настоящей статье, то нам оно видится для случасв анизотропного рассеяния и с частичным перераспределением по частоте в спектральной линии.

Пользуясь случаем, выражаю искреньюю благодарность О. В. Пижичяну за переработку первоначального еарнанта статьи и неоднократные обсуждения по существу.

Бюраканская астрофизичиская обсерватория

ИЗОТРОПНОЕ РАССЕЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

ON THE STUDY OF ISOTROPIC SCATERING IN THE PLANE SLAB. THE METHOD OF SEPARATED LINEAR INTEGRAL FQUATIONS

E. KN. DANIELIAN

In one of the author's papers [1] exact integral representations for the basic characteristics of the field of diffuse radiation in the slab with finite optical thickness have been obtained by means of some functions $a(\eta, \tau)$ and $b(\eta, \tau)$. In the present paper, which is the logical continuation of [1] it has been shown that for the determination of these functions it is sufficient to solve only two separated, fast-convergent, linear integent equations with very simple structure of the kernel.

The case of isotropic, monochromatic scattering, as well as of complete redistibution one over the frequency in the spectral line are considered. The case of conservative scattering is considered in detail. The obtained analytical results considerably simplify the analysis and the numerical solution of the problems of transfer theory in the finite slab.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Э. Х. Дниелян, Астрофизика, 19, 335, 1983.
- 2. В. А. Амбаруумян, Научные труды, т. І, Еревин, 1960.
- 3. С. Д. Гутшабаш, Вестн. ЛГУ, № 1, 158, 1957.
- 4. T. W. Mullikin, Proc. Interdisciplinary Conference Electromagnetic Scattering, Univ. Masachusets, 1965, p. 697.
- 5. H. H. Kagiwada, R. E. Kalaba, Astrophys. J., 147, 391, 1967.
- 6. Э. Х. Даниелян, М. А. Мнацаканян, Сообщ. Бюракан. обсерв., 46, 101, 1975.
- 7. Э. Х. Даниелян, Астрофизика, 12, 579, 1976.
- 8. Э. Г. Яновицкий, Докл. АН СССР, 227, 1319, 1976.
- 9. Э. Х. Данислян, О. В. Пикичян, Астрофизика, 13, 275, 1977.
- 10. О. В. Пихичян, Астрофизика. 14, 169, 1978.
- 11. И. Н.Минин, Докл. АН СССР, 120, 63, 1958.
- 12. Н. Н. Роговцов, А. М. Самсон, Ж. прикладн. спектроскоп., 25, 512. 1976.
- 13. В. В. Соболев, Докл. АН СССР, 69, No 3, 353, 1949.
- 14. С. Чандрасекар, Перенос лучистой энергин, ИЛ, М., 1953.
- 15. Р. Р. Андреасян, Сообщ. Бюракан. обсерв., 50, 79, 1978.
- 16. Р. Р. Андреасян, Э. Х. Даниелян, Сообщ. Бюржжая. обсерв., 50, 114, 1978.
- 17. В. Г. Буславский, Изв. Крын. обсерв., 35, 81, 1966.
- 18. В. В. Иванов, Перевос излучения и спектры исбесных тел. Наука, М., 1969.
- 19. В. В. Иванов, Астров. ж., 41, 44, 1964.

244 Э. Х. ДАИНЕЛЯН

20. Э. Х. Даниелян, Астрофитанка, 19. 711, 1983.

21. Д. И. Нагирнер, Астрон. ж., 41, 669, 1964.

22. Ю. Ю. Абрамов, А. М. Дихис. Л. П. Непартович, Астрофизика, 3, 459, 1967. 23. В. А. Фок, Матем. сб., 14, 1-2, 3, 1944.

-

12

24. В. В. Соболев, Докл. АН СССР, 61, № 5, 803, 1948.

25. К. М. Кейя, П. Ф. Цвайфель, Авнейная теория переноса. Мир. М., 1972.

1.

АСТРОФИЗИКА

TOM 36

MAR. 1993

выпуск 2.

YAK: 52: 531.51

СФЕРИЧЕСКИ-СИММЕТРИЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ОТО являются частными решениями БСТТ

А. А. СААРЯН

Поступила 3 августа 1992

Прияная к почати 3 сеятября 1992

Показано, что уравновая бамегрической скалярно-тензорной теории гравитация (БСТТ) имают сформусски-симистранные раноная с постоянным скалярыми полем озрадо то не волотрию искрива от пространства-зражали, ито н в ОТО На дона тачим мограна соотнатегзующого фонового (плоского) пространства-времени.

теория (ЕСТТ) относится к Елистрическая скалярно-тензорная классу во разлини теорий гравитации, обладающих предночтительней гсомстрата. От сбычных скалярно-тензорных тсорий (СТТ) она отличается наличием, варяду с динамическими метрикой В., и травитационным скаляром Ф. плоской фоновой метрики Т... Уравнения травитационного поля в БСТТ имеют вид [1, 2].

$$\varphi R_{ik} + \varphi_{ik} \overline{\Gamma}^{n}_{ik} - \varphi_{il} \overline{\Gamma}^{n}_{k|n} - \zeta(\varphi) \gamma_{il} \varphi_{k}/\varphi = T_{ik} - g_{ik} T/2, \qquad (1a)$$

$$2\zeta\varphi_{n}^{n} + (\sigma/d\varphi - \zeta/\varphi)\varphi_{n}^{n}\varphi_{n} + \varepsilon\Lambda_{g} = 0, \qquad (16)$$

где $\varphi_i = \partial \varphi / \partial x^i$, точка с запятой ковариантная производная по g_{ik} а круглые скобки в первом случае означают симметризацию соответствующего выражения по индексам і и k.

$$\Lambda_g = g^{lk} (\overline{\Gamma}_{lk}^l \overline{\Gamma}_{kl}^n - \overline{\Gamma}_{lk}^l \overline{\Gamma}_{ln}^n), \quad \overline{\Gamma}_{lk}^l = \Gamma_{lk}^l - \widetilde{\Gamma}_{lk}^l, \tag{2}$$

Г! и Г! - символы Кристоффеля для метрик gik и үж, соотсетственно. Уравнения же исграбитационной материи здесь те же, чтои в ОТО (как и в любой метрической теории). Заметим, что, воспользовавшись сверткой (1а) и 14.45

6-47

$$R = \Lambda_{g} + \overline{w}_{in}^{n}, \quad \overline{w}^{i} = w^{i} - w^{i} = g^{mn} \overline{\Gamma}_{mn}^{i} = g^{im} \overline{\Gamma}_{mn}^{n}, \quad (3)$$

уравноние (16) можно представить в виде

$$2(\varphi^{,n}-\varphi\overline{w}^{n})_{;n}-\varphi_{,n}\varphi^{,n}\,d^{\prime}/d\varphi=T.$$
(16')

Рассмотрим решения системы (1) с постоянным скалярным полем

$$\varphi = \varphi_0 = \text{const}, \tag{4}$$

когда она принимает вид

$$q_0 R_{ik} = T_{ik} - T_{g_{ik}/2},$$
 (5a)

$$\varphi_0 \overline{w}_{\mu}^n = -T. \tag{56}$$

Первое из этих уравнений не содержит фоновую метрику, и при $\varphi_0 = 1/8\pi G$, G—ньютоновская гравитационная постоянная, совпадает с уравнением Эйнштейна ОТО. Во втором же уравнение, помимо g_{11} и материальных переменных, фитурирует также τ_{11} . В общем случае эта метрика зависит от четырех произвольных функций, определяющих моординатную систему в фоновом пространстве—времени. Таким обравом, вопрос о существовании рештений БСТТ типа (4) сводится к следующему [4]: можно ли подбором этих функций удовлетворить единственному уравнению (56) при заданных решениях уравнений Эйнштейна? Покажем сначала, что котда обе метрики статические этого сделать нельзя. Действительно, в статическом случае, как показано в [3], на больших расстояниях от гравитирующей системы

 $\varphi = \varphi_0 \left(1 + r_0 / r + \dots \right),$

где

$$r_{0} = \frac{1}{4\pi \varphi_{0} \zeta} \int T_{i}^{i} \sqrt{-g} d^{n}x, \quad i = 1 - 3.$$

Так как, вообще говоря, $r_0 \neq 0$, то гравитационный скаляр не может быть постоявным.

В [4] найдены частные решения системы (5) для плоской космологической модели Фридмана. Например, одно из решений имеет вид

$$g_{00} = 1, \quad g_{ik} = \tau_{ik} = -b^2(t)\delta_{ik},$$

$$\tau_{00} = 1 - \left(\frac{db}{dt}\right)^2 \delta_{ik} x^i x^k, \quad \gamma_{ol} = -b \frac{db}{dt} \delta_{ik} x^k, \quad i, \ k = 1 - 3,$$

где b(l)-решение уравнений Эйнштейна (см., например, [5]).

Ниже мы рассмотрим решения (56) для сферически-симметричногораспределения гравитирующих масс, когда решения уравнений (5а) можно представить в виде

$$g_{ik} = \operatorname{diag}\left(e^{\nu}, -e^{\lambda}, -r^{2}, -r^{2}\sin^{2}\theta\right), \quad \nu = \nu(t, r), \quad \lambda = \lambda(t, r).$$
(6)

Из уравнений для v и λ следуют следующие неравенства [5]:

$$v' + \lambda' > 0, \quad v + \lambda < 0, \quad e^{\lambda} \ge 1, \quad e^{v} < 1,$$
 (7)

где штрих означает производную по r. Пусть фонсвая метрика γ_{ik} получается из метрики $\overline{\gamma_{ik}} = \text{diag}(1, -1, -\overline{r^2}, -\overline{r^2}\sin^2\overline{v})$ преобразованием координат

$$\overline{t} = T(t, r), \quad \overline{r} = \mathcal{R}(t, r), \quad \overline{\vartheta} = \vartheta, \quad \overline{\varphi} = \varphi.$$
 (8)

Она имеет вид

$$T_{ik} = T_{,i} T_{,k} - R_{,i} R_{,k}, \quad i, k = 0, 1,$$
 (9)

$$\gamma_{22} = -R^2, \quad \gamma_{33} = -R^2 \sin^2 \vartheta,$$

остальные компоненты равны нулю. Обратная метрика определяется из Т^{ім} Т_{ик} = 0ⁱ и равна

$$\begin{split} \gamma^{00} &= -\gamma_{11}/A^3, \quad \gamma^{11} = -\gamma_{00}/A^2, \quad \gamma^{01} = \gamma_{01}/A^4, \\ \gamma^{22} &= -1/R^2, \quad \gamma^{33} = -1/R^2 \sin^2 \vartheta, \\ A &\equiv (\gamma^2_{01} - \gamma_{00} \gamma_{11})^{1/2} = T_{,0} R_{,1} - T_{,1} R_{,0} \,. \end{split}$$

Для этих Т_{ік}, с учетом (б), уравнение (56) принимает вид

$$\widetilde{w}_{,0}^{0} + \widetilde{w}_{,1}^{1} + \left(\frac{2}{r} + \frac{\nu' + \lambda'}{2}\right) \widetilde{w}^{1} + \frac{\nu + \lambda}{2} \widetilde{w}^{0} = \\ = \frac{2 \cdot e^{-\lambda}}{r} \left(\nu' + \frac{1}{r}\right) + \frac{2}{r^{2}},$$
(10)

где

$$Aw^{0} = e^{-\lambda} (T'R'' - T''R') + + e^{-\nu} (\tilde{T}'R - TR' - \frac{2\dot{R}}{R}A) - \frac{2}{r^{2}}RT', Aw^{1} = e^{-\nu} (TR - TR) + + e^{-\lambda} (\tilde{T}'R' - T'R' + \frac{2R'}{R}A) + \frac{2}{r^{1}}RT,$$

а точка означает производную по времени. Прежде всего заметим, что уравнение (10) вмеет вакуумное решение

$$T(t, r) = t, \quad R(t, r) = r.$$
 (11)

В этом нетрудно убедиться, имея в виду, что в вакууме $\nu' + \lambda' = 0$. Таким образом, уравнения БСТТ имеют частные сферически-симметричные вакуумные решения

$$\gamma_{lk} = \operatorname{diag}(1, -1, -r^{2}, -r^{2}\sin^{2}\theta), \quad \varphi = \varphi_{0} = \operatorname{const}$$

$$g_{lk} = \operatorname{diag}\left(1 - \frac{r_{s}}{r}, -\frac{1}{1 - r_{s}/r}, -r^{2}, -r^{2}\sin^{2}\theta\right). \quad (12)$$

. Для нахождения частных решений (10) в области, занятой материей, можно вафиксировать функцию R(t, r) = r. В этом случае для T(t, r). получам уравнение

$$\frac{\dot{T}^{*}}{\dot{T}^{*}} + \frac{\dot{T}'}{\dot{T}} \left[\frac{2}{r} \left(e^{\lambda} - 1 \right) + \frac{\lambda' - \nu'}{2} \right] - \frac{T^{*}}{\dot{T}} \left(\frac{\dot{\lambda} - \dot{\nu}}{2} + \frac{\dot{T}}{\dot{T}} \right) - \frac{2e^{\lambda}}{r} \frac{T'}{\dot{T}} \left(\frac{\ddot{T}}{\dot{T}} - \frac{\dot{\nu} + \dot{\lambda}}{2} \right) = \frac{\lambda' + \nu'}{r} \left(e^{\lambda} - 1 \right).$$

В статическом случае оно имеет частное решение T = tF(r), где

$$2\frac{F'}{F} = -\frac{\lambda' - \nu'}{2} - \frac{2}{r}(e^{\lambda} - 1) \pm \left\{ \left[\frac{\lambda' - \nu'}{2} + \frac{2}{r}(e^{\lambda} - 1) \right]^{2} + \frac{4(\lambda' + \nu')}{r}(e^{\lambda} - 1) \right\}^{1/2}$$
(13)

Заметим, что вследствие (7) подкоренное выражение всегда положительно. В вакууме, наряду с F = const (верхний знак, см. (12)), получим также решение $F = \text{const}/(1 - r_s/r)$. Таким образом, мы показали, что уравнения БСТТ имеют сферически-симметричные решения

$$g_{00} = e^{\gamma}, \quad g_{11} = -e^{\lambda}, \quad g_{32} = \gamma_{22} = -r^{2}, \quad g_{33} = \gamma_{33} = -r^{2} \sin^{2} \vartheta$$

$$\gamma_{00} = F^{2}, \quad \gamma_{01} = tFF', \quad \phi, = -1 + t^{2L'2}, \quad \phi = \text{const},$$
(14)

где F определяется из (13), а v = v(r) и $\lambda = \lambda(r)$ являются решениями уравнений Эйнштейна. Отметим, что помимо решений (14) БСТТ имеет также сферически-симметричное решение с $\phi \neq \text{const}$ [2], т. е., в отличие от ОТО, здесь теорема Биркгоффа (см., например, [6]), неверна.

Автор выражает благодарность Л. Ш. Гритодяну за ценные обсуждения и поддержку.

Институт прияладных проблек фязики АН Республики Архения

SPHERICAL-SYMMETRIC SOLUTIONS OF GR ARE PARTIAL SOLUTIONS OF BSTT

A. A. SAHARIAN

It is shown that the equations of the Bimetric Scalar-Tensor Theory of Gravitation (BSTT) have spherical-symmetric solutions with constant scalar field which determine the same geometry of the curved space-time as in GR. The metric tensor of the background (flat) spacetime is also found.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Саарян, Л. Ш. Григорян, Астрофизика, 32, 491, 1990.

2. L. Sh. Grigeri n. A. A. Suhartan, Astrophys. and Space Sci., 167, 271, 1991.

З. М. Р. Авакян, Л. Ш. Гризорян, А. А. Саарян, Астрофазика, 34, 265, 1991.

4. А. А. Саарян, Л. Ш. Григорян, Тр. 1V семянара "Гравнтационная внергия и гравнтационные волны", Дубна, 1992, стр. 193.

5. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Теория поля, Наука. М., 1973.

.6. С. Вейнберг, Гравнгация и космология, Мир. М., 1975.

АС.ТРОФИЗИКА

TOM 36

МАЙ. 1993

выпуск 2

УДК 524.3:521.1

КИНЕМАТИКА ЗВЕЗД В ФИГУРАХ КОВАЛЬСКОГО-КАПТЕЙНА. III

Г. Б. АНИСИМОВА

Поступила 24 ноября 1992 Принята в печатя 25 декабря 1992

Пслярные дваграммы позиционых углов собственных движений звезд ярче $V = 9^{m}$ 0 из каталога SAO использованы для провержи методом χ^{2} гипотезы вланпсоидальности распределения скоростей азезд. Она подтвердилась в качестве первого приближения. Отклонения от ожого распределения имеют локальный характер и связаны с локальной структурой в окрестностих Солнца.

1. Введение. В первой части работы [1] предпринята модификация метода анализа полярных диаграмм позиционных углов собственных движений звезд или фитур Ковальского-Каптейна (ФК-К). Во второй части работы [2] метод применен для определения глобальных кинематических параметров: координат солнечного апекса L_{\odot} , B_{\odot} , оортов-ских постоянных галактического вращения A и ω , долготы вертекса l_{\bullet}

и отношений полуосей вллиткоида скоростей $\frac{\sigma_b}{\sigma_a}$ и $\frac{\sigma_c}{\sigma_a}$.

Близость полученных значений параметров к стандартным, найденным другими методами, свидетельствует о работоспособности метода ФК-К и о возможности использовать его в решении других задач эвездной кинематики. В настоящей, третьей части работы проведем проверку вллипсоидальности распределения скоростей звезд и рассмотрим ложальные особенности кинематики.

Гикотеза эллипсоидальности возникла при изучении ФК-К. Ее предложил в 1907 т. К. Шварцшильд [3] как обобщение сферического распределения Максвелла: та же экспоненциальная функция при эллипсоидальном аргументе вместо сферического. В дальнейшем Чандрасекар [4] пришел к выводу, что обобщить можно и функцию, сохранив эллипсоидальность аргумента. Отородников [5] назвал такое распределение чандрасекаровским. Виду функции можно придать ту или иную форму

с целью наиболее адекватного описания наблюдений. Например, Шапова [6] использовала форму функции Плашка, сохранив эллипсондальность аргумента. Независимо от конкретной формы чандрасскаровского. распределения, ее уровенной поверхностью является эллипсоид пространственных скоростей. Если ограничнъся тангенциальными скоростями (пекулярными), получим проекцию эллипсонда-эллипс. Дальнейшие огоаничения-наблюденными собственными движениями эвеэд на заданной площадке неба или их позиционными углами-приводят к некоторой деформации эллипса в качестве уровенной кривой распределения. Такими деформированными вланисами описывал ФК-К Шварцшильд. В [1, 2] обращоно внимание на то, что на малых площадках неба, где можно пренебречь различиями в систематических эффектах (в параллактическом движении, галактическом вращении и др.) деформации должены быть нечначительными и СК-К, для простоты, можно аппроксимировать вллипсом. Если окажется, что ФК-К мало отличаются от эллипсов, то тем самым будет оправдано данное приближение и, что важнее, подтвердится гипотеза эллипсоидальности распределения скоростей. Если же окажется, что расхождения многочисленны и существенны, то это может иметь различные объяснения.

Ниже покажем, что истина ближе к первому случаю.

Подтверждение эллипсоидальности распределения в отдельных утастках неба инчего не гогорят о его постоянство при порешеде от одним областей к другим. Этот вопрос, представляющий большой интерес для звездной динамики, рабно как для описания пространственно-кинематической структуры Галактики, также может решаться на основании анализа ФК-К.

Решение определяется характером изменсния элемснтов ФК-К в вависимости от координат площадок, соответствует ли он теоретически ожидаемому при постоянных параметрах эллипсонда скорестей и других систематических эффектов.

В данной статье показано, что существенные варнации лараметров имеются даже в раднусе сотси парсеков вокруг Солнца. При этом удается поставить в соответствие кинематические и структурные варнации.

2. О качестве аппроксимации ФК-К элипсами. Поставленные выше задачи решаются на основании данных наблюдений, описанных и обработанных в [2]. Они относятся примерно к 1/4 неба, разделенной на 44 площадки. Соотеетственно было построено 44 ФК-К по собственным движениям (µ) ярких звезд (до 9^m) из каталога SAO [7] Среднее число эвезд в площадке равно 422 при общем числе звезд в них 18569.

Каждая ФК-К с полюсом $0(\mu_z = 0, \mu_{\delta} = 0)$ содержит 12 секторов со средними позиционными углами $\varphi_i = 15^{\circ}(2i - 1)$. Длина вектора *i*-й

вершины фигуры пропорциональна числу звезя в секторе $n_i \Delta \varphi_i = 30^\circ$. Центр тяжести фигуры С имеет координаты (R_e, φ_e) . При параллельном переносе начала координат к точке С полярные координаты вершии становятся (δ_i, φ_i) . Если φ_i отсчитывается от круга склонения центра площадки (где $\mu_b > 0$) в стороку росте почных москомдиний (и μ_e), то φ_i отсчитывается от параллели (где $\mu_e > 0$) по часовой стрелке к радиусу-вектору δ_i . (δ_i, φ_i) можно выразить через наблюдаемые координаты (n_i, φ_i) и координаты точки С:

$$\delta_i \cos \gamma_i = n_i \sin \varphi_i - R_e \sin \varphi_e,$$

$$\delta_i \sin \gamma_i = -n_i \cos \varphi_i + R_e \cos \varphi_i$$
(1)

нли

$$[\delta_i(\mathbf{v}_i)]^2 = n_i^2 + R_e^2 - 2n_i R_e \cos{(\varphi_e - \varphi_i)}.$$
 (2)

Ниже используется угол ψ_i относительно галактической параллели, имеющей позиционный угол ϕ_i . C_{γ_i} они связаны соотношением

$$\psi_i = 270^\circ + \varphi_i - \gamma_i; \quad \delta(\psi_i) \equiv \delta(\nu_i). \tag{3}$$

Следует заметить, что если исе $\Delta \phi_i$ одинаконы (=30°), то соответствующие им $\Delta v_i = \Delta \phi_i$ варьируются в зависимости как от (n_i, ϕ_i) , так и от (δ_i, γ_i) . ФК-К, т. е. совокупность векторов $\delta_i(v_i)$ в данной площадке, аппроксимируем эллипсом с центром $C(R, \phi_i)$ и элементатими: δ_i — малой полуосью, e — вкоцентров втатом и ϕ_a — позиционным углом большой полуоси. Радиус-вехтор эллипсом в направлении v_i равен

$$\delta_{Bl} = \delta_b \left[1 - e^2 \sin^2 \left(\nu_l - \varphi_a \right) \right]^{-1/2}.$$
(4)

При определении ов учитываем равенство площадей вллипса и ФК-К:

$$\pi \,\delta_{\delta}^2 \,(1-e^2)^{-1/2} = \frac{1}{2} \,\sum_{i=1}^{12} \,n_i n_{i+1} \sin \left(\varphi_{i+1} - \varphi_i\right). \tag{5}$$

Значения всех пяти элементов в каждой площадке представлены в [2]. По (2) и (5) находим разности

$$\Delta \delta_i = \delta_i - \delta_{Ei}$$
 при $i = 1, 2, ... 12.$ (6)

Качество аппроксимации определяем по критерию Х2:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{12} (\Delta \delta_i)^2 / \delta_{Ei} . \qquad (7)$$

Учитывая, что из данных наблюдений определялись 5 параметров, число степеней свободы

$$f = 12 - 1 - 5 = 6.$$

Bce $\delta_i > 10$.

В табл 1 приведены значения χ^2 и *Р*—вероятности для наблюденного χ^3 превысить при данном *f* табличные χ^2_p из [8]. Координаты центров пронумерованных площадок содержатся в [2].

Таблица 1

N паощ	λ * (f==6)	P(%)	χį	$ P_1(\%) $	f	N паощ.	χ² (f=6)	P(%)	X2 1	P1(%)	ſ
1	11.39	8	7.26	20	5	23	15.27	2	8.77	11	5
2	14.47	3	8.36	15	5	24	3.42	76			
3	24.64	0.1	12.46	1.5	4	25	8.66	19	1		6
4	14.43	3	4.67	46	5	26	6.50	40	1.87	-	
5	7.65	27	-			27	12.35	5	8.15	16	5
6	9.14	17				28	11.90	6	8.6	16	5
7	9.37	16				29	5.57	48			
8	4.39	63				30	7.84	25			
9	3.56	74				31	▶.19	17	1		
10	8.01	- 24				32	8.46	20			
11	5.00	55		1.00		33	8.91	18			
12	4.74	58				34	6.05	48			
13	10.06	13				35	6.69	39			
14	4.78	58				36	8.66	19			
15	14,21	3	5.34	26	4	37	10.74	10			
16	9.26	16				38	17.77	1	8.54	14	5.
17	6 99	34				30	, 8.43	26			
18	9.54	11				40	10.15	13	-		
19	7.92	25				41	7.65	27			
20	12.33	5	7.63	18	5	42	10.53	12			
21	6.42	39		1		43	6.53	39			
22	6.05	43				44	22.24	0.1	11.03	5	4
		2							5.48	25	5

Сопоставление наблюдаемых ФК-К С аппрс. Симирующими их эллипсами методом х²

Для 11 ФК-К, где P малы (<8%), получен второй вариант с исключением сектора с максимальным отношением $(\Delta \delta_i)^2/\delta_{Ei}$ а для.

площадок № 3, 15 и 44—даже двух секторов. Заметим, что из 11 площадок области с наименьшими P, 5 площадок (№ 1-4 и 44) расположены компактно на $l>30-45^\circ$.

Табл. 1 показывает неплохое (P = 10-20%), а во многих случаях хорошее и даже очень хорошее (P > 50%) согласие. Низкое согласие обнаружено лишь в площадке № 3, в которую попадает алекс солнечного движения. Среднее по 43 площадкам $P \approx 30\%$.

Таким образом, по изученной четверти неба гипотеза вллиптичности распределения направлений тангенциальных текулярных движений не отклоняется. Как показано в [1], это соответствует вллипсоидальности распределения пространственных скоростей. Речь идет об аргументе функции. Вид самой функции в работе не изучался.

Одновременно подтвердилась малость деформаций эллипсов в большинстве направлений у в использованных площадках неба.

Строго говоря, табл. 1 означает приемлемость гипотезы вллипсоидальности в качестве первого приближения к аргументу истинното распределения скоростей.

3. Связи влементов ФК-К с глобальными кинематическими параметрами и их вариации. Допустим, что в ридиусе сотен парсеков вокруг Солнца кинематика эвезд определяется набором постоянных параметров—отраженного движения Солнца (X, Y, Z), вращения Галактики (Λ , ω) и вланисонда скоростей (l_{v} , b_{v} , $\Delta_{s} = \sigma_{b}^{*}/\sigma_{a}^{2}$, $\Delta_{c} = \sigma_{c}^{2}/\sigma_{a}^{2}$). Испольвуем такие их комбинации, которые в проекции на направление центра площадки (l, b) можно связать с элементами ее ФК-К. Ими могут быть известные выражения для средних тангенциальных скоростей в направлениях галактической параллели и крута широт точки l, b), [9].

$$v_{l} = X \sin l - Y \cos l + 2 \operatorname{Arcos}^{2} l \cos b - \omega r \cos b, \qquad (8)$$

$$\overline{v}_{b} = X \cos l \sin b + Y \sin l \sin b - Z \cos b - \frac{1}{2} Ar \sin 2l \cdot \sin 2b,$$

а также дисперсий пекулярных скоростей в тех же направлениях [1], с обозначением $\lambda = l - l_v$:

$$\overline{v}^2 = \sigma^2 \left(\sin^2 \lambda + \Delta_b \cos^2 \lambda \right) \tag{9}$$

$$\overline{\sigma}_{b}^{2} = \sigma_{a}^{2} (\cos^{2} \lambda \sin^{2} b + \Delta_{b} \sin^{2} \lambda \sin^{2} b + \Delta_{c} \cos^{2} b) -$$
(19)

и другие соотношения.

Г. Б. АНИСИМОВА

С их помощью выражаем все элементы эллипса: а) Прямоутольные координаты центра ФК-К (ξ_{e} , η_{e}) пропорциональны: $\overline{v_{\ell}}$ и $\overline{v_{b}}$ с коэффициентом q

$$z_{e} = R_{c} \cos \vartheta_{e} = q \overline{\vartheta_{l}}, \tag{11}$$

$$\eta_e = R_e \sin \psi_e = q \overline{\psi_b}, \quad rAe \quad \psi_e = \varphi_l - \varphi_e,$$

откуда $|R_c(l, b)|^2 = K_c^2 - \zeta^2 + \eta^2 = q^2 (\overline{v_l^2} + \overline{v_p^2})$ (12)

$$\psi_{c}(i, b) = \psi_{c} = \operatorname{arc} \operatorname{tg}_{i_{c}}/\varepsilon_{c} = \operatorname{arc} \operatorname{tg}_{v_{i}}/\overline{v}_{i}.$$
(13)

b) Ив сфрического треутольника (полюс Галактики, вертекс, центр площадки) с обозначением $\varphi_s = \varphi_1 - \varphi_a$ —для угла наклона большой оси ФК-К к параллели—можно получить:

$$tg\psi_{a}(l, b) = \sin b/ig k - \cos b tg b_{a}/\sin i.$$
(14)

Если $b_n = 0$, то, как в [1],

$$\psi_{a}(l, b) \equiv \psi_{a} \operatorname{arc} \operatorname{tg}(\sin b/\operatorname{tg} i).$$

с) Запишем (4) для направлений 5 и п и возьмем их отношения:

$$\frac{\delta_{\eta}}{\delta_{z}} = \sqrt{\frac{1 - e^{2} \cos^{2} \psi_{a}}{1 - e^{2} / \sin^{2} \psi_{a}}}$$
(16)

По теореме о снязи радиусов-векторов фигур распределений тангенциальных скоростей и их направлений, [1]

$$\hat{\alpha}_{\eta}/\hat{\alpha}_{z} = \overline{w_{b}^{2}}/\overline{w_{l}^{2}} \Longrightarrow k(l, b) \equiv k.$$
(17)

Из сочстания (16) и (17) найдем эксцентриситет:

$$[e(l, b)]^{2} \equiv c^{2} = (1 - k^{2})/(1 - (k^{2} + 1)\sin^{2}\psi_{a}).$$
(18)

Геометрический смысл имеют 0<e<1. Из условия $e^2 < 1$ следует, что

$$k^2 > tg^2 \psi_a$$
 или $k > |tg \psi_a|,$ (19)

с другой стороны, числитель и знаменатель должны имсть одинаковые

внаки, что выполняется не при любых k и . Следовательно, имеются ограничения и на Δ, и Δ. d) Пятый элемент д —малая полуось эллипса находится из

 $\delta_{a}(l, b) = \delta_{b} = \delta_{b} \sqrt{1 - e^{2} \cos^{2} \gamma_{a}}.$ (20)

при подстановке

$$b_i = p v_i^2. \tag{21}$$

по упомянутой теореме, Р-коэффициент пропорциональности.

Приняв в качестве глобальных кинематических параметров либо стандартные значения, основанные на многих определениях, [9], либо не сильно от них отличающиеся, найденные в [2], получим зависимости Y_e , u е только от координат центров площадок (l, b), а R_e и M_e —от них же, но с точностью до множителей q и p.

На рис. 1 проведены такие теоретические зависимости от l для четырех зан по широте со средними b = 22.°5, 37.°5, 52.°5 в 75°, если для параметров вриняты:

$$X = 10, Y = 15, Z = 7 \text{ Km/c};$$
 (22)

$$A = 15 \text{ km/c/knk}, \omega = 20 \text{ km/c/knk}$$

 $l_v = 30^\circ$ (для $b > 30^\circ$), $l_v = 40^\circ$ (для $b < 30^\circ$) при $b_v = 0$ (сплошные кривые); или второй вариант для всех зоп: $l_v = 20^\circ$, $b_v = 20^\circ$ (пунктирные кривые); $\Delta_b = \Delta_c = 0.55$.

Разными значками, в эленсимости от b, показаны значения элементов ФК-К по данным из [2].

И рис. 1а видно, что утол спределяемый по пятн парамстрам-(X, Y, Z, A, ω), на большом интервале *l* достаточно хорошо следует теоретической кривой (13). Сотласие улучшается с увеличением широты. Средне-квадратичное отклонение здесь $\varepsilon(\psi_c) = \pm 6^\circ 5$.

По сравнению с этим на участке $b < 60^{\circ}$ и l > 0 или $l > 30^{\circ}$ отклонения от кривых довольно регулярны и велики, в отдельных точках составляют десятки градусов. Здесь $\varepsilon(\psi_{*}) = \pm 22^{\circ}$.



Рис. 1. Теоретические и наблюдаемые зависимости элементов эллипсов (ψ_c , R_c , ψ_d , e, ϕ_d) от галактической долготы в четырех широтных вонах ($\bullet -\overline{b}=22^\circ$, 5, $\times -\overline{b}=37^\circ$, 5, $\circ -\overline{b}=52^\circ$, 5, $\nabla -b=75^\circ$).

Из рис. 1b видно, что второй угол, 🥠 определяющий положение вертекса, также хорошо и почти в том же участке неба следует сплошной теоретической кривой (15) (при b =0) и отклоняется от нее в остальной части, где / ≈0, как отмечалось в [2]. Лучшее общее соответствие наблюдениям показывает пунктирная кривая '(14) (при $l_{=}=20^{\circ}, b_{=}=20^{\circ}$). В первой части, на $l < 30^{\circ}, \varepsilon(\psi_{e}) = \pm 7^{\circ}.4$, во второй части, на l > 30, $\epsilon(\gamma_n) = \pm 15^{\circ}.4$.



Ряс.1. (продолжение).

Неплохое согласие показывают эксцентриситеты е (онс. 1d). В. каждой зоне на b>30° примерно половина точек потедает на кривые-(18), еще несколько-недалеко от кривой. Наибольшие отклонения видны опять же на l>30°, что связано главным образом с принятыми l_v , отличающимися от реального l, в этой области. Большие отклонения откривых в площадках № 13 и № 17 связаны с вскрытыми нами в [10] локальными особенностями движений звезд с V(8^m5-9^m0). Если ограничиться в этих площадках звездами с V<8^m, 5, то их е также окажутся вблизи кривых.

Согласне характеризуют: на $l < 30^{\circ} \epsilon(e) = \pm 0.066$, что на порядок меньше самих e, а на $l > 30^{\circ} \epsilon(c) = \pm (0.119 + 0.183)$.

Для проведения теоретических кривых $R_c(l, b)$ и $\delta_b(l, b)$ по (12) и (20, 21) надо было подобрать коэффициенты q н p, обеспечивающие удовлетворительное сотласие с наблюденными элементами по [2].

На рис. 1b использованы q = 0.054; 0.047; 0.045; 0.044 и на рис. 1c p=0.014 и 0.013—при переходе от малых широт и большим. Первые обеспечивают приблизительное совладение в средних частях кривых, наибольшее различие видно в крайних, в согласии с ситуацией для других элементов, описанной выше.

Варнации в б₆ меньше, чем в других элементах, но и они подтверждают общие черты.

Итак, во-первых, рис. 1 свидетельствует о том, что все элементы ФК-К имеют такой же ход с (l, b), как предсказывает тлобальная кинематика в окрестностях Солица. Это означает реалистичность численных вначений элементов и допустимость их использонания при решении мнотих задач.

Во-вторых, полуширина секторов $\frac{1}{2} \Delta \varphi$ в ФК-К, равная 15°, в два раза превышает $\varepsilon(\psi_e)$ и $\varepsilon(\psi_e)$ в области l < 30° и близка к значениям среднеквадратичных погрешностей для l > 30°. Из втого «ледует, что ошибки собственных движений явеяд не поворачивают существенно ня центр тяжести ФК-К, ни его большую ось, оставляя их в наблюдаемом секторе или, в крайнем случае, перемещая в соседний.

В-тревтих, на $l > 30^{\circ}$ все элементы ФК-К систематически отличаются от теоретически предсказанных при постоявных параметрах (22). Это следует и из среднеквадратичных отклонений, в 2-3 раза больших, чем в области $l < 30^{\circ}$. По-видимому, по обе стороны ог $l \approx 30^{\circ}$ кинематические параметры различаются.

Иначе говоря, глобальная кинематика тесно связана с локальной, и вто требует пристального статистического изучения последней, доступного черев ФК-К.

Заметим, что проведенное в этом разделе рассмотрение противоположно проведенному в [2], где по элементам ФК-К, одним из возможных опособов определялись тлобальные кинематические параметры. Однако, так найденные параметры зачастую имеют значительные ср. кв. ошнбки, как, например, оортовская постоянная А. Поэтому подстановка в уравнения связей «безошибочных» стандартных параметров имеет несомненный смысл как для установления правдоподобности системы элементов ФК-К из [2], так и для выявления вариаций в кинематике.

Коль скоро обе эти задачи оказались разрешимыми для 1/4 неба, рассмотренной здесь, желательно продолжить аналогичное рассмотрение для остальных 3/4 неба.

КИНЕМАТИКА ЗВЕЗД. III

4. Отклонения от эллипсов. В рамках эллипсондального распределения скоростей отклонения от аппроксимирующего ФК-К эллипса теоретически неизбежны. Вопрос в том, каковы они, совпадает ли наблюдаемая деформация с ожидаемой?

В [1] дан пример сопоставления эллипса и кривой Шварцшильда с наблюдаемой ФК-К для большой площадки неба (большей, чем наши). Из приведенного там рисунка (рис. 2, [1]) видно, что расхождения между кривыми не превышают 0.1 °₆.

В упомянутых же выше 11 площадках (25% то всех рассмотренных) один-два сектора ФК-К так сильно влияют на величину χ^2 , что либо отклоняют применимость приближения эллипса на данной площадке, либо сильно занижают уровень вероятности P, либо вовсе отклоняют саму гипотезу эллипссидальности скоростей. Поэтому важно проанализировать наибольшие из членов, входящих в χ^2 , или наибольшие отклонения от эллипсов $\Delta\delta$ как в этих площадках, так и в остальных.

Естественно, что в ати, как и во все другие члены, кроме теоретической деформации, входят случайные флуктуации в δ_{z} с характерной величиной $\pm \sqrt{\delta_{zi}}$ и случайные ошибки в $\delta_{i}(\gamma_{i})$, связанные с ошибками наблюдений угла Φ_{i} . Статистический аффект последних, в принципе, может быть установлен и исключен. Однако асимметричность распределения $\Delta \phi$, показанная в [2], не позволяет непосредственно использовать такие способы, как Эддиватона [11], Кутузова [12] и др. Независимо от того, есть ли более подходящие равработки, воспользуемся ампирическим подходом.

Он основан на допушении, что в данной площадке положительные в отрицательные случайные ошибки и флуктуации, включая деформации, в среднем, одинаковы. А поскольку нанбольшие $\Delta\delta$, как правило, оказались положительными, то неслучайными будем считать такие $\Delta\delta > 0$, которые по величине превышают максимальные отрицательные отклонения. Обозначим их $\Delta\delta_{\mu}$. В направлении $v_{\mu \ell}$ в экваториальной системе или $\psi_{\mu \ell}$ в галактической системе,

$$\Delta \delta_{\rho}(\mathbf{v}_{\rho i}) \equiv \Delta \delta_{\rho}(\psi_{\rho i}) > |\Delta \delta < 0 \text{ max} > \sqrt{\delta_{E}(\psi_{\rho i})}.$$
(23)

В табл. 2 собраны такие Δb_{ρ} со всех площадок. В связи с переменностью ширины секторов $\Delta \psi_i$ они пересчитаны на 30°-ные интервалы $\Delta \psi_i$ со средними $\psi_{\rho i}$, указанными в скобках. Номер строки *i* в каждой широтной воне соответствует номеру интервала Ψ_i . Фигурные скобки охватывают совокупность исходных интервалов, по которым найдево Δb_{ρ} . 7—47

.....

Таблица 2

ЗНАЧЕНИЯ 43, (4,) В 30°-НЫХ ИНТЕРВАЛАХ 4,

5	N	75°	45°		15°	345°	315°
75°	5 6 9 10 12	13.4(214°) 6.7(312)	{ 7.9(23 9.9(70	6°))	9.4(251).	9.0(147)	14.1(313)
Б	1	67°, 5	52°. 5	37°. 5	22°.5	7.5	352°, 5
539 6	12 1 2 4	7 7(100)	7 1/049				11.3(9°)
34.3	5 6 7 9 10	9.1(60)	5.1(103)		5.7(12	12).	7.1(123)
	12 1 2 3		14.6(1°)		16.2(8	²),	2)
37" 5	4 5 6 8 9	13.0(159)	7.2(94)		7.5(11	(2) 6.1(118)
22°. 5	11 12 1-4 6 7 8 9		7.3(179)	9.5(224)		9.8(42°)	7.9(216).

КИНЕМАТИКА ЗВЕЗД. III

. . .

.

Таблица 2 (продолжение)

1

285°	255*	225•	195°		
12.9(348) 8.2(205)	34.4(5)	19.2(40)	12.6(74)	19470	
337°. 5	322°, 5	307°. 5	292°. 5	277°.5	262° 5
				-	
{ 14.0(330)	{ 11.0(306)	9.3(325)		11.8(344)	7.8(13)
5.0(158)	6.4(174)				4.7(231)
	•				
				1.11	
	10.9(317)	16.0(326)	17.5(349)	100	
5.7(155)	6.8(172)	7.5(190)	6.7(204)	1	
{ 19.3(26°)				1	
l 9.1 (300)			{ 13.6(40) 9.1(343)	(16.4(71°)	
6.3(191)	4.8(206)		4.8(199)		6.7(198)
				1 5	1 1 1 1 1 h

Приближенный метод получения Δ^{2}_{p} , как и средних Ψ_{pl} , слособен дать лишь грубую картину максимальных отклонений от эллипсов. Однако в ней можно будет усмотреть черты систематичности, что повысит ее значение.

Из 44 площадок в табл. 2 восемь оказалось незаполненными, т. е. их $\Delta\delta$ находится в пределах флуктуаций и случайных ошибок или распределення δ согласуются с вллиптическим. Причем, в шести случаях—с нанбольшими P, по табл. 1. В 18 площадках в одном направлении, в 16—в двух, а у 2 площадок—даже в трех направлениях илюются не случайные $\Delta\delta_{\rho}$.

Таким образом, табл. 1 и 2 говорят о том, что в большинстве площадок распределение скоростей представимо суммой эллипсоидального для основной массы звезд и некоторото дополнения—для нескольких процентов. Правда, эллипсоиды по обе стороны от $l \approx 30^{\circ}$ не одинаковы.

Поскольку все выделенные $\Delta \delta_{\rho} > 0.1 \delta_{b}$, они мало связаны с теоретической деформацией δ_{E} . Предположим теперь, что дополнения $\Delta \delta_{\rho}$ обяваны потокам звезд на фоне вллипсоидального распределения пекулярных скоростей. В первую очередь, интересны большие потоки, присутствующие в нескольких соседних площадках. Увидеть их летче на рис. 2, где $\Delta \delta_{\rho}$ представлены векторами $\Delta \delta_{\rho,i} = (\Delta \delta_{\rho,i}, \psi_{-i})$, отнесенными к центрам площадок.



Рис. 2. Наибольшие отклонсяни от влаписов $\Delta l_{\rho}(\Psi_{\rho})$, отнесенные к центрам илондадок. Прерывнстыми линиями показаны Петля I Петля IV.

В движении близких к нам звезд должно проявляться явление перспективы. Потоки параллельно движущихся в пространстве звезд.

в перспективе расходятся из радианта или сходятся к антираднанту. С учетом этого фактора одни векторы проведены жирными линиями (на $l=285\div345^{\circ}$), другие—тонкими, как на $l=330\div30^{\circ}$, треты—пунктирными. Каждая из этих групп—возможный поток. Точка в центре площадки означает отсутствие потока. Площадки без, потоков образовали две группы. В каждой по три траничащих между собан площадки и близкая к илм четвертая. Группа на $l=15-45^{\circ}$ размежевала области, различающиеся преимущественным направлением векторов, изображенпых на рис. 2 разными линиями.

Мы полагаем, что ґлубже разобраться в этой довольно сложной кинематической картине поможет учет, локальной структуры. С этой целью на рис. 2 прерывястыми линиями проведены схематичные траницы Петель I (ее северного полушария) и IV, имеющих, кроме радио- и рентгено-излучающих составляющих (нейтральный, ионизованный и электронный газы),—чисто эвездные составляющие. Петли имеют расстояния изучаемых в данной работе звезд [13].

Одни потоки оказались почти целиком внутри петель, другие—внеих, а между ними—на границе петель—площадки без потоков (точки на рис. 2).

С помощью формулы, аналогичной приведенной в [9], для каждого потока вычислены координаты радианта (L_r, B_r) или антирадианта (L'_r, B'_r) .

$$\sin (L_r - i) \operatorname{tg}_{+_r} = \cos b \operatorname{tg}_r - \sin b \cos (L_r - i)$$
(24)

или в виде, удобном для вычислений методом наименьших квадратов:

$$tg L_r[\cos l tg \psi_{pi} + \sin l \sin b] - \left[\frac{tg B_r}{\cos L_r}\right] \cos b =$$

$$\sin l tg \psi_{pi} - \cos l \sin b.$$
(25)

Здесь (l, b) относятся к центру площадки, в которой поток направлен к

В качестве неизвестных выступают tg L_r и [tg $E_r/\cos \tilde{L}_r$], по которым затем вычисляются сами углы. Поскольку $\Delta \delta_r (\psi_{pr})$, заменяющие индивидуальных членов потока, не сильно различаются по величине, в систему (25) все *п* уравнений введены с одинаковыми весами.

Результаты приведены в табл. 3. Они относятся либо к потоку, либо к его части, что отражено числом площадок n и интервалом их координат. N получены суммированием $\Delta \delta_{\rho}(\psi_{ij})$ по всем n площадкам.

Г. Б. АНИСИМОВА

Они дают лишь ориентировочное представление об истинной численности эвеэд в каждом потоке, если иметь в виду приближенный метод выделения $\Delta \delta_{a}$. К счастью, величины $\Delta \delta_{a}$ в решении не испольвуются.

Таблица З

N	Поток	Область (1)	L _r	В,	Ľ,	B',	n	N
1	Петан I	>\$15°	20°. 1±5°. 9	28°. 5±6°. 2			12	78
2		<315°			216°. 1±6°. 7	-10°. 7±5°. 3	6	39
8		<30°	-8.2+8.6	25.9+2.9	+	1	5	31
-4	63.25	<30°	22.1+4.2	25.0+4.8	and the second	111-1	18	117
5	?	(285—30°) &<60°	-		2 4.5 <u>+</u> 21.9	+34.2 <u>+</u> 9.3	7	105
6	Потан IV	(270÷345°)			355°, 2 <u>+</u> 10°, 1	+4°. 4±14°. 6	10	123
7	Поля ?	(270÷30°) \$<60°			53°. 8-1-20°. 6	+39°0±21°2	8	122
8	100	(30°÷75°)	al and the		47.5+4.2	$+53.8\pm12.9$	8	73
9		(255°÷75°) b(15°÷90°)			48.0+3.1	+45.8±10.8	16	195

координаты радиантов или антирадиантов потоков

Наиболее простым представляется движение потока шетли IV, вследствие относительно малой ее площади на небе. У большинства ее площадок и близких окрестностей вектора $\Delta\delta_p$ направлены с северозапада на юго-восток (сплошные жирные линии). Они сходятся к $L_r^* \approx 0$, $B_r^* \approx 0$ (правда, с большими ср. кв. ошибками), т. е. в направлении к центру Галактики.

На площади Петли I можно усмотреть два потока. В потоке, представленном пунктирными линиями, одна часть находится ближе к радианту (n=12), другая—ближе к антирадианту (n=6). Поэтому поток рассмотрен как по частям, так и полностью (n=18). Кроме того, из него выделено 5 площадок с $b < 30^{\circ}$. Решения № 1 и 4 практически одинаковы. Решение № 3 совпадает с ними по B_r , а по L_r отличается на 20°, если не больше. На это решение, возможно, влияет поток В-звезд Скорпиона-Центавра. Решение № 2 от общего решения отличается примерно на 10° в каждой координате.

При оценке расхождений следует учитывать такой фактор, как условное отнесение $\Psi_{i,s}$ к серединам 30°-ных секторов ФК-К, хотя поток мо-

жет быть ближе к одному из краев. Роль таких ошибок тем большая, чем менише п.—число площадок, по которым получено решение. В свете этих обстоятельств едва ли следует придавать большое значение расхождениям между решениями 1-4.

Другой поток представлен тонкими лидиями. Его векторы больше, чем у первого потока, направлены в сторону увеличения долготы. Их антирадиант по решению № 5 для 7 площадок достаточно хорошо совпадает с радиантом первого потока, хотя B_r и B_r —лишь в пределах ср. кв. ошибок.

Это может быть основанием для признания двух встречних потоков у Петли I. Однако имеются и сомнения. Они сводятся к тому, что не во всех площадках имеются оба всктора, а где имеются, то пунктирный и тонкий векторы не всегда противоположно направлены. Кроме того, в пределах больших ср. кв. ошибок возможны иные интерпретацин. Так, присоединив к 7 площадкам еще одну (№ 30), правда, далеко отстеящую от остальных, получаем решение № 7, которое довольно близко к решению № 8, относящемуся к звездам поля. Решение № 9 объединяет их. В силу двойственности интерпретация решения № 5 и № 7 отмечены в табл. 3 вопросительными знаками.

Таблица 4

	Поток	Пета	u I	Потан IV		Поток поля					
№ площ,	Δψ	No	Δ.μ	<i>3.</i> €	$\Delta \psi'$	N₽	Δψ	N	Δψ	No	Δψ
10	(24)	22	-12	10	(71)	18	(16)	1	24	10	-31
11	(33)	23	2	12	0	20	(36)	2	11	12	-7
13	-21	25	1 -2	13	12	22	-3	3	(82)	13	-42
15	25	27	-4	15	-13	25	-5	4	-11	15	-28
17	-17	28	4		1	25	9	5	19	r (.3)	The store of
18	-2	33	-17	17	35	26	-2	42	-17	17	-7
19	-20	35	3	18	1	27	-9	43	14	18	-18
20	0	39	11	27	8	28	3	44	(39)	27	-13
21	12	41	14	1	2 2	32	-9		-	30	12
						40	1		1		

ЗНАЧЕНИЯ РАЗНОСТЕИ ДФ,

Правильность отнесения $\Delta \delta_{\rho}$ к тому или иному потоку иллюстрируется табл. 4, основанной на обратном пересчете $\psi_{\rho t}$ по формуле (24), когда используются решения из табл. 3.

R. B. G. H. IL .

$$\Delta \psi_{pl} = \psi_{pl} \cos \delta_{\lambda} - \psi_{pl} \cos \delta_{\lambda}$$
 (26)

В скобки заключены ненадежные значения, связанные с делением на sin $(L_r.-l)$, близкие к нулю. В большинстве остальных случаев $\Delta \psi_{pl}$ не превышают ширины сектора ФК-К (=30°). Для цетель I и IV почти в 3/4 случаев $\Delta \psi_p$ меньше полуширины сектора. Это можно рассматривать как положительный результат проверки гипотезы потоков, связанных с втими петлями. Для спорного случая лучшее согласие показывает $\Delta \psi_p$. позволяющее отцести этот поток к Петле I как встречный к первому.

Что касается потока поля, то большой разброс Δ_{2}^{+} вероятно связан с меньшей однородностью, если здесь не один поток, а несколько, о чем говорят и неучтенные в табл. 3 векторы.

5. О втором приближении физуры скоростей. Учет добавок к валипсам в рамках ФК-К, а в конечном счете к валипсоидам пространственимх скоростей, приводит ко второму приближению для распределения. Выше каждая большая добавка в пределах площадки ($\Delta\delta_{\star}$) трактовалась как локальный поток. Рис. 2 показывает, что потоки относятся к вначительно большим областям—к петлям, имеющим радиусы 100— 150 пк. С другой стороны рис. 1 показал, что в пределах петель I и IV парамстры валипсоида довольно постоянны и отличаются от параметров в окрестном поле. Поэтому важно выяснить, как сочетаются характеристики первого приближения для большинства звезд и значимото отклонения от него, касающегося нескольких процентов звезд. Данная работа позволяет провести аналия, главным образом, для Петли I, а точнее—для ее северного полушария.

Два встречных потока летли имеют приблизительно одинаковые суммарные численности эвезд N, хотя наблюдаются на разном числе площадок n. Сопоставим координаты раднанта и антирадианта втих потоков (табл. 3).

 $L_r = 22^{\circ} 1 \pm 4^{\circ} 2, \quad B_r = 25^{\circ} 0 \pm 4^{\circ} .8,$ $L_r' = 24^{\circ} .5 \pm 21^{\circ} .9, \quad B_r' = 34^{\circ} .2 \pm 9^{\circ} .3.$

с координатами вертекса вллипсоида для l<15°. В решения уравнения (14) по 23 площадкам получено:

$$l_{v} = 18^{\circ}.3 \pm 4^{\circ}.0, \quad b_{v} = 20^{\circ}.7 \pm 2^{\circ}.7.$$
 (27)

Выше при обратной подстановке мы использовали округленные значе-

ния $l_o = b_o = 20^\circ$. В пределах ср. кв. сшибок $(L_r, B_r) \bowtie (L'_r, B')$ совпадают с (l_o, b_o) . Это означает, что движение потоков происходит вдоль большой оси вллипсоида.

Дапная интересная ситуация допускает разные трактовки.

Первая использует геометрический принцип Шварцшильда [3], перешедшего от теории двух потоков Каптейна к эллипсоидальной теории. Ныне обнаруженные дяа потока сверх эллипсоида вместе с последним можно истолковать как некоторую общую возможно симметричную фигуру более высокого порядка. Пока нет смысла уточнять ее форму. Скажем лишь, что ее проекции—(ФК-К)—более вытянуты, чем вллипсы с элементами (δ_{b} , γ_{a}). В этом случае принимавшиеся за потоки добавки оказываются псевдолотоками. Числа звезд в них возможно значительно больше, чем по табл. 2, зафиксировавшей максимальные от клопения от эллипсов. «Надвалипсоидальность» нельзя считать бесспорной. К ранее отмеченным сомнениям в реальности встречного потока, лишь уактично сиятым, можно присоединить другие: неравенство добавои к влаяпсам от исрвото и второто потоков, в каждой площадке (Δ_{a})...> (Δ_{μ});, отсутствие векторов (Δ_{μ})л сольших широтах и на площади Петли IV.

Альтернатиено два потока можно трактовать как круговой ввездный поток, если не вращение всей Петли I вокруг оси, перпендикулярной линии вертексов. Наклон линии вертексов к плоскости Галактики либо такой же, как Пояса Гулда, либо немного больший. В этой трактовке пунктирные векторы вероятно относятся к передней стороне оболочки Петли I, а сплошные тонкие векторы-к обратной стороне. Об этом говорят отсутствие вгорого потока на больших широтах и большая, чем у первого потока, поверхностная плотность (в предположении одинаковой объемной плотности). Если тот же поток погибает с обратной стороны и более далекую Петлю IV, пересекающуюся с Петлей I, то он уже не наблюдаем по ярким звездам. Еще один артумент к единому потоку-отсутствие заметных отклонений от эллипсов у краевых площадок петли (точки на рис. 2), т. к. здесь вращение происходит по лучу эрения, а не в картичной плоскости. В площадках, близких к краевым, векторы | $\Delta \delta_p$ | 1 1 | $\Delta \delta_p$ | 11 могут быть не противоположно направленными, если ось вращения немного наклонена к картиной плоскости.

Поток Скорпиона-Центавра, связанный с ассоднацией, по всей вероятности, находится внутри петли, в плоскости ее симметрии.

Круговой поток не противоречит и обстановке в близких окрестностях петель. В [14] показано, что очень плоский локальный комплекс рассеянных эвездных скоплений, принадлежащий Поясу Гулда, окружает вону пстель I+IV, равно как зону петель II+III, и еще одной—третьей зоны. В самих петлях скоплений нет. Скопления комплекса движутся вдоль узких коридоров между зонами, преимущественно в одном направлении (в сторону уменьшения долгот). Если некоторое скопление пересечет гранищу зоны и окажется внутри приливного радиуса массивной петли ($M \approx 10^6 M_{\odot}$), то будет разрушено [15]. Освободившиеся звезды присоединятся к оболочке петли и будут двигаться потоком в ее гравитационном поле. Такой процесс может создавать и самою звездную составляющую петель, и ретулярные движения в ней. В нашем случае вто может быть крутовой поток в направлении пунктирных векторов на ближней стороне оболочки. Совокупность наблюдательных фактов совместима и с другими вариантами, например, тоже с крутовым потоком, но вдоль меридианов петли, если ее полюса совпадают с вертексами.

Выбор между данными трактовками затруднителен, пока обработаны собственные движения лишь одного полушария Петли I или 1/4 неба. Ведь для признания универсальности «надэллипсоидальной» фигуры скоростей наличие встречных потоков (пеевдопотоков) и равенство

$$(L_r, B_r) \approx (l_v, b_v) \tag{28}$$

должны иметь место во многих областях неба.

А в нашем распоряжении, кроме половины Петли I, только Петля IV и малый участок поля на $l = 30^\circ + 75^\circ$. К тому же (l_v, b_v) в этих областях не одинаковы. В области поля по 7 площадкам с $l > 30^\circ$ получено

$$l_{v} = 9^{\circ}.8 \pm 6^{\circ}.8, \quad b_{v} = 5^{\circ}.3 \pm 8^{\circ}.1,$$
 (29)

в отличне от (27) для Петли I. Однако здесь не выполняется (28) для потока из табл. 3. На рис. 2 есть несколько более горизонтальнных некторов, возмежно более подходящих, но их мало для надежного определения радианта. Лишъ у 2—3 площадок видим встречный поток.

Для Петли V встречный лоток, если намечается, то лишь за счет части потока (пунктирного) Петли I. А условие (28) выполняется при (1, b) по (29), но последнее относится к полю.

Конечно, наряду, с псевдопотоками возможны и настоящие потоки звезд, что создает трудности в их разделении и для признания «надэллипсоидальной» гипотезы.

Для второй трактовки кругового потока подтверждений из других областей не требуется, коль скоро имеется в виду локальная кннематика. Локальность же в области Петли I вырисовывается на рис. 2 в табл. 3. Она сочетается с локальным характером всех параметровв той же области на рис. 1. Весьма существенно, что локальная кинематика коррелирует с локальной структурой и совместима с представлениями о происхождении звездной составляющей петель.

Если со временем подтвердится первая трактовка (с псевдопотоками), то и тогда сохранится локальность кинематики звезд области Петли I в виде повернутости фигуры скоростей относительно аналогичной фигуры для окрестного поля. Напомним, что по "[2] отношения полуосей вллипсоидов в этих областях одинаковы.

Так показано, что фигуры Ковальското—Каптейна могут быть использованы для проверки вллипсоидальности распределения скоростей, для поиска более адекватных наблюдениям прибижений, а также для выделения областей неба с особенностями в кинематике звезд. Однако для получения окончательных выводов исследования следует распространить на все небо или большую его часть.

Выражаю глубокую благодарность Р. Е. Шацовой, соавтору первых двух частей работы, за руководство третьей частью.

ВНИИ "Граднент", Ростов-на-Дону.

THE STELLAR KINEMATICS IN KOVALSKY-KAPTEYN FIGURES. III

G. B. ANISIMOVA

The polar diagrams of stellar proper motions' positional angles over the stars brighter $V = 9^{m}0$ from SAO catalogue are used to check the hypothesis of ellipsoidal stellar velocities' distribution. It is confirmed in the first approximation. Its deflexions have local character and they are connected with the local structure in the Solar vicinity.

ЛИТЕРАТУРА

Р. Б. Шацова, Г. Б. Анисимова, Астрофизика, 33, 291, 1990.
 Р. Б. Шацова, Г. Б. Анисимова, Астрофизика, 33, 379, 1990.
 К. Schwarzschild, Nachr. Wissensch. zu Göttingen, 1907, р. 614.
 С. Чандрасскар, Принципы звездной динамики, ИЛ., М., 1948.
 К. Ф. Огородников, Динамика звездных систем, Физматика, М., 1958.

- 6. Р. Б. Шицова, Астрон. и., 45, 1254, 1968.
- 7. Smithsoniun, Astrophysical' Observatory SAO Catalogue of 253997 stars, Washington, 1954.

. 61

0.0

12

141

- 8. Г. Краняр, Математические методы статистаки, ИЛ., М., 1948.
- 9. П. Г. Куликовский, Звездная астрономия, Наука. М., 1985.
- 10, Р. Б. Шацова, Г. Б. Анисимара, (в печати).
- 11. A., S. Eddington, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 100, 354, 1940.
- 12. С. А. Кутузов, Элездане сконления и проблемы звездной вволюции, Свердловся, 1983.
- 13. Р. Б. Шацова, Г. Б. Анисимова, И А. Зенина, Астрофизика, 30, 495, 1989.
- 14. Р. Б. Шацова, Г. Б Анисимова, Астрон. циркуляр N 1546, 13; 1990.

. . . .

20

and have a c

15. L. Jr. Spilzer, Astrophys. J., 127, 17, 1958.

АСТРОФИЗ.ИКА

TOM 36

МАЙ, 1993

выпуск 2

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

YAK 521.388

ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ КОМПОНЕНТОВ КРАТНЫХ ЗВЕЗДНЫХ СИСТЕМ ТИПА ТРАПЕЦИИ. I

При составлении Абастуманского каталога кратных звездных систсм типа Трапеции [1] для отнесения кратной звезды к типу Трапеции мы пользовались известным критерием В. А. Амбарцумяна [2], т. е. если в кратной звезде можно было найти хотя бы три составляющие, для которых отношение наибольшего взаимного расстояния к наименьшему меньше трех, то систему считали системой типа Трапеции.

С целью ясключения оптических систем были введены вертние границы для расстояний слабых компонентов до главной звезды, а компоненты слабее 12.5 звездной величины исключены вообще. Кроме того, вычислили вероятность попадания звезд фона в крути с радиусами, равными расстояниям слабых компонентов соответствующих звездных величин до главной звезды, и для всей системы значения этих вероятностей суммировали. Таким образом, отбор Трапеций с физически связанными компонентами не был осуществлен на данных о пространственных скоростях составляющих звезд Трапеций, а это очень важно, особенно для Трапеций с тлавными звездами спектральных классов А, G, F, где ожидается малый процент реальных Трапеций.

В настоящее время можно сказать, что статистические свойства кратных звездных систем типа Трапеции изучены довольно хорошо и их изучение в первую очередь интересно для изучения динамики и кинематики индивидуальных Трапеций.

В наших работах мы неоднократно указывали, что наблюдательные данные составляющих звезд Трапеций весьма скудны, особенно это касается определения лучевых скоростей и собственных движений.

При работе на прекрасном приборе для измерения лучевых скоростей, разработанном и изтотовленном А. А. Токовининым [3], появилась надежда определения лучевых скоростей компонентов кратных звездных систем типа Трапеции.

Таблице Т

АУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ ЗВЕЗД-КОМПОНЕНТОВ КРАТНЫХ СИСТЕМ ТИПА ТРАПЕЦИИ

Homep n [1]	Компонент	V	Sp	JD	Up. RM/O.	ow, w/c
9	A	8.8	G0	47472.299	1.28	+0.96
14	A	5.0	KO	47470.421	-13.67	0.19
16	A	9.4	-	47471.372	-47.27	0.40
26	A	9.9	М	47471.404	-19.08	0.44
27	A	5.9	KO	47470.446	06.36	0.19
53	A	3.9	K31b	47470.431	-01.88	0.12
39	A	7.6	M	47470.453	-13.45	0.43
46	A	6.8	G5	47472.389	55.65	0.30
47	A	9.0	K0	47471.476	17.34	0.35
32-	В	9.7	-	47471.483	-19.04	0.55
50	A	7.1	G5	47472.398	56.82	0.32
52	A	9.1	F8V	47472.403	62.24	0.32
1000	С	10.1	_	47472.413	50.10	0.54.
56	A	9.0	G5	47476.351	-13.67.	0.54
64	A	7.8	K5	47471.492	07.50	0.30
96	A	6.6	KO	47471.495	-17.02	0.41
1.1.1	С	10.6	_	47471.507	-15.50	0.98
341	A	8.0	KO	47473.224	-36.36.	0.47
342	A	5.2	K3III	47470.211	-24.69	0.16
353	A	8.7	K2 ·	47480.208	-10.61	0.27
360	A	6.3	M3	47466.197	-25.72	0.44
362	A	8.1	K0	47470.221	-19.52	0.33
	E	18.7	-	47470.225	-18.94	0.52
372	A	10.0	к	47472.263	-74.52	0.27
374	A	8.3	KO	47472.276	-32.91	0.33
381	A	9.1	GO	47472.287	16,49	1.04
397	A	9.0	MO	47466.217	16.42	0: 35
	D	9.7		47465,233	-05.56	0 41
411	A	7.3	KO	47467.296	-29.13	0.29
	С	9.2	_	47470.267	-31.64	1 03
	D	9.4		47470.285	-44.71	0.65
						0.05
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Первые наблюдения были выполнены в ноябре 1988 г.

Для наблюдения из Абастуманското каталога были выбраны следующие системы: 9, 14, 17, 26, 27, 33, 39, 46, 47, 50, 52, 56, 64, 96, 341, 342, 353, 360, 362, 372, 374, 381, 397, 411. Всего были наблюдены 24 системы с их 31 компонентом. В основном были наблюдены главные компоненты выбранных Трапеций, только в пяти случаях были наблюдены два компонента, а в одном случае три компонента.

Результаты наблюдений приведены в табл. 1. В последовательных столбцах этой таблицы, представлены: номер по каталогу кратных звезд типа Трапеции, компоненты, их визумльные эвездные величины...-V, -спектральный класс, время наблюдения, лучевая скорость и ее ошибка.

Radial Velocities of Components of Trapezium Type Multiple Stellar Systems. I. Results of radial velocities' measurements of 31 components, belonging to 24 multiple Trapezium type stellar systems from Abastumani Catalogue, are presented. Observations were carried out on the Abastumani Astrophysical Observatory 125 cm mirror telescope with the photoelectric radial velocities' meter, designed and constructed by A. A. Tokovinin.

4 онтября 1992

Абастуманская астрофивическая обсерватория Государственный астрономический Институт ам. П. К. Штернберга Г. Ш. Джавахншвили М. В. Павлов Г. Н. Салуквадзе

МТЕРАТУРА

1. Г. Н. Салуквадве, Бюхл. Абастум. Астрофев. обс., 49, 39, 1978. 2. В. А. Амбаруумян, Сообщ. Бюракан. обс., 15, 3, 1954. 3. А. А. Токовинин, Астрон. ж., 64, 196, 1987. 275

АСТРОФИЗИКА

TOM 36

МАЙ, 1993

выпуск 2:

УДК 524.337.6, 524.31.082-54

ОБЗОРЫ

ВСПЫХИВАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ И ЭВОЛЮЦИЯ КРАСНЫХ КАРЛИКОВЫХ ЗВЕЗД

л. в. мирзоян

Поступяла З марта 1992

Обсуждаются результаты эголюцконпого исследования красных карликовых звозд, в своте работ, выполленных, главным образом, в обсерваториях Бюраканской и Точантцинтал (Моксика). Особое вчимание уделено всимхивающии зсездам, представляющим одну из рачних стадий их эколюции. Некоторие из изложенных ровультатов в кастоящое время мылнотся дискуссионными.

1. Введение. Одним из выдающихся результатов последних десятилетий в эволюции звезд является установление, на основе непосредственных наблюдений, эволюционного статуса вспыхивающих звезд. Он имел решающее значение для определения стадий эволюции красных карликовых звезд, самых многочисленных в Галактике, и места вспыхивающих звезд в этой эволюции.

Этот принципиальный результат показал, что в одной из рачних стадий эволюции—в стадии, представляемой вспыхивающими звездами, красная карликовая звезда приобретает вспышечную активность, когда наиболее важной ее особенностью становится способность производить, время от времени, вспышки—сильное и быстрое возрастание мощности звездного излучения и сравнительно медленное его убывание до первоначального уровня.

Общий подход к этой проблеме и некоторые результаты, полученные в этой области, были представлены в докладах Амбарцумяна и автора [1, 2] на Бамбергском коллоквиуме МАС «Новые направления и новые перспективы в исследовании переменных звезд» (1970) и на симпозиуме МАС в Москве «Переменные звезды и эволюция эвезд» (1974), а также в докладе автора [3] на симпозиуме МАС в Бюракане «Вспыхивающие звезды в свездных скоплениях, ассоциациях и окрестностях Солнца» (1989). Обзор данных о еспыхивающих звездах содержится в статье автора «Вспыхивающие звезды» [4]. 8-47 Эти исследсвания основаны на каблюдательном подходе к эволюции ввезд, разработанисм в Бюраканской астрофизической обсерватории [9] (см. также [6]), который оказался весьма плодотворным для изучения вопросов происхождения и эволюции звезд и звездных систем.

К ним непосредственно примыкают исследования, выполненные Аро и его сотрудниками (см., например, [7]) в обсерватори Тонанцинтла (Мексика), по изучению ражних стадий эволюции красных карликовых звезд.

В настоящее время проблема эволюции красных карликов привлекает внимание исследсвателей. Достигнутые в этой области важные результаты имеют первостепенное значение для всей проблемы эволюции звезд, а выполненная в этом направлении работа, как нам представляется, показывает правильный путь дальнейших исследований.

В настоящей обзорной статье рассматриваются результаты эволюционного изучения вспыхивающих звезд и их место в эволюции красных карликовых эвезд, в свете последних исследовваний.

2. Эволюционный статус вспыхивающих эвезд. История этого неожиданного открытия необычна.

В 1954 г. Амбарцумян [8], анализируя вопрос о природе непрерывной эмиссии в спектрах звезд типа Т Тельца, составляющих характерное население Т-ассоциаций, высказал идею о ее нетепловой природе и, исходя из молодости отих звезд, пришел к заключению, что она имеет внутризвездное происхождение. В связи с этим он обратил внимание на тот необычный наблюдательный факт, что непрерывная эмиссия появляется также в спектрах звезд типа UV Кита окрестностей 'Солнца во время их кратковременных вспышек, которые в этот период приобретают свойства, постоянно присутствующие у звезд типа T Тельца.

Этот удивительный результат находился в противоречии с общепринятым представлением о том, что звезды типа UV Кита являются старыми образованиями. Несмотря на вто, он послужил основанием .для заключения, что звезды типов Т Тельца и UV Кита являются родственными объектами.

Вскоре были получены первые наблюдательные свидетельства в пользу эхой точки зрения.

Аро и Мортан [9] открыли несколько вспыхивающих звезд в весьма молодой звездной системе—ассоциации Ориона. Затем более десятка вспыхивающих эвезд были обнаружены Арю и Терразас [10, 11] в ассоциациях Ориона, Единорога (NGC 2264) и Темных Облаков Тельца. После того, как стали известны результаты этих наблюдений, эвыполненных в обсерватории Тонантцинтла (Мексика), к фотографическим наблюденням областей звездных ассоциаций, с помощью широкоугольного телескопа, с целью обнаружения и исследования вспыхивающих звезд, подключился Рюзино с сотрудниками [12, 13] в обсерватории Азиаго (Италия). Этими наблюдениями были обнаружены новые вспыхивающие звезды.

Открытие вспыхивающих звезд в звездных ассоциациях не толькоподтвердило физическую родствевность звезд типа Т Тельца и вспыживающих. Их сосуществование в этих молодых системах показало, что кроме старых вспыхивающих звезд типа UV Кита окрестностей Солнца существуют и молодые вспыхивающие звезды.

Оказалось, что мюлодые вспыхивающие звезды отличаются от звезд типа UV Кита, в частности, более высокими светимостями и тесной связью с диффуной материей, и вначале казалось, что они составляют новый класс вспыхивающих объектов. Однако дальнейшие исследования не подтвердили этого мнения, и эти различия шолучили естественное объяснение (см. дальше).

Факт сосуществования в звездных ассоциациях эвезд типа Т Тельца и вспыхивающих эвезд выдвинул вопрос об эволюционном статусе последних.

Аро [14, 15] первым понял значение вспыхивающих звезд в ивучении ранних стадий эволюции красных карликовых звезд. Основываясь на наблюдениях по поиску вспыхивающих звезд в эвездных ассоциациях, он высказал идею о том, что в жизни красных карликовых эвезд существует стадия вспыхивающей звезды, которая наступает после стадия, соответствующей звездам типа Т Тельца.

Для подтверждения этой принципиально важной идеи решающее мначение имело случайное открытие Джонсоном и Митчеллом [16] первой вспыхивающей звезды в скоплении Плеяды, имеющем возраст— 7×10⁷ лет [17], что на порядок величины превышает возраст ассоциации Ориона—около 10⁶ лет [18], и уже не содержащем звезд типа Т Тельца.

Это открытие, сделанное во время : фотометрических наблюдений ввезд скопления Плеяды, инициировало новые, уже фотографические, наблюдения областей звездных скоплений, которые привели к обнаружению вспыхивающих звезд не только в Плеядах, но и в более старых скоплениях Ясли (возраст 4×10^8 лет [17]) и Гиады (возраст 6×10^8 лет [17]).

Этими открытиями был перекинут мост между вспыхивающими ввездами типа UV Кита окрестностей Солнца и вспыхивающими звездами, входящими в состав звездных ассоциаций. Они покаали, `чтовспыхивающие звезды, представляющие определенную стадию 'эволюции красных карликовых звезд, по крайней мере их некоторой 'части, встречаются в системах самого разного возраста. Причем, если в молодых: системах—ассоциациях вспыхивающие звезды сосуществуют со ввездами типа Т Тельца, то в более старых системах, где нет ввезд типа Т Тельца, они составляют самое многочисленное население.

Этот наблюдательный факт свидетельствует о том, что средняя продолжительность жизни вопыхивающих звезд, или стадии вспышечной активности, значительно превышает продолжительность стадии типа Т Тельца, что полностью тармонирует с гипотезой Аро [14, 15] о том, что в жизни красных карликовых звезд после стадии эволюции типа Т Тельца наступает стадия вспышечной активности.

В связи с этой липотезой возникает 'естественный волрос: является ли стадия вслыхивающей звезды закономерной стадией эголюции, через которую проходят все красные карликовые звезды, или имеются разные пути эволюции этих звезд?

Этот вопрос имеет переостепенное значение для изучения вволюции красных карликов. Его решение было связано с определением относительного числа вопыхивающих звезд в системах разного возраста.

В 1968 т. Амбарцумян [19] разработал простой статистический метод, который позволяет оценить полное число вспыхивающих звезд в какой-либо системе, если в ней уже обнаружено мекоторое число ввезд - этого класса.

В этом случае полное число неизвестных вспыхивающих звезд в системе определяется следующей формулой [19]:

$$n_0=\frac{n_1^2}{2n_2},$$

где n₁ и n₂-числа вспыхивающих звезд, наблюдавшихся во вспышках по одному и по два раза, соответственно.

Применив эту формулу к известным тогда всего 60 вспыхивающим эвездам скопления Плеяды, для полного числа вспыхивающих звезд в этой системе Амбарцумян [19] получил значение больше 300. По порядку величины это число близко к числу всех звезд ниэких светимостей этого скопления. На этой основе было получено совершенно меожиданное, однако вполне обоснованное заключение о том, что все или почти все звезды низких светимостей скопления Плеяды являются вспыхивающими.

В свете общего происхождения всех звезд каждой физической системы, в данном случае скопления Плеяды, это заключение констатирует тот факт, что стадия вспыхивающей ввезды (вспышечной активности) представляет србой закономерную стадию эволющии красных карликовых звезд, обязательную для всех явезя втого класса. Относительно вышеприведенной формулы для оценки полного числа неизвестных в звездной системе вспыхивающих звезд, основажной на результатах предыдущих наблюдений, следует сделать следующее замечание, усиливлющее полученное заключение.

Эта формула была получена при двух предположениях: о случайном распределении вспышек во времени для каждой вопыхивающей звезды и об одинаковой средней частоте вспышек всех вспыхивающих эвезд данной системы.

Первое из этих продположений, как показываєт подробное 'рассмотрение, можно считать вполне обоснованным [20]. Что касается второго предположения, то оно явно не соответствует действительности. В каждой системе имеет место большое разнообразие в значениях средних частот вспышек звезд, в зависьмости от интенсивности вспышечной активности.

В этом реальном случае, когда средние частоты вспышех эвезд самые разные, полученная формула соответствует нижнему пределу искомого полного числа вспыхивающих звезд в системе [20]. Обычно оно должно быть значительно больше.

В свете полученного выше результата о большом содержании вспыхивающих звезд в сравнительно молодой системе, скоплении Плеяды, гипотеза Аро [14, 15] об вволюционном статусе вспыхивающих звезд стала закономерностью.

Однако еще оставался вопрос о том, существуют ли и другие пути развития красных карликовых звезд.

Этот вопрос подробно был рассмотрен в работе [21]. В ней было показано, что в эволюции красных карликовых звезд стадии, представляемые звездами типа Т Тельца и вспыхивающими звездами, следуют друг за другом, и это единственный путь, не противоречащий наблюдениям.

Оба эти результата были настольжо важными для эволдции красных карликов, что инициировали обширные фотографические наблюдения по понску и исследованию вспыхивающих звезд в областях эвездных скоялений и ассоциаций в обсерваториях Азиаго, Бюраканской и Тонантцинтла, а позже и Абастуманской, Будапештской и Рожен (Болгария), которые привели к обнаружению большого числа мовых вспыхивающих звезд и показали их необычное обилие в этих системах.

В табл. 1 представлены соответствующие данные для трех, наиболее исследованных в этом отношении систем.

В табл. 1 после названия системы представлены: эффективное время фотографических наблюдений—T, число открытых вспыхивающих звезд—n и вопышек n', из них число вспыхивающих звезд, у которых были зарегистрированы по одной— n_1 и по две— n_2 вспышки, оценка полного числа вопыхивающих звезд—N, среднее время открытия одной: вспыхивающей звезды—t, расстояние системы— г и литературный источник приведенных данных.

Таблина 1

N Система л' 8, f (часы) r(mapces) Литература T (часы) л Л1 3200 546 1495 287 92 995 5.9 125 **ПAORAM** 22 491 654 380 76 1441 3.3 Орнон 1600 500 23 TOT 102 122 88 9 532 9.2 135 940 24

РЕЗУЛЬТАТЫ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ВСПЫХИВАЮЩИХ ЗВЕЗД В ОБЛАСТЯХ НЕКОТОРЫХ БЛИЖАЙШИХ СИСТЕМ

Примечание. ТОТ-Темыме Облака Тельца.

При рассмотрении данных табл. 1 следует учесть, что представленные системы находятся на неодинаковых фазах изучения: время наблюдений для скопления Плеяды в два раза больше, чем для ассоциации Ориона, и более трех раз больше, чем для ассоциации в Темных Облаках Тельца.

А число открытых вспыхивающих эвезд, так же, как и оценка их полного числа в системе, меняется по мере развертывания наблюдений.

Это хорошо видно из табл. 2, показывающей ход изменения этих данных по мере увеличения эффективного времени фотографических наблюдений в области скопления Плеяды (обозначения те же самые,. что в табл. 1).

Таблица 2

ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ВСПЫХИВАЮЩИХ ЗВЕЗД В ОБЛАСТИ СКОПЛЕНИЯ ПЛЕЯДЫ ЗА 1968—1982 Г.Г.

Год	Т (часы)	· n	N	
1968	512	155	337	
1970	1178	260	467	
1973	2260 ·	448	826	
1982	3175	546	994	

С другой стороны, как показывают данные шестого столбца табл. 1,. с увеличением времени наблюдений меняется и относительное число-

282

повторных вспышек, зарегистрированных у уже известных вспыхивающих звезд.

Этого и следовало ожидать. В началеный период наблюдений, когда все вспыхивающие звезды в системе неизвестны, открытие каждой вспышки означает открытие вспыхивающей звезды. Со временем все чаще наблюдаются повторные вспышки у изевстных вспыхивающих звезд. Наконец, наступает период, когда зарегистрированные вспышки большей частью являются повторными.

Например, в 1980—82 тг. за почти 200 часов фотографических наблюдсний области скопления Плеяды были зарегистрированы 53 вспышки и из жих только 7 у новых вспыхивающих звезд [25].

Совершенно иное положение в случае области Темных Облаков Тельца, где почти каждая обнаруженная вспышка наблюдалась у новой вспыхивающей звезды, то есть означала открытие новой волыхивающей звезды.

В этом отношении ассоциация Ориона занимает промежуточное положение.

Рассмотренный фактор наблюдательной селекции непосредственно сказывается на данных восьмого столбца табл. 1 о среднем времени открытия одной вспыхивающей звезды в данной системе. Однако не точько одним этим объясняются различия в приведенных данных. Несомненно, что средняя частота вспышек в разных системах значительно отличается вследствие ряда причин, например возраста соответствующей системы.

Затем, следует признать, что представленные в табл. 1 данные, относящиеся к разным систъзам, непосредственно не сравнимы, так как эти системы расположены на разных расстояниях, имеют разные возрасты, содержат вспыхивающие звезды разного распределения, светимостей и т. д.

Наконец, данные табл. 1 неоднородны. Они были получены совместными усилиями наблюдателей разных обсерваторий, использующих разные телескопы, разные области спектра и разные экспозиции. Это определенным образом повлияло на полученные результаты.

Например, при фотографических наблюдениях на 1-м телескопе системы Шмидта Бюраканской астрофизической обсерватории (с экспоэнциями 5 мин для получения одного изображения звезды, в цепочке) одна вспышка регистрировалась за 1—2 часа [26]. Между тем, при использовании 53-см телескопа системы Шмидта (с экспозициями, обычно, 10 мин) одна вспышка в этой области регистрировалась, по крайней мере, в 2—3 раза реже, у доступных для наблюдения звезд. А вспышки звезд предельной яркости для 1-м телескопа, 53-см телескопом, естественно, не регистрировались. Различна и средняя частота вспышек при использовани различных областей спектра.

Несмотря на влияние наблюдательной селекции в данных, представленных в табл. 1, несомненно имеется необычно высокое обилие вспыхивающих звезд в рассматриваемых системах. Эта особенность характерна и для других, менее изученных звездных систем.

Следовательно, наблюдаемое обилие вспыхивающих звезд в явездных скоплениях и ассоциациях можно рассматривать как решающий факт, потверждающий вволюционный статус вспыхивающих звезд, представляющих закономерную стадию эволюции красных карликовых ввезд.

Недавно было получено [27] новое, причем совершенно независимое свидетельство в пользу эволюционного статуса вспыхивающих звезд.

В 1980 г. Штауффер [28] исследовал 34 красные карликовые звезды скопления Плеяды, которые еще не достигли равновесного состояния. На диаграмме Герушпрунга—Рессела эти звезды расположены дальше от тлавной последовательности (pre — main sequence stars). Этот факт дает основение предполатать, что указанные красные карлики находится на стадии эволюции, предпоствующей равновссным состояниям, соответствующем главной последовательности. С этой точки врения было интересно обнаружить у них испышечную активность.

При близком ознаисмлении с этими эвездами выяснилось [27], что большимство из них (27 из 34) входят в каталог Аро и др.[29] вспыхивающих свезд скопления Плеяды, причем 23 звезды наблюдались во вспышках по несколько раз.

С другой стороны, известно [19], что в этом скоплении все или почти все звезды низких светимостей являются вспыхивающими, причем около половины из них (табл. 1) еще не наблюдались во вспышках.

Эти факты дают основание заключить, что все звезды скопления Плеяды, исследованные Штауффером [28], обладают вспышечной активностью.

Отсюда следует, что все звезды списка Штауффера [28], которые на диаграмме Герцшпрунга-Рессела еще не достигли главной последовательности, оказались вспыхивающими вследствие того, что 'являются сраснительно молодыми образованиями, что подтверждает их эволюционный статус.

Следует добавить, что исследования вспыхивающих звезд в других звездных сксплениях и ассоциациях, выполновные 'Янковичем (Ясли [30]), Цветковым и Цветковой (Лебедь [31, 32]) и другими, находятся в полном согласии с этим ваключением.

Заслуживает особого упоминания распространение фотографических наблюдений вопыхивающих звезд в областях звездных систем на южное небо, где имеются и довольно близкие. Первые результаты этих

наблюдений, начатых под руководством Зайттера [33], представляются многообешающими.

3. Происхождение вспыхивающих звезд типа UV Кита окрестностей Солнца. В свете образования вспыхивающих ввезд в звездных скоплениях и ассоциациях существование звезд типа UV Кита окрестностей Солнца может иметь два возможных объяснения.

Согласно первому из чих, предложенному Амбарцумяном [34], эти ввезды образовались в системе, существующей до сих пор. Иначе говоря, ввезды типа UV Кита окрестностей Солнца составляют в настоящее время физическую систему.

Второе объяснение, выдвинутое Хербитом [35], предполатает, что ввезды типа UV Кита образовались в системах, ныне уже распавшихся и оказались в окрествостях Солнда случайно, после распада «материнских» систем, благодаря своим пространственным движениям.

Выбор между этими объяснениями можно сделать на основе пространственного распределения звезд тиша UV Кита в окрестностях Солнца. При справедливости первого объяснения должно наблюдаться падение пространственной плотности этих звезд с удалением от Солнца, а при справедливости второго объяснения—почти равномерное их распределение, не вависящее от расстояния до Солнца.

Обоснование первого объяснения, исходящее из өтого контерия, содержится в исследованиях Аракеляна [36] и Гърибджаняна [37]. В них показано, что допущение о равномерном распределении вспыхивающих звезд тища UV Кита в Галактике, в галактическом звездном поле, противоречит результатем массовых фотографических наблюдений разных участков неба с помощью широкоугольных телескопов. При равномерном распределении звезд типа UV Кита в пространстве, в любой области неба, согласно их исследованиям, было бы обнаружено значительно больше звезд, чем было обнаружено даже в областях звездных скоплений и ассоциаций, где имеет место концентрация вспыхивающих звезд. На этом основании автюры указанных работ [36, 37] пришли к заключению, что пространственная плотность вспыхивающих звезд типа UV Кита убывает с удалением от Солнца. Отсюда следует, что наблюдения подтверждают первое объяснение.

Однако вто заключение трудно было сотласовать с наблюдательными данными относительно параметров звезд тима UV Кита. В частности, оно находилось в прочиворечии с большим разнообразием возрастов и кинематических характеристик втих звезд [38, 39]. В связи с втим, заключение о том, что звезды типа UV Кита окрестностей Солнца составляют физическую систему, вызывало определенные сомнения.

Этот волрос заново был рассмотрен недавно, с привлечением современных наблюдательных данных, причем был использован тот же метод. Новое рассмотрение вопроса [40] не подтвердило существования системы эвезд типа UV Кита вокруг Солица. Как выяснилось, это заключение было получено вследствие переоценки в работах [36, 37] числа вопышек, ожидаемых чри фотографических наблюдениях различных областей неба, производимых звездами типа UV Кита талактического звездного поля.

В работе Аракеляна [36], например, не была учтена зависимость относительной вопышечной активности звезды от ее светимости. В этой работе всем вопыхивающим звездам типа UV Кита, независимо от их светимости, была приписана относительная вопышечная активность, наблюдаемая у звезд 16—18 абсолютной звездной величины.

Между тем, фотоэлектрические наблюдения Моффетта [41] вспыхивающих звезд типа UV Кита, овидетельствуют, что существует обратная зависимость между средней частотой вспышек (относительной вспышечной активностью) и светимостью звезды [42]. Неучет влияния этого фактора в работе Аракеляна [36] и привел к сильной переоцемке числа вопышек, ожидаемых от вспыхивающих звезд типа UV Ките, так как в этой оценке основную роль играют абсолютно более яркие звезды.

В конечном счете это и обусловило его заключение о падении пространственной плотности зжезд типа UV Кита с удалением от Солица.

При новом рассмотрении указанното вопроса было показано [40], что фотографические наблюдения вспыхивающих звезд широкоутольными телескопами, как в областях эвездных скопления и ассоциаций, так и в галактическом звездном поле, не протизоречат представлению о том, что распределение звезд типа UV Кита практически остается постоянным с удалением от Солица. Основываясь на этом результате, можнопринимать, в согласии с объяснемчем Хербига [35], что эвезды типа UV Кита окрестностей Солица действительно представнляют собой население общего звездного поля Галактики.

Этот новый результат можно рассматривать как важное свидетельствов пользу образования звезд типа UV Кита окрестностей Солида, и вообще всех испыхивающих звезд галактического поля, в эзездных скоплениях и ассоциациях. Повтому, следует очитать, что в настоящее время они составляют звездное население, галактического поля вследствие того, что их «материнские» системы уже распались. Иначе говоря, благодаря своим пространственным движениям в любом объеме галактического поля, имеются всямхивающие звезды разных систем. Этим и обусловлено разнообразие параметров всямхивающих звезд поля (светимость, возраст и т. д.).

Это представление о генезисе вопыхивающих звезд галактического поля вытекает из наблюдений и позволяет наметить путь оволюции; красных карликовгх звезд.

обзоры

4. Вспыхивающие ввезды в системах и окрестностях Солнца—единый класс вспыхивающих объектов. Выше были рассмотрены наблюдательные данные, свидетельствующие об общности вспыхивающих звезд в скоплениях и ассоциациях и вспыхивающих звезд типа UV Кита окрестностей Солнца. Это дает основание допустить, что все они составляют единый класс звезд, обладающих общей особенностью—вспышечной активностью [43].

Артументы в пользу физического сходства звезд типа UV Кита и вспыхивающих звезд, наблюдаемых в системах, были недавно подробно рассмотрены в работе Амбаряна и автора [42].

Они свидетельствуют, что мнойие параметры вспыхивающих звезд втих двух разновидностей практически мало отличаются, а серьезные различия, существующие между ними, можно успешно объяснить различиями в их возрасте, то есть эволюцией вспыхивающих звезд.

На серьезные различия, существующие между вопыхивающими звездами, открытыми Аро и сотрудниками [9-11] в звездных ассоциациях и звездами типа UV Кита окрестностей Солнца, впервые обратил внимание Хербит [44-45]. В тот период эти раличия казались принципиальными и предполагалось, что вспыхивающие звезды, наблюдаемые в звездных скоплениях и ассоциациях, представляют новый класс вспыхивающих объектов.

Однако, как выяснилось поэже, все эти наблюдаемые различия имеют довольно простое объяснение.

Именно, различие светимостей волыхивающих звезд в системах и галактическом звездном поле (окрестностях Солица) является следстствием различия темпов их оволюции, в зависимости от масс звезд (см. дальше). Вспыхявающие звезды более высоких светимостей (больших масс) прекращают вспышечную активность раньше и поэтому встречаются только в молодых системах. Вспыхивающие же звезды более ниэких светимостей (меньших масс) сохраняют вспышечную активность дольше и входят в состав старых систем и в галактическое звездное поле [42].

Что касается различия в отношении связи вспыхивающих звезд с диффузной материей, то оно также обусловлено различием возрастов соответствующих звезд. Дело в том, что тесная связь (сосуществование) с диффузной материей характерна лишь для молодых звезд. По мере старения звезды, в результате рассеяния имффузной материи, вта связь постепенно исчезает. Это наглядно видно цри сравнении звездных систем разного возраста. Если в звездных ассоциациях вспыхивающие звезды всетда связаны с большими массами диффузной материи, то её эначительно меньше в сравшительно старых звездных скоплениях и пости нет в галактическом поле, где имеется много вспыхивающих звезд. Наконец, отмеченное Хербигом [44, 45] отсутствие эмиссионных линий в слектрах вспыхивающих звезд, входящих в состав звездных скоплений и аксоциаций, в отличие от звезд типа UV Кита окрестностей Солица, в спектрах которых наблюдается много эмиссионных линий, как выяснилост, было следствием наблюдательной селекции. На щелевых спектрограммах испыхивающих звезд физических систем эмиссионамс линии всегда присутствуют.

На рис. 1 представлены две записи спектров вспыхмвающих звезд, подтверждающие вто ваключение. Одна из них заимствована из каталога Петтерсена и Хаули [46] и принадлежит звезде типа UV Кита окрестностей Солица СW UMa. Другая запись принадлежит вспыхивающей авезд FSP 394 скопления Плеяды [27]. Простое сравнение этух записей показывает их совпадение, по общему виду.

О практически полном совпадении спектров звезд типа UV Кита окрестностей Солнца и вспыхивающих звезд стопления Плеяды свидетельствуют и результаты их количественной юбработки.

Оказывается, наример, что зависимости спектральных индексов окиси титана—TiO от показателя цвета R-I и от абсолютной величины, полученные Штауффером [28] и Петтерсеном и Хаули [46], соответственно, для свезд типа UV Кита, полностью совпадают с такозыми, определенными в работе [27], для вспыхивающих звезд скопления Плеяды.

Следовательно, результаты спектрального иссф.едсвания вспыхивающих звезд скопления Плеяды можно рассматривать как дополнительный аргумент в пользу общей физической природы вспыхивающих звезд, наблюдаемых в составе звездных скоплений и ассоциаций, и звезд типа UV Кита окрестностей Солнца.

Эволюционные взменения вспыхивающих звезд четко прослеживаются и в изменениях их анергетических спектров. На это обстоятельство впервые обратил янимание Гершберг [47]. Он, в частности, показал, что между энергетическими спектрами и светимостями вспыхивающих звезд имеется определенная корреляция, которая в последующем была подтверяздена Лейсн п др. [48], для збезд типа UV Кита окрестностей Солнца, и Краснобабцевым и Гершбертом [49]—для вспыхивающих звезд ассоциации Ориона. Эта корреляция свидетельствует, что с увеличением светимости вспыхивающей звезды уменьшается вклад в сё суммарное энертовыделение частых, но маломощных вспышек.

Вопрос об энергетических спектрах вспыхивающих звезд в окрестностях Солнца и в звездных системах был подробно исследован в работе Коротина и Краснобабцева [50]. Ими было показано, что энергетические спектры вспыхивающих звезд в звездных окоплениях и ассоциациях являются продолжением энергетических спектров звезд типа UV

обзоры

Кита окрестностей Солица, в область больших энергий. При этом с возрастом системы вспыхивающих звезд энергетические спертры последних становятся все более пологими.



Рис. 1. Записл снектров всимкивающих экезд FSP 394 спольсния Плояды ис СW UMa, пита UV Кита окрестностей Солица. По работам [27, 46].

Пространственное распределение вспыхивающих звезд в Галактике в свете их единства, с физической точки зрения, имеет следующее естествещное объясвение. Все вспыхивающие эвезды образуются в системах. Однако продолжительность жизни ввезды в стадии вспышечной активности или время пребывания в втой стадии зависит от ее массы (светимости): чем выше светимость, тем короче вто время (см. раздел о темпах эволюции звезд).

Вследствие этого абсолютно более яркие вспыхивающие звезды должны раньше прекращать свою вспышечную активность, чем абсолютно более слабые. В результате вспыхивающие звезды более высоких светимостей могут наблюдаться только в системах, так как до распада этых систем они прекращают вспышечную активность. Вспыхивающие же звезды более низких светимостей, пребывая в стадии вспышечной активности очень долго и сохраняя способность производить вспышечной активности очень долго и сохраняя способность производить вспышечной даже после распада «материнских» систем, где они образовались, могут наблюдаться в галактическом эвездном поле.

Это подтверждается наблюдениями. Действительно, достаточно молодые вспыхивающие звезды в настоящее время находятся в составе ввездных ассоциаций и сравнительно молодых скоплений, где они образовались. Более старые же вспыхивающие звезды наблюдаются в сравнительно старых и старых окоплениях. А очень старые вспыхивающие звезды типа UV Кита окрестностей Солнца, «материнские» системы которых уже успели распасться, почти равномерно заполняют галактическое поле.

Это обусловлено тем, что вспыхивающие эвезды в системах обладают тем более высокими светимостями, чем моложе система, а вспыхивающие ввезды галактического поля имеют наиболее низкие светимости (см. дальше, а также рис. 3).

Все это подтверждает, что вспыхивающие звезды, входящие в системы, и вспыхивающие звезды галактического поля составляют единый класс красных карликовых звезд, обладающих общей особенностью—вспышечной активностью, проявляющейся в определенной стадии вволюции. Наблюдаемые же между ними различия полностью объясняются различием их возрастов. Такие же различия, в меньшем масштабе, наблюдаются и между вспыхивающими звездами, входящими в системы разного возраста [42].

5. Переход между стадиями вволюции типов Т Тельца и UV Кита. Онзическое сходство между ввездами типа Т Тельца и вспыхивающими ввездами типа UV Кита окрестностей Солнца*), наглядно проявив-

^{•)} В пользу родственности звезд типов Т Тельца и UV Кита сравнительно недавно Аро [51] нашел новое свидетельство. Он показал, что на щелевых спектрограммах некоторых вспыхивающих звезд скопления Плеяды наблюдается линия поглощения лития λ 6707, характерная для звезд типа Т Тельца.

шееся во время вспышек последних [8], и сосуществование звезд этих двух классов в звездных ассоциациях [6-8] явились вескими свидетельствами в пользу их родственности и послужили основанием для выдвижения идеи об эволюционной связи между ними [14, 15].

Эта идея получила сильную поддержку благодаря открытию Арои Чавира [52] и Розицо [13] вспишек у некоторых эвезд липаТ Тельца ассоциаций Ориона и Единорога (NGC 2264). Это примечательное открытие показало, что в ассоциациях существуют звезды, которые обладают одновременно особенностями звезд типов Т Тельца и UV Кита.

Существование звезд, показывающих активность типа Т Тельца и вспышечную одновременно, свидетельствует о том, что эволюционные стадии красных карликовых звезд, представляемые этими звездами, взаимно перекрываются во времени. Иначе говоря, звезда типа Т Тельца ступает в стадию вопышечной активности, не прекращая активерсть типа Т Тельца. Некоторое время она, наряду с изменениями, хаактерными для звезд типа Т Тельца, проявляет и вспышечную активность.

Это дает ося. Областие считать, что красные карликовые звезды после эволюционной стадии типа Т Тельца, прежде чем вступить в следующую стадию вспыхивающей звезды, в определенное время пребывают в состоянии когда они являются одновременно и звездами типа Т Тельца, и вспыхивающими.

Продолжительность лериода, когда звезда проявляет обе эти активности, определяется относительным числом звезд типа Т Тельца, обладающих вспышечной актывностью, среди всех звезд типа Т Тельца в данной системе.

Это число для звезд типа Т Тельца ассоциации Ориона, показавших вспышки с фотографической амплитудой больше одной звездной величины, было определено Амбарцумяном [21]. Было показано, что только четвертая часть этих ввезд способна показать вспышки, доступные для фотографических наблюдений. Отсюда следует, что продолжительность периода, когда звезда является, одновременно, типа Т Тельца и вспыхивающей, равна одной четверти продолжительности стадии типа Т Тельца.

Приведенное определение является ориентировочным. Более повдние исследования, например Нацвлишвили [53], показывают, что относительное число звезд типа Т Тельца, обладающих вспышечной активностью, среди звезд типа Т Тельца ассоциации Ориона, возможно и других ассоциаций, межет быть несколько больше. Однако для нашето рассмотрения существенно, что не все эвезды типа Т Тельца обладают вспышечной активностью.

Можно поэтому констатировать, что звезды типа Т Тельца, облалающие одновременно вспышечной активностью, должны быть в среднем более старыми, чем ввезды, еще не вступившие в период перекрывания стадий актиенски типа Т Тельца и вспышечной.

В связи с тем, что красная карликовая свезда после стадии эволюции типа Т Тельца вступает в стадию вспыхивающей звезды^{*}, то есть вспыхивающие звезды извляются пост—Т Тельца звездами, трудно объяснять полное замалчивание этого принципиального результата в статье Хербита [54], посвященной поиску сост—Т Тельца звезд. Это тем более удибительно, что среди 8 свезд—кандидатов в пост— Т Тельца, представленных Хербигом, 5 либо обладают вспышечной активностью, либо являются эрултивными переменными [55]. Здесь речь идет о вспышках ізначительно более мощных, чем спокойное излучение звезды.

Повтому работу Хербита [54] можно рассматривать как дополнительное свидетельство в шользу заключения о том, что эспыхивающие звезды представляют собой пост-Т Тельца стадию эволюции красных карликовых эвезд.

6. Наблюдаемая последовательность стадий эволюции красных карииковых звезд. Установление статуса вспыхивающих эвоэд, как одной из стадий оволюции красных кермиков, и генетическая связь отих ввезд со звездами типа Т. Тельща сделали возможным определить путь их развития.

Постепенный тереход из стадин типа Т Тельца к стадия вспыхивающей звезды согласно Аро [56] представляется в следующей последовательности.

1. Звезды типа Т Тельца, у которых вопышки налагаются на характерные для них неправильные изменения яркости. Это экезды типа Т Тельца, обладающие вспышечной активностью.

2. Карликовые звезды поздних спектральных классов, в спектрах которых особенности, характерные для эвезд типа Т Тельца, эначительно ослаблены. Изменения яркости этих звезд, в основном, связаны со вспышками.

3. «Чисто» вспыхивающие эвезды, у которых практически отсутствуют особенности і звезд типа Т Тельца, по крайней мере период более ими менее постоянного минимума блеска.

^{*)} Для определения возможности такого перехода необходимо знашее масс соответствующих звезд. К сомалеваю, массы звезд типа Т Тельца непосредственно не определены. Однако, судя по сеотимостям, такой переход вполне возможен для звезд достаточно низких светимостей. Для звезд более высоких светимостей этот вопрос нуждается в дальнейшем исследования.

В .эту последевательность та входят эвезды типа Т Тельца, которые обладают вспышечной активностью Однако, как показывает исследование вопроса Амбарцумянсм [21], в ассоциации Ориона, например, около трех четвертей звезд типа Т Тельца, не способны производить фотографические вспышки с амплитудой около одной звездной величины или больше. Возможно, цля звезд, способных производить вспышки, среди звезд типа Т Тельца в этой ассоциации несколько больше [53]. Но не подлежит сомнению, что существуют звезды типа Т Тельца, которые не обладают вспышечной активностью. Такие звезды типа Т Тельца в аначителенском количестве существуют и в других ассоциациях (см., например, [57]).

Существование эвеэд типа Т Тельца, не способных производить вспышки, свидстельствуст ю том, что последовательность стадий эволюции красных жасликовых эвеэд на самсм деле начинается со стадии жчистых» звезд типа Т Тельца, которые еще не приобрели способность производить вспышки.

Поэтому, последовательность соновных стадий эволюции красных карликовых звезд следует представить следующим образом:

Звезды типа Т Тельца («чистые») Вспыхивающие звезды Нормальные невспыхивающие звезды постоянного блеска.

В этой последовательности последняя стадия эволюции наступает уже после достижения звездой равновесного состояния, когда она на диаграмме Герцппрунга—Рессела находится на главной последовательности.

Если первые две стадии соответствуют начальной эволюции звезды, то последняя стадия является стадией поздней ее эволюции.

В этой последней стадии физическая нестационарность, характерная для первых двух раньях стадий эволюции и играющая важную роль в этой эволюции, практически отсутствует, и эволюция звезды протекает под действием, по-видимому, термоядерных реажций [58], когда вся энергия, генерируемая эвездой, уходит на ее спокойное излучение.

Время пребывания красной карликовой звезды в каждой из этих стадий эволюции зависит от ее массы (см. раздел о темпах эволюции). Чем больше масса (выше светимость) звезды, тем короче соответствующее время. Вследствие этого, например, можно допустить, что вспыхивающие звезды сравилительно высоких светимостей раньше кончают испышечную актиченость, чем звезды более низких светимостей, и в результате со стареемем звездной системы в ней встречаются вспыхивающие звезды все более низких светимостей [42]. 9—47 Для звезды же данной светимости время пребывания в этих стадиях сильно воврастает к более поэдним стадиям.

Как было отмечено выше, красная карликовая звезда из исиболее равней стадии вволюции, из стадин типа Т Тельца, переходит в стадию вспышечной активности не сразу, завершив активность пипа. Т Тельца. Некоторое, сравнительно недлительное время она проводит в состоянии, кожда, оставаясь звездной типа Т Тельца, приобретает вспышечную активность.

Следует, наконец, добанить, что благодаря разнообразию масс (светимости) и, кледонательно, темпюв аволюции звезд, в звездных ассоциациях наблюдаются красные каранковые звезды, находящиеся на всех отмеченных выше стадиях аволюции.

7. Состав всприливающих ввезд в системах равного возраста. Наблюдения ложавычают, что со старением системы, содержащей испыхивающие инеяды, в ней остаются лишь вспыхивающие более низких светимостей, причем растей доля эспыхивающих звезд среди исся красных карликов.

Эти изменения можно было бы шредсказать, исходя из статуса вспыхивающих янеяд и их выолющим со старением.

Для более подробного рассмотрения копроса об изменениях доли веспыхивающих свезд среди всех красных карликовых звезд в системах разного возраста были избраны следующие три выборки вспыхивающих звезд, которые наиболее представительны на сегодняшний день, с втой точки зрения: ассоциация Орнона, скошление Плеяды и звезды типа UV Кита окрестностей Солнца [59].

Все необходимые данные для определения относительного числа вспыхивающих эвсэд среди всех красных карликов в этих выборках для равных светимостей заимствованы из литературных источников.

В табл. З приведены результаты вычислений. В ней в последовательных столбцах представлены: интервал абсолютных фотографических величин $M_{\rho g}$, число всех красных карликов—N, из них вспыхивающих звезд— N_F (при вычислении этого значения учитывалось число потенциальных вспыхивающих звезд, по формуле Амбарцумяна [19]) и отиссительное число вспыхивающих звезд— N_F/N .

Рассмотрение табл. З повеоляют допустить, в сотласии с отмеченшыми в предыдущих разделах результатами изучения эволюции красных карликсе, что отнескительное число вепыхивающих звезд среди последних, в какой—либо системе, возрастает при переходе к звездам более низких светимостей. При этом, в зависимости от возраста сиобзоры

стемы, полыхивающие звезды в ней встречаются начимая с определенной светимости, которая уменьщается при переходе к более старым системам

Таблица З

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ Ч СЛО ВСПЫХИВАЮЩИХ ЗБЕЗД СРЕДИ КРАСНЫХ КАРЛИКОВ В АССОЩИАЦИИ ОРИОНА, СКОПЛЕНИИ ПЛЕЯДЫ И В ОКРЕСТНОСТЯХ СОЛНЦА [57]

And the state of t	<u>N</u>		NF		N _F /N				
M _{px}	I	II	ш	1	н	ш	I	п	III
4.5-5.5	73	_	_	2	-	-	0.03	-	p -
5.5-6.5	115	_	-	10		-	0.03	-	-
6.5-7.5	143	_		26	-		0.18		-
7.5-9,5	194	34	50	79	14	1	0.76	0.41	0.02
8.5-9.5	•	55	100	+	37	3	•	0.67	0.03
9.5-10.5	•	64	131		40	7		0.63	0.05
10.5-11.5		73	67	•	58	10	•	0.79	0.15
<11.5	•	ů	113	•	¢	47	•	1.2	0.42

При нечания: І-Орнов, ІІ-Плеяды, ІІІ-опрастности Солнци. Църгочка означает отсутствие великивающих звелд, а заведочка-отсутствие соотноготвующих данных.

Обе эти законсмерности являются следствием имо общенрывытого представления, что темпы эволюции звелд ведноят от их масс (оветимостей), воэрастая вместе с ними.

Что касается убывания относительного числа вопыхиваницих эвезд среди всек красных карликов, наблюдеемого для интервала светимосгей $M_{\rho g} = 7.5 - 8.5$ и намечаемого для более низких светимостей, то этот ход, по-видимому, нарушается для очень низких онетимостей.

Дело в том, что в старых системах все кранные карликовые эвезды, как свидетельствуют данные табл. 3, должны быть вспыхивающими. Поэтому, в случае низких светимостей, начиная с определенного эначения, относительное число вспыхивающих эвелд среди всех красных карликов должно быть тождественно равным единице.

8. Групповое происхождение вспыхивающих авсяд. О групповом происхождении красных карликовых звезд овидетельствует, прежде всего, большой процент двойных среди эвезд типа UV Кита окрестностей Солица. Согласно статистике [38], более, половины известных звезд этого типа входит в состав двойных или кратких систем Сам прототип вспыхивающих звезд, эвезда UV Кита, является двойной: звездой.

С точжи зрения рассматриваемого вопроса представляет интерес гот факт, отмеченный Родоно [60], что двойные системы среди вопыхивающих звезд встречаются чаще, чем среди других звезд. Иногда вспышечной активностью обладают оба компонента двойной системы.

Сотласно Эвансу [61] среди ближайших вспыхивающих звезд процент двойных систем составляет около 85%.

Ярким свидетельством группового происхожения красных карликовых звезд является обилие систем типа Трапеции, состоящих иззвезд типа Т Тельца и испых-изающих.

Первые кратные звезды, содержащие звезды тияа Т Тельца, были обнаружены Закировым [62]. В дальнейшем втим вопросом занимался Салуквадзе [63], который в Т-ассоциациях выделил большое числократных звезд типа Трапеции.

С точки зрения эволюции красных карликовых звезд значительный. интерес представляют исследования кратных звезд типа Трапеции, состоящих исключительно из эвезд типа Т Тельца и вспыхивающих.

В ассоциации Орнона Амбарян [64] обнаружил кратные звъзды типа Траледии, которые состоят либо из ввезд типа Т Тельца, либо из вспыхивающих, либо из их смеси. При этом в некоторых из этих кратных звезд были найдены признаки динамической неустойчивости.

Сравнением размеров этих кратных ввезд, костоящих из ввезд типа Т Тельца и, состветственно, и вопыхивающих звезд. Амбарят и А. Л. Мирзоян [65] показали, что первые из них значительно болеекомпактные, чем вторые.

Этот результат иллюстрируется на рис. 2, где для большей статистики приведены гистограммы распределения вваимных расстояний компонентов, в проекции на карминную плоскость. Это находится в согласии с предстатлением о том, что кратные системы чила Тралеции динамически пеустойчивы, вследствие чего в настоящее время они расширяются.

Приведенные наблюдательные фекты являются новым подтверждением общепринятого представления о групповом образовании звезд. вообще, и красных карликов в частности.

9. Распределение вспыхивающих ввезд в Галактике. Итак, наблюдательные данные однозначно свидетельствуют, что вспыхивающие звезды в Галактике встречаются как в составе звездных систем—скоплений и ассоциаций, так и в общем эвездном пюле. Причем, имеется прямая зависимость между средней светимостью вспыхивающих звезд. вжодящих в данную систему, и се возрастом. (рис. 3). Можно допустить, что эта зависимость является естественным следствием эволюции красных карликовых звезд со старением. В согласии с этим в галаксическом эвездном поле наблюдаются вспыхивающие звезды, в среднем, самых назких светимостей.



Рис. 2. Сравнение размеров кратных звезя типа Транении, состоящих из звезя типа Т Тольца (n = 21) - справа и велыхивающих (n=7) - слева. По работе Амбаряна и А. Л. Мирзояка [55].

Именно эволюцией красных карликов, образовавшихся в ассоциациях и скоплениях, при зависимюсти темпов оволюции от масс (светимостей) звезд (см. дальше), можно объяснить их пространственное распределение в Галактике: наиболее молодые вспыхивающие звезды в звездных ассоциациях, более старые—в сравнительно старых скоплениях, а очень старые вспыхивающие звезды типа UV Кита—в галактическом эвоздном поле.

Существование большсто числа вспыхивающих звезд в галактическом поле приводит к тому, что среди вспыхивающих звезд, открываемых во время фотографических наблюдений в областях звездных скоплений и ассоциаций, определенную долю составляют вспыхивающие звезды этото поля. Оценка этой доли представляет практический интерес.

Необходимая для такой оценки функция светимости вспыхивающих зеезд талактического поля была определена в работе [40] по данным каталога ближайщих звезд Глизе и его дополнения [66, 67], в сфере вокруг Солица, где полноту наблюдательного материала можно считать обеспеченной [68].

Функция светимости вспыхивающях эвезд типа UV Кита окрестностей Солнца была определена [40] с помощью функции светимости эмисскопных красных карликовых звезд. Основанием для этого служило сходство этих двух классов звезд. Свидетельства в пользу этого допущения были рассмотрены ранее Швесткой [69] и Аракеляном [70].



Ряс. З. Зависниость средней свотимости вспыхивающих звозя от возраста системи, в состав которой они входят. $M_{\rho_{ii}}$ — средзяя абсолютная фотографическая величина, *T*—возраст системы, в годах, По работе Амбаряна и автора [42].

Как важное подтверждение этой точки эрения можно рассматридать табл. 4. Она была составлена по данным каталога ближайших звезд Глизе [66, 67] 'и содержит следующие данные: абсолютная визуальная звездная величина— M_{V} , число эмиссионных красных карликовых эвезд соответствующих светимостей— N_{e} , среди них звезд типа UV Кита— N_{UV} и относительное число этих звезд— N_{UV}/N_{e} . Данные табл. 4 показывают, что среди красных карлихов с эмиссионными линиями в споктрах сраенительное низких светимостей подавляющее большинство является известными вспыхивающими звездами типа. UV Кита.

Полученная функция светимости вспыхивающих свезд типа UV Кита показала [40], что в поле 1-м телескопа системы Шмидта Бюраканской астрофизической обсерватории (около $4^{\circ} \times 4^{\circ}$) доступны наблюдениям более 4000 вспыхивающих звезд абсолютной звездной величины 9.5—15.5, в фотометрической полосе В. Предельная звездная величина, достигаемая этим телескопом, при экспозиции 5—10 минут равна около 17 ^{то} 5. При этом тольхо абсолютно самые яркие звезды ($M_B =$ 9.5—10.5) мотут быть обнаружены на расстояниях до 500 пк, при вспышках с амплитудой, равной 1^{то}. Это предельное расстояние быстро убывает со светимостью вспыхивающих звезд. Например, для вспыхивающих звезд с $M_B = 14.5 - 15.5$ это расстояние составляет всего 50 лк, при вспышках той же амплитуды.

Таблица 4

в окрестностях солнца [40]					
Mv	N.	N _{UV}	N _{UV} / N _e (%)		
<10.0	100	12	12		
>10.0	70	49	70		

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ЧИСЛО ЗВЕЗД ТИПА UV КИТА СРЕДИ. ЭМИССИОННЫХ КРАСНЫХ КАРЛИКОВЫХ ЗВЕЗД В ОКРЕСТНОСТЯХ СОЛНЦА [40]

Из-за ограниченных условий обнаружения, из более 4000 волыхнвающих звезд, находящихся в поле 1-м телескопа, лишь немногие могут быть обнаружены при фотографических наблюдениях втим телескопом, методом звездных цепочех.

Табл. 5, составленная с помощью функции светимости вспыхивающих звезд типа UV Кита окрестностей Солнца [40], подтверждает это заключение. В ней приведсны числа вспыхивающих звезд типа UV Кита сосответствующих светимостей, в фотометрической полосе *B*, которые доступны наблюдению во время вспышек с амплитудой 0^m5 и 1^m0, втим телескопом.

Табл. 5 показывает, что из более чем 4000 вспыхивающих звезд галактического поля 1-м телескопом системы Шмидта, фотографическими наблюдениями, методом цепочек (в фотометрической полосе В), могут быть обнаружены всего 85, при вспышках с амплитудой, равной 075, и 169 — с амплитудой 170,

Число вспыхивающих эвеэд галактического поля, которые могут быть обнаружены при фотографических наблюдениях, естественно, должно расти с увеличением амплитуды вспышек. Однако, как показал анализ фотоэлектрических наблюдений вспышек эвезд типа UV Кита окрестностей Солица, выполненных Моффеттом '[41], фотографические вспышки больших амплитуд у этих эненд практически не наблюдаются [40].

Таблаза 5

ВСПЫХИВАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ ГАЛАКТИЧЕСКОГО ПОЛЯ, КОТОРЫЕ МОГУТ БЫТЬ ОБНАРУЖЕНЫ ПРИ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ 1-М ТЕЛЕСКОПОМ СИСТЕМЫ ШМИДТА БЮРАКАНСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕВРАТОРИИ, МЕТОДОМ ЦЕГЮЧЕК [71]

-	Число вспыхивающих эвезд			
M _B	0 ^{<i>m</i>} 5	1‴0		
9.510.5	33	66		
10.5-11.5	24	48		
11.5-12.5	18	36		
12.5-13.5	7	14		
13.5-14.5	2	4		
14.5-15.5	0.6	1.2		
Bcero	~85	~169		

Данные табл. 5 можно использовать для оценки доли вспыхивающих эвезд галактического поля среди вспыхивающих эвезд, открываемых в областях звездных скоплений и ассоциаций, во время фототрафических наблюдений.

Например, согласно этим данным, 1-м телескопом системы Шмидта в любой области неба, в том числе в областях, где нет звездных скоплений и ассоциаций, можно открывать до 170 вспыхивающих звезд галактического поля. Между тем, в области скопления Плеяды имеется не менее 1000 вспыхивающих эвезд и из них уже обнаружено 546 (табл. 1). Отсюда следует, что доля вспыхивающих звезд, открываемых в этой области, меньше 20%. Если же учесть, что фотографичечкая вспышечная ективность звезд поля в несколько раз ниже, чем у вспыхивающих звезд Плеяд [40], то эта доля должна быть значительно меньше, по крайней мере меньше 10%.

Эта доля должна быть еще меньше в области ассоциации Ориона, где полное число вспыхивающих эвезд, доступных фотографическим наблюдениям методом цепочек, оценивается больше 2000 [53].

В общем случае доля вспыхивающих звезд поля среди вспыхивающих звезд, открываемых фотографическими наблюдениями, с помощью широкоутольных телескопов, зависит от шолного числа вспыхивающих звезд в данной области неба. Это означает, что в тех областях, где

300

нет звездных скоплений и ассоциаций, эта доля, близко к единице, тоесть почти все открываемые в этих областях эспыхивающие звезды принадлежат галактическому звездному полю.

Эти оценки полностью подтверждаются ревультатами фотографических наблюдений по поисжу вспыхивающих звезд в областях галактического поля^{*}. Такие наблюдения были выполнены в Бюрекане 1-м телескопом системы Шмидта. За почти 200 часов наблюдений была обнаружена всего одна вспышка [73]. Между тем, во время аналогичими наблюдений области скопления Плеяды одна вспышка обнаруживалась за 1-2 часа [27].

Следовательно, средние пространствелные плотнюсти вспыхивающих звезд в звездном поле Галажтики и в скоплении Плеяды, сотласно этим оценкам, отличаются лочти на три порядка.

Можно допустить, что это отношение не сильно отличается от отношения для более далеких систем.

Вспыхивающие звезды низких светимостей могут быть обнаружены только на небольших расстояниях. Вследствие этого вспыхивающие звезды низких светимостей, составляющие значительную часть звездных систем, остаются обычно не обнаруженными.

Поэтому данные о полном, числе и средней пространственной плотности вспыхивающих звезд в системах, находящяхся на разных расстояниях, не одинаково обоснованы. Это существенное ограничение, которое может привести к значительным ошибкам в определейии их пространственной плотности. Попытаемся оценить отношение пространственных плотностей вспыхивающих звезд в окрестностях Солнца и в одной из ближайших систем----скоплении Плеяды-

В настоящее время в окрестностях Солнца, в сфере раднусом 20 пк, известно сколо 400 вспыхивающих звезд типа UV Кита [38]. Их средняя пространственная плотностью равна около 0.003 пк⁻³.

В скоплении Плеяды в сфере радиусом 5 пк имеется порядка 1000 вспыхивающих эвезд [74]. Их средняя пространственная плотность не менее 2 пк⁻³.

Следовательно, средние пространственные плотности вспыхивающих звезд в звездном поле Галактики и в скоплении Плеяды, сотласноэтим оценкам, отличаются почти на три порядка.

Можно допустить, что это отношение не сильно отличается от этогозначения, для более далеких систем.

^{*)} Аро и Чавпра [72], одения друг им могодом валад вслы сиволодих эзезд поля, в результате фофографических наблюдений области слопледоя Плеяды, заключили, что среди открываемых в ней вспыхивающих звезд не менее одной пятой части является звездами галахтаческого поля. Однако позже Аро [7] высказал сомнение относительно этого результата.

10. Полное число красных карликовых ввеза в Галактике. Известно, что красные карлики составляют основное эвездное население Галактики. Имеющиеся в настоящее время наблюдательные данные о вспыхивающих звездах позволяют грубо оценить их полное число.

Прежде всего определим отношение вспыхивающих и невопыхивающих красных карликовых звезд, в Галактике. Для определения втого отношения для красных карликов в окрестностях Солица, воспользуемся каталогом ближайших эвезд с дополнением Глизе [66, 67] и каталогом ввезд типа UV Кита окрестностей Солица Н. И. Шаховской (см. [38]).

Табл. 6, основанная на данных этих каталогов, дает представлеяне об этом отношении для эвезд разных светимостей.

В соответствующих столбцах табл. 6 приведены: интервал абсолютных фотографических величин— M_{pg} , число красных карликов слектральных классов К и М— N_G , среди них нолыхивающих звезд типа UV Кита— N_{IIV} и относительное число вспыхивающих звезд— N_{IIV}/N_G .

Табл. 6 естественно начинается с тех светимостей, которые встречаются у звезд типа UV Кита. Для абсолютно более врких звезд это отношение 'равно нулю, но число втих звезд чебольшое и не может существенно повлиять на дальнейшие расчеты.

Таблица б

M _{pg}	N _G	N _{UV}	N _{UV} / N _G	
7.5-8.5	50	1	0.02	
8.5-9.5	100	3	0.03	
9.5-10.5	131	7	0.05	
10.5-11.5	67	10	0.10	
>11.5	113	47	0.42	
Bcero	461	68	0.15	

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ЧИСЛО ЗВЕЗД ТИПА UV КИТА СРЕДИ БЛИЖАЙШИХ КРАСНЫХ КАРЛИКОВЫХ ЗВЕЗД СПЕКТРАЛЬНЫХ КЛАССОВ К И М [59]

Данные табл. 6 показывают, что относительное число вспыхивающих звезд среди красных карликов спектральных классов К и М регулярно растет с убыванием светимостей звезд. Это относительное число для несех эвезд—красных карликов равно 0.15, то есть 15% всех К—М карликов окрестностей Солнца, исключая звезды абсолютно ярче $M_{nx} = 7.5$, составляют звезды типа UV Кита. Тах как эвезды типа UV Кита, в силу вышеприведенных свидетельств, могут быть рассмотрены как население галактического звездного поля, то отношение полных чисел вспыхивающих и всех карликовых звезд, полученное для звезд скрестностей Солнца, можно считать приемлемым и для общего звездного голя Галактики.

Исходя из пространственной плотности звезд типа UV Кита в окрестностях Солнца 0.003 пк⁻³ и распространяя её на галактическое 'эвездное поле, для полного числа вспыхивающих звезд типа UV Кита в Галактике получим 5×10^8 . Очевидно, что это нижний предел искомого числа. Действительное число вспыхивающих звезд, с учетом их функции светимости, в галактическом поле должно быть на порядок больше—около 5×10^9 .

Для получения оценки полного числа невспыхивающих красных карликовых эвезд воспользуемся вышеприведенным отношением вспыхивающих и невспыхивающих красных карлпков. Это отношение было получено только для красных карликов спектральных классов К и М. Учет красных карликов спектральных классов F и G увеличит их полнос число примерно в два раза.

В результате, полное число всех красных карликовых звезд в Галактике должно быть не менее 5×10^{10} , по порядку величины, что близко к полному числу всех звезд в втой системе.

Несмотря на довольно произвольные предположения при получении этой оценки, она дает правильную цифру и согласуется с оценкой Оорта [75].

11. Диаграмма Герципрунга—Рессела вспыхивающих звевя. В настоящее время не вызывает сомнения, что наиболее длительный период своей жизни явеяды проводят в равновесных состояниях, предстаяляемых гланой последовательностью, на диапрамме Герципрунга—Рессела.

Что касается звезд, не доститших равновесных состояний, то они на этой диатрамме, как показывают наблюдения, расположены около главной последовательности, выше и ниже её.

Для орионовых переменных эвезд, в подавляющем большинстве случаев оказавшихся эвездами типа Т Тельца, первую такую диспрамму построил Паденаго [76] еще в 1954 г. На этой диаграмме эти эвезды заполняют полосу вокруг главной последовательности.

Диаграмму Герцшпрунта—Рессела для вспыхивающих звезд, влодящих в звездные скопления и ассоциации, исследовали Аро и Чавира [52]. Они показали, что на диаграммах, построенных для звездных систем разното возраста, вспыхивающие эвезды находятся в полосе, охватывающей главную последоательность с обеих сторон. При этом ширина этой полосы, то есть разбрюс точек относительно главной последовательности, для всех систем растет в оторону звезд поздних

л. в. мирзоян

спектральных классов, следовательно низких светимостей. Что касается начала указанной толосы, соответствующего самой яркой и самото разнего спектрального класса вспыхивающей сезде в системе, то оно перемещается в сторону звезд низких светимостей и поздних спектральных классов, при тереходе к более старым системам.

Первая диаграмма Герцшпрунга—Рессела для вспыхивающих звезд ассоциации Ориона была построена Эндрюсом [77], на основе фотографической фотометрии этих звезд.

Позже аналогичные днаграммы были построены для вспыхивающих эвезд скопления Плеяды Чавушяном и Гарибджаняном ([78] и Парсамян и Оганян [79], ассоциации Ориона—Нацвлишенили [23], ассоциации Темных Облаков Тельца—Ходжаевым [27] и т. д. Все они, за исключением работы [79], основываются на фотографической фотометони вспыхивающих эвезд. Только в последней работе были использованы спектральные классы звезд, определенные на наблюдений спектров с объективной призмой. Все построенные диаграммы подтверждают результаты Аро и Чавира [52]. С точки зрения вволюции красных карликов определенный интерес представляет дистрамма красных карликовых звезд ассоциации Ориона, построенная Нацелишенан [53]. На ней разброс точек относительно главной последовательности, в среднем. растет при переходе от вспихивающих эвезд к эвездам типа Т Тельца. типа Т Тельца, обладающие вспышечной а эвезлы активностью отношении занимают промежуточное положение. B DIOM Этого и следовало ожидать, исходя из эволюционной последовательности: звезды типа Т Тельца («чистые»)-звезды типа Т Тельца, обладающие вспышечной активностью — вспыхивающие звезды.

Необходимо подчержнуть, что наблюдениями было установлено существование молодых эвезд, расположенных на диаграмме Герцшпрунга— Рессела ниже главкой последовательности. Это серьезное, возможно непреодолимое затруднение, как впервые отметили Аро и Чавира [52], для современных теорий эволюции звезд, исходящих из гипотезы грависационной жонденсации диффузной материи в звезды. Дело в том, что в них все треки молодых звезд до достижения главной последовательности проходят выше неё.

Сравнительно недавно этот вопрос еще раз был обсужден Аро [80], который пришел к выводу о реальности существования молодых ввезд, расположенных ниже главной последовательности.

Попытки объяснения этото явления влиянием различных факторов, переместивших молодые звезды из «реальных» их положений на положеиня выше гавной последсвательности, трудно считать вполне обоснованвыми [39].

304

А недавнее объяснение Гётца [81] нахожделия звезд типа Т Тельда ниже тлавной последовательности влиянием диффузной материи, связащей с жими тенетически, не может быть принято в случае вспыхивающих звезд, которые лишены втой материи.

12. О темпах эволюции звезд. Наблюдения вспыхивающих звезд в звездных скоплениях и ассоциациях разного возраста, а также в общем галактическом поле, привели к многочисленным свидетельствам в пользу общепринятого представения о прямой зависимоссти темпов эволюции звезд от их масс (сметимостей).

Поиведем неокторые итоги этих наблюдений-

1. Еще в начальный период исследования вспыхивающих звезд в звездных скоплениях и ассоциациях Аро и Чавира [52] показали, чтов каждой звездной системе наблюдается определенная граница светимости (массы), которая разделяет вспыхивающие звезды от невспыхивающих. Все звезды системы ярче втого граничного значения являются: не вспыхивающими:, слабее вспыхивающими. Рассмотрение вспыхивающих эвезд гажактического поля подтверило эту закономерность.

2. Продолжительность жизни вспыхивающей звезды, или время еёпребывания в стадии вспышечной активности, растет с уменьшением: её светимости. Например, в одной из наиболее молодых систем вспыхивающих звезд, в ассоцнации Ориона, возраст которой порядка 108. лет, наблюдается много ярких невспыхивающих красных карликовых звезд. Очевидно, что они уже завершили стадию вспышечной активности*. Следовательно, для них стадия вспыхивающей звезды продолжалась но более чем 10⁸ лет. Между тем, в более старых системах типа скоплений Плеяды или Гнады существует много вспыхивающих звезд, для которых стадия вспышечной активности еще продолжается. Это означает, что для них продолжительность пребывания в этой стадии больше возраста соответствующих систем и составляет десятки и сотни миллионнов лет, соответственно. Еще больше время пребывания в стадин вспышечной активности для вопыхивающих звезд галактического поля. По расчетам Кункеля [82] для звезды с визуальной абсолютной величиной M = 15 и слабее продолжительность этой стадии сравнима с возрастом самой Галактики, порядка миллиардов лет.

3. Прямым следствием возрастания продолжительности стадии вспышечной активности красной карликовой звезды при переходе к звез-

^{*)} Предполазать, что у них эволюдионной стадии вспышичной активности не было мало вероятно, так как уже упоминутые работы, прежде всего Аро [7] и Амбарцумина (см., налример, [1]) свидетельствуют, что эта стадии-закономерная зволюцвонная стадии, через которую проходит все красные карлчковые звозды.

дам более низких светимостей леляется зависимость средней светимости вспыхновощих систем от бозраста соответствующих систем (рис. 3).

Можно привести и другие соотношения, основанные на имблюдениях вспыхивающих звезд и свидетельствующие в пользу рассматриваемого представления. Все они, вместе с указанными, показыают, что темпы иволющии звезд, действительно, примо зависят от масс (светимостей) звезд.

13. Зездные и солнечные вспышки. В последнее время среди специалистов, в особенности теоретиков, очень распространено мнение, что звездные вспышки имеют по физической природе полное сходство с солнечными.

Однако это мнение не вполне обосновано.

Дело в том, что весь комплекс наблюдательных данных о вспыхивающих звездах показывает, что вспышки у красных карликовых звезд начинаются. в ранних стадиях эволюции, а сама вспышечная активность в этот период являетя наиболее выдающейся особенностью ввезды. Иначе говоря, эта активность характеризует определению стадию эволюции звезды. Следовательпо, следует допустить, что появляющаяся в этой стадии способность производить время от времени вспышки является внутренней особенностью звезды.

С втой точки эрения попытки отождествлять звездные вспышки с солнечными представляются не правомерными. Действительно, вспыхивающие звезды, как видно из нашето изложения, находятся на одной из ранних стадий эволюции красных карликов. Их вспышечная активность в этой стадии эволюции приводит к изменениям мощности и состава излучения, существенно меняющих в периоды вспышек спокойное излучение чнезды. Между тем, Солице давно завершило эту стадию эволюции, находится в равновесном состоянии, а вспышки не оказывают заметного влияния на его спокойное измучение.

Следовательно, различие между вспыжинающими звездами и Солнцем имеет глубокий, эволюционный характер, и трудно считать обосновачным допущение, что это различие не сказывается качественно на природе вспышек: эвездных и солнечных.

В этой связи уместно отметить, что еще в 1982 г. на коллоквиуме МАС, посвященном активности красных карликовых звезд, в Катании (Италия), были высказаны некоторые сомнения относительно правомерности отождествления звездных и солнечных вопышек. Например, Лински [83] по этому поводу отмечал, что «в этом подходе, однако, имеется опасность, так как аналогия с Солнцем может оказаться плохим гидом для объяснения явлений на звездах, которые имеют параметры, сильно отличающиеся от параметров Солнца». А Симинетт [84], ваключая, что для красных карликовых эвезд «механизм вспышех может быть весьма отличным», чем в случае солнечных вспышск, считал, что «переход от солнечных вспышек к вспышкем красных карликов может быть неуместным в худшем случае, трудным—з лучшем случае».

О спрысвных различиях между звездныхи и солнечными вспышками сридетельствует и нелавнее исследование Ланга [85]. На основе обсуждения наблюдений радновспышек на явездах и на Солнце им был получен рыеод о том, что вспышки на красных карликовых звездах резко отличаются от солнечных вспышек по своей физич.еской дрироде.

Таким бразом, можно констатировать, что звездные волышки отличаются от солнечных не только по масштабам, но и по физической природе. Здесь речь идет о вспышках, энергии которых значительно превышают внертию спокойного излучения красной карликовой звезды, за тот же шериод, характеризующих виолюционную стадию, через котоую Солице уже прошло.

Можно полатать, что изучение разнообразных проявлений извездных вспышек в звездных скоплениях и ассоциациях, которые гораздо мощнее не только солнечных, но и вспышек звезд типа UV Кита, представляет более благоприятную возможность для решения допроса о физической природе звездных вспышек.

Не исключена возможность того, что полное понимание природы солнечных вспышек будет достытнуто только после вскрытия природы эвездных вспышек. В связи с этим интересно отметить, что наблюдения дают основание допустить, что вспышечная активность звезд, подобно солнечной, имеет циклический характер [86].

. 14. Вспыхивающие звезды и природа дозвездной материи. Исследование вспыхивающих звезд может оказаться важным и для вскрытия природы дозвездной материи. Рассмотрим некоторые результаты исследования звездных вспышек, которые представляют определенный интерес с этой точки зрения.

Следуя Амбарцумяну [8], будем считать, что внутри красных карликов возможно еще сохранились стустки доявездной материи, из которой сим образовались. Допустим далее, что вта материя сверхплотная, имсющая значительные запасы внутренней өнертии (см., например, [87]). В этом случае выход стустков этой дозвездной материи—носителей внутризвездной онертии в поверхностные слои звезды и освобождение там этой внертии могут привести к различным наблюдаемым изменениям изулчения звезды, в 'зависимости от глубины слоев увезды, тде осовобождается внутризвездная внертия.

В частности, вспышки могут происходить только в тех случаях, когда освобождение энергии происходит в атмосфере звезды или выше нее. В этом случае, в зависимости от глубины слоев, должны наблюдаться различия во времени воэторания вспышки, в цвете вспышечного излучения и средней частоте соответстующих вспышек.

Например, время возгорания вспышки может принимать разные значения, то есть должно меняться непрерыгным образом, при достаточной статистике. Фотоэлектрические наблюдения вспыхивающих звезд типа UV Кита подтверждают это. Причем, как и следвало ожидать, при справедливскти сделанного допущения, вромя воэгорания для подавляющего большиюства вспышек весьма небольшое: порядка нескольких секунд. Освобождение внутризвездной энергии в этих случаях происходит во знешних слоях хромосферы или еще выше, над этими слоями. Чем глубже слои, где освобождается энергия, тем больше должно быть время возгорания вспышки.

С глубиной соотъетствующих слоев должна уменьшаться и средняя частота таких волышеск. Дело в том, что при спонганном харажтере освобождения внутризвездной внертии, вероятность того, что на данном отревке пути носителя внертии произойдет вопышка, пропорциональна длине втого отрезка, которая резко убывает с глубиной слоев Очевидно, что при достаточно большой тлубине слоев, где освобождается внутризвездная внертия, всяесе не могут произойти вспышки.

Важным подтверждением этото представления явилось открытие Аро [56]. Разделив все наблюденные фотографические вспышки на лве группы по времени возгорания, «быстрые» и «медленные», он показал, что размичия между их параметрами (время возворания, средняя частота, цвет вспышечного ивлучения) находится в полном сотласии с ожидаемыми для еспышек, имевших место на разных глубинах атмосферы звезды, по указаниому сценарию.

Правда, с самото начала Аро [88] предполагал, что «быстрая» или «медленная» природа вспышек зависит от параметров звезды, на которой вроисходят вспышки. Однако после тото, как на звездах, показавших «медленные» вспышки. Однако после тото, как на звездах, показавших «медленные» вспышки. Однако после тото, как на звездах, показавших «медленные» вспышки. Однако после тото, как на звездах, показавших «медленные» вспышки. Однако после тото, как на звездах, показавших «медленные» вспышки. Однако после тото, как на звездах, показавших «медленные», что это предположение не вполне соответствует действительности. На самом деле время воэторания вспышки заенсит, тлавлым образом, от тлубины клоств анмосферы звезды, тде происходит вспышка. Наглядным подтверждением является фотографическоенаблюдение сложной вспышки на вспыхивающей звезде № 73 в ассоциации Орнова, продставляющей собой комбинацию двух кривых вспышек: «быстрой» и «медленной», произошедших одна за друтой [43].

Вместе с втим, наблюдения ывездных вспышек в системах разного вовраста коказывают, что относительное число «медленных» вспышек среди всех вспышек зарегистрированных в каждой из чих, неодинаковое «Медленные» вспышки чаще наблюдаются, по-видимому, в более-

обзоры

молодых сиспемах, по есть у еспыхивающих эвезд более высохих светимовтей (табл. 7).

С этим заключением согласуется и тот наблюдательный факт, что у вопыхивающих звезд тила UV Кита существует прямая зависимость между временам возгорания вспышки и светимостью (рис. 4).



Рнс. 4. Залисимость врамови возгорелия встышки от светимости взезя или звезя тапа UV Кита окрустностей Солица, построенная по далкым фотоэлектризеския наблюдений Моффетта [41]

Тиблица 7

ДОЛЯ "МЕДЛЕННЫХ" ВСПЫШЕК СРЕДИ ВСЕХ ВСПЫШЕК, НАБЛЮДЕН :ЫХ В ВЫБОРКАХ ВСПЫХИВАЮЩИХ ЭВЕЗД РАЗНОГО ВОЗРАСТА [59]

Выборха	Число наблюденных вспышен	Из них с ř > 10 м ш.	Отпосительное число "медлечтых" вслышек (%)
Оргон	455	23	5.1
ирведП	1273	21	1.6
UV Kuta	275	2	0.7

Прижечание. 1-ереня возгоралля вспышки.

Результаты наблюдений звездных вспышек с различной продолжительностью периода возгорания, в частности «быстрых» и «медленных» по классификации Аро [88] находятся в полном сотласии с представлением о тсм, что наблюдаемые между чими раличия являются следствием того, что эти вспышки происходят на разных тлубинах атмосферы звезд: 10-47

309

Следуст отметить, что наиболее прудной задзчей, с наблюдательной точки эрения, явилось выявление изменений цветов вспышечного излучения, с изменением времени возгорания вспышек. Тем не менее, эта задача была успешно решена. Сначала Аро [56] удалось наблюдать спектры «быстрой» и «медленной» вспышек с помощью объективной призмы и показать значительное усиление красного континуума во время «медленной» вспышки. Затем колориметрические наблюдения ввездных вспышек, как точных фотоэлемтрических (в случае вспышек звезд типа "UV Кита окрестностей Солнца), так и менее точных фотографических (в случае вспышек в звездных скоплениях и ассоциациях) подпвердили пскраснение, в среднем, вспышенсто излучения, во знижающего в период вспышек, с возрастанием времени возгорания вспышек [89-91].

Совпадение лаблюдаемых особенностей звездных вспышек с различными временами возтораемия с предсказанными на основе вышеизложенното представления, кажется дает нам основение предполагать, что звездные вспышки происходят, на самом деле, иследствие выхода из недр в наружные слои красной карликовой звезды чипотетических носителей внутризвездной энергии, в виде стустков сверхплотной довездной материи и освобождения этой энергии на различных тлубинах их атмосфер.

15. Заключение. Установление эволюционного статуса вспыхивающих звезд вмело решающее значение для исследования многих вопросов эволюции и физики красных карликовых звезд.

В свете втого открытия по-новому были рассмотрены вспросы, относящиеся прежде всето к эволюции этих звезд. В частности, оказалось возможным определить путь эволюции красных карликов на основе исключительно наблюдательных данных.

Данные, полученные с помощью исследования вопыхивающих звезд в звездных скоплениях и ассоциациях, позволили по-новому поставить и решать вопросы, относящиеся к существованемо звезд липа UV Кита в окрестностях Солнца, и вообще распределению краюных карликовых звезд в Галактике.

На основе наблюдательных данных удалось показать, что все вспыхивающие звезды, как в звездных окоплениях и ассоциациях, пак и в галактическом поле, составляют единый класс объектов, обладающих общей особенностью—вспышечной активностью.

Сооткошиния между параметрами вспыхивающих звезд, полученные из исследования этих звезд в физических системах, предоставили свидетельства в пользу общепринятого представления о зависимоститемпов эволюции звезд от их масс (светимостей).

обзоры

. Рассмотрение фаспределония вспыхивающих звезд среди всех красных карликов в звездных системах разното возраста и для различных светимостей, показало, что доля вспыхивающих звезд среди всех карликов в каждой системе растет к звездам более низких светимостей, а средняя светимость вспыхивающих звезд убывает со старснием системы.

Были получены свидетельства в пользу группсвого происхождения красных карликовых звезд, а также динамической неустойчивости кратных систем типа Трапеции, состоящих из звезд и типа Т Тельца и вспыхивающих исключительно.

Имеются девольно обоснованные аргументы против отождествления ввездных вспышек с солнечными, по физической природе.

Наконец, различия средней частоты вспышек, цвета вспышечного излучения и времени воэторания для разных вспышек, например «быстрых» и «медленных», объясняются с помощью представления о том, что соответствующие вспышки происходят на различных глубинах атмосферы явезды. Ссвпадение параметров вспышек с ожидаємыми, согласно этому представлению, можно рассматривать как свидетельство в польву гипотезы сверхплотных протозвезд.

Принципиальные результаты, изложенные в настоящей статье, показывают несбходнместь дальнейших наблюдений вспыхивающих звезд более севершенными методами и по возможности синкронно в разных областях спектра, для решения мнотих, еще нерешенных вопросов физики и яволющии звезд, в частности природы звездной активности.

Бюраланская астрофизическая обсерватория

FLARE STARS AND EVOLUTION OF RED DWARF STARS

L. V. MIRZOYAN

The results of the evolutionary study of red dwarf stars are discussed, in the light of the investigations, carried out mainly in the Byurakan and Tonantzintla (Mexico) observatories. A special attention is paid to fiare stars, representing one of the early stages of their evolution. Some of the mention results are at present debatable.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. V. A. Amaartsumtan, L. V. Mirzogan, in "New Directions and New Frontiers In Variable Star Research". IAU Colloquium No. 15, Veroff, Bamberg Obs., 9, Nr. 100, 98, 1971.
- 2. V. A. Ambartsumian. L. V. Mirzoyan. in "Variable Stars and Stellar Evolution", IAU Symp. No 67, e.s. V. Sherwood, L. Plaut, Reidel, Dordrecht, 1975, p. 3.
л. в. мирзоян

3. L. V. Mirzogan. in "Flare Stars in Star Clusters, Associations and Solar Vicinity", IAU Sump. No 137, eds. L. V. Mirzoyan, B. R. Pettersen, M. K. Tsvetkov, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-Lendon, 1990, p. 1.

- 5. В. А. Амбарцумян, Научные труды. ред. В. В. Соболев, т. 2, 1959; т. 3, 1989 Изд-во АН Армении, Ерэван.
- 6. В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирзоян, Astrophys. Sp. Sci., 84, 317, 1982.
- 7. G. Haro, Bol. Inst. Tonantzintla, 2, 3, 197.
- 8. В. А. Амбариумян, Сообщ. Бюракан. обс., 13, 1954.
- 9. G. Haro, W. Morgan, Astrophys. J., 118, 16, 1953.
- 10. G Huro, L. R. Terrazas, Bol, Obs. Tonantzitla, No 10, 3, 1954.
- 11. G. Haro, Bol. Obs. Tonantzintla, No, 11, 11, 1951.
- 12. R. Rosino, Contr. Asiago Obs., No. 69, 1956.
- 13. R. Rostao. in "l.».-Luminosity Stars", S. S. Kumar eds. Gordon and Breach Ssience Publishor, New-Yerk-London-Paris, 1469, p. 181.
- G. Haro, in "Non-Stable Stars", IAU Symp. No. 3, ed G. H. Herbig, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1957, p. 25.
- G. H. ro, in "Symposium on Stellar Evolution" ed. J. Sahade, Astron., Observ. Nat. Univ. La Platta, 1962. p. 37.
- 16. H. L. Johnson, R. I. Mitchell, Astrophys. J., 128, 31, 1958.
- 17. К. Аллен, Астрофизичастие воличны, Мир. М., 1977.
- 18. A. Sandage, Astrophys J., 125, 435, 1957.
- 19. В. А. Амбаридмян, в ки.: "Звезди, тумавности, галактики", Изд-во АН Армении, Еревав, 1969, стр. 283.
- 20. В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирволн, Э. С. Парсамян, О. С. Чавушян. Л. К. Ерастова, Астрофизика, 6, 3, 1970.
- 21. В. А. Ажбарууман, Астрофизика, 6, 31, 1970.
- 22. Л. В. Мирзоян, Г. Б. Оланян, Вспыхывающие эвозам и родственные объекты, ред. Л. В. Мирзоян, Изд-во АН Армении, Еровал, 1986, стр. 68.
- 23. R. Sh. Natevitshvili, in "Flare Stars in Star Clusters, Associations, and Solar Vicinity", eds. L. V. Mirzoyan, B. 2. Pottersen, M. K. Tsvetkov, IAU Symp. No. 137, Kluwer Acad. Publish., Dordrecht-Boston-London, 1990, p. 101.
- 24. А. С. Ходжавв, Нестационарлые эзезды в областя Темных Облаков Тольца, Кинд. диссертация. Бюраканская астрофизическая обсердатория, 1985.
- 25. В. В. Амбарян, в кн., "Вспыхивающие звезям и родственные объекты". род. Л. В. Мярзови. Изд-во АН Аржении. Ереван. 1985, стр. 120.
- 26. Л. В. Мирзоян, О. С. Чавушян, Сообщ. Бюракан. обс., 42, 17, 197 ч.
- 27. Л. В. Мирзоян, В. В. Амбарян, А. Т. Гарибяжанян, Астрофизика, 33, 5, 1990,
- 28. J. R. Stauffer, Astron. J., 85, 1341, 1980.
- 29. G. Haro, E. Chavira, G. Gonzalez, Bol. Inst. Tonantzintle, 3, No. 1, 1982.
- 30. И. Янкович, Вспыхдвающая актявность красных карляковых звезя в области открытого скопления Ясли, Канд-диссертация, Ереванский университет, 1975.
- 31. М. К. Цветков, Исследование нестационирных звезд в области туманностей NGC 7000 и IC 50.38—70 в созвездия Лебедя, Канд. диссертация, Ереванский упиверситет, 1976.
- 32. M. K. Tsvetkov, K. Tsvetkova, in "Flare Stars in Star Clusters, Associations and Solar Vicinity", eds. L. V. Mirzoyan, B. R. Pettersen, M. K. Tsvetkov IAU Symp. No 137, Kluwer Acad. Publish., Dordrecht-Boston-London, 1990. p.
- 33. R. Aniol, H. W. Duerbeck, W. C. Settter, M. K. Tsvetkov, ibid, p. 85,

312

^{4.} L. V. Mirzoyan, Vistas in Astronomy, 27, 77, 1984.

- 34. В. А. Амбарцумян, в кн. "Нестационарные звезды", ред. М. А. Аракелян, изд-во АН Армения, 1957, стр. 9.
- 35. G. H. Herbig. in "Symposium, on Stellar Evolution", ed. J. Sahade, Astron. Obs. Nat. Univ. La Platta, 1962, p. 45.
- 36. M. A. Arakellan, in "Non-Periodic Phenomena in Vaziable Stars", ed. L. Detre, IAU Colloquium No. 4, Acad. Press, Budapest. 1969, p. 161.
- 37. А. Т. Гарибджанян, Сообщ. Бюракан. обс., 49, 63, 1976.
- 38. Р. Е. Гершберг, Вспыхивающие звезды малых масс, Наука, М., 1978.
- 39. Л. В. Мирзоли, Нестационарность и эволюция звезд, Из-во АН Армении, Ереван, 1981.
- 40. Л. В. Мирзолн, В. В. Амбарян, А. Т. Гарибятанян, А. Л. Мирзоян, Астрофезика, 29. 44, 1988.
- 41. T. J. Moffett, Astrophys. J., Suppl. Ser. 29, 1, 1974.
- 42. Л. В. Мирзоян, В. В. Амбарян, Астрофизика, 28, 375, 1988.
- 43. Л. В. Мирвоян, Раниже стаяни вволюции звезя, Из, -во АН Арменик, Ереван, 1991.
- 44. G. H. Herbig. in "Stellar Populations". ed. D. J. K. O. Connell, Specola Astron. Vaticana, Recherche Astron., 5, 127, 1958.
- 45. G. H. Herbig, Astrophys. J., 135, 736, 1968.

- 46. B. R. Pettsersen, S. L. Hawley, Astron. Astrophys., 217, 187, 1989.
- 47. R. E. Gershberg, Astrophys. Sp. Sci., 19, 75, 1972.
- 48. C. H. Lacy, T. J. Moffett, D. S. Evans, Astrophys. J. Suppl. Ser. 30, 85, 1976.
- 49. В. И. Краснобабцев, Р. Е. Гершберг, Изв. Крымской астрофиз. обс., 53, 154, 1975.
- 50. С. А. Коротин, В. И. Краснобабцев, в кн. "Всимхивающие звезды и родственные объекты", ред. Л. В. Мирзоян, Изд-во АН Армении, 1 реван, 1985, стр. 147.
- 51. G. Haro, Rev. Mex. Astron. Astrophys., Special Issue, 7, 183, 1983.
- 52. G. Haro, E. Chaulra, Vistes in Astronomy, 8, 89, 1966-
- 53. Р. Ш. Нацелишении, Вспыхивающие звезды в Орноне и Плеядах, Канд. диссертация. Бюракаяская астрофизическая обсерватория, 1988.
- 54. G. H. Herbig, in "Problems of Physics and Evolution of the Universa", ed. L. V. Mirzoyan, Acad. Sci. Armenia, Yerevan, 1978, p. 171.
- 55. П. Н. Холопов и др., Общий каталог переменных звезд, 4-е издание, Наука, М. 1985-87.
- 56. G. Hare, in "The Galaxy and The Magellanic Clouds", eds. F. J. Kerr, A, W Rodgess, IAU-URSI Symp. No 20, Australian Acad. Sci., Canberra, 1964, p. 30.
- A. S. Hojaev, in "Flare Stars in Star Clusters, Associations and Solar Vicinity"eds. L. V. Mirzoyan, B. R. Pettersen, M. K. Tsvotkov, IAU Sump. No. 137, Kluwer Acad. Publish., Dordrecht-Boston-London, 1990, p. 81.
- 58. Я. Б. Зельдович, И. Новиков, Ролятивнотокая астрофичика. Наука, М., 1967.
- 59. Л. В. Мирзоян, В. В. Ажбарян, А. Т. Гарибджанян, А. Л. Мирзоян, Астрофизика, 31, 259, 1989.
- 60. M. Rodono, Flare Active Binary Systems, Catania Obs. Prepr., 1979.
- 61. Д. С. Эванс, в ин. "Вспыхивающие звезды", ред. Л. В. Мирзоян, Изд-во АН Армении, Ереван, 1977, стр. 40.
- 62. М. М. Закиров, в сб., "Исследование вкстремально молодых звездных комплексов" Изд-во ФАН, Ташкент. 1975, стр. 95.
- 63. Г. Н. Салукадзе, Астрофизика. 16, 505, 687, 1980.
- 64. В. В. Амбарян, Астрофизика, 28, 149, 1988.
- 65. В. В. Амбарян, А. Л. Мирвоян, Астрофизика, 35, 27, 1991.

- 66. W. Glison, Verülf. Astron. Rochen Inst. Heidelberg, No. 22, 1969.
- 67. W. Gliese, H. jahrsiss, Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 38, 423, 1979.
- R. Wielen, H. Jahreiss, R. Krüger, in "The Nearby Stars and Stellar Luminosity Function", eds. A D. Philip. A. R. Urgren. IAU Colloquium No. 76, Davis Press, New York, 1983, p. 168.
- 69. Z. Svestka, Bull. Astron. Inst. Czechoslovakia, 5, 4, 1954.
- 70. М. Л. Араксаян, Сообщ. Бюракан. обс., 41, 56, 1970.
- 71. Л. В. Мирзоян, В. В. Амбарян, А. Т. Гарибджанян, А. Л. Мирзоян, Астрофилмац, 29, 531,1998.
- 72. G. Haro, E. Chavira, Bol. Obs. Tonantziatla, 5, No. 31, 23. 1969.
- 73. О. С. Чандииян, Исследование вспыхивающих звезя в области агрегата Пленям, Канд. диссертация, Бюраканская астрофизическая обсерватория, 1979.
- 74. А. А. Мирзоян, Астрофизика, 19. 588, 1983.
- 75. J. H. Oort, in "Stellar Populations", ed. D. J. K. O' Connel Specola Astron. Vatienne, Recharche Astron., 5, 419, 533, 1958.
- 76. П. П. Паренаго, Труды ГАИШ, 25, 1964.
- 77. A. D. Andrews, Bol. Ints. Tonantzintla, 5, No. 34, 195, 1970.
- 78. О. С. Чаедшян, А. Т. Гарибяжанян, Астрофизика, 11, 565, 1975.
- 79. Э. С. Парсамян, Г. Б. Озанян, Астрофизика, 29, 220, 1988.
- 80. G. Haro, Astrofizika, 29, 18, 1988.
- W. Götz, in, "Flare Stars in Star Clusters, Associations and Solar Vicinity" eds. L. V. Mirzoyan, B. R. Pettersen, M. K. Tsvetkov, IAU Symp. No. 137, Kluwar Acad. Publish. Dordrecht-Beston-London, 1990, p. 215.
- 82. W. Kunkel, in "Variable Stars and Stellar Evolution", ees. V. Shervood, L. Plaut, IAU Symp. No. 67. Reidel, Dordrecht, 1975, p. 15.
- .83. J. L. Linsky, in "Activity in Red Dwarf Stars", eds. P. B. Byrne, M. Rodono, IAU Colloquium No. 71, Reidel, Dordrecht-Boston-Lancaster, 1983, p. 39.
- 84. G. M. Stmnett, ibid, p. 289.
- 85. K. Lang, in "Flare Stars in Star Clusters, Associations and The Solar Vicinity", IAU Sumposium No. 137, eds. I. V. Mirzoyan, B. R. Petterson, M. K. Tsvetkov, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London, 1990, p. 125.
- 86. Л. В. Мирвоян, Г. Б. Озакан, Астрофизика, 13, 561, 1977.
- 87. В. А. Амбарудмян, Г. С. Саанян, Астрофизика, 1, 7, 1965.
- 188. G. Haro, in ustars and Stallar Systems", ed. B. M. Middlehurst, L. H. Aller Vol. S. Univ. Chicago Press, Chicago, 1968, p. 141.
- .89. Л. В. Мирзоян, Н. Л. Меликин, в кн. "Вспытивающая эвезды и родственные объекты", ред. Л. В. Мирзоян, Изд-во АН Аркении, Ереван, 1986, стр. 153.
- 90. О. С. Чанушин, П. Д. Меликин, в кн. "Вспыхавающие звезды", ред. А. В. Марзопн, Изд-зо АН Армении, Ереван, 1977. стр. 74.
- 191. Л. В. Мирзоян, О. С. Чавушян, Р. Ш. Нацелишенли, Г. Б. Оганян, В. В. Амбарян, А. Т. Гарибяжанян, Астрофизика. 17, 197, 1981.

CONTENTS

The distribution of hot stars and absorbing matter in Carina	
H. M. Tovmassian, R. Kh. Hovhannessian, R. A. Epremian, D. Huguenin	165
Spectrophotometric investigation of faint Carbon stars at high galactic latitudes.	
II. Spectrophotometric data for 21 Carbon stars	
••••• Abrahamian, K. S. Gigoyan	181
Spectral variations of P Cyg G. L. Israeltan, A. G. Nikoghossian	189
Interstellar absorption in the galactic plane	
R. A. Vardanian, V. V. Hambarian, A. V. Poghossian	195
Polarimetric observations of the FBS blue stellar objects. II.	
M. H. Eritsian, A. M. Mickaelian	203
Spectrophotometry and morphology of the galaxies with UV excess. IX.	
	211
Spectrophotometry of one Seyfert type galaxy M. A. Kazarian	217
On the study of isotropic scattering in the plane slab. The method of separated	
linear integral equations	225
Spherical-symmetric solutions of GR are partial solutions of BSTT	
A · A · Saharian	245
The stellar kinematics in Kovalsky-Kapteyn figures. III G. R. Anisimova	251
NOTES	
Radial velocities of components of Transzium type multiple stellar systems. I	
R. Sh. Diavakhishuili, M. V. Paulon, G. N. Salukuadae	979
	213
REVIEWS	
	*

Flare stars and evolution of red dwarf stars L. V. Mirzoyan 277